

Pengaruh Perilaku Perjalanan Masyarakat Kawasan Pusat Kota Surabaya terhadap Produksi Emisi Karbon

Alfrida Ista Anindya dan Ketut Dewi Martha Erli Handayani

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: erli.martha@urplan.its.ac.id

Abstrak—Peningkatan suhu global yang terus berlangsung akibat pemanasan global telah menyebabkan dampak serius terhadap lingkungan dan masyarakat di seluruh dunia. Sektor transportasi, khususnya kendaraan bermotor, telah diidentifikasi sebagai penyumbang utama emisi gas rumah kaca (GRK) yang berkontribusi pada pemanasan global. Indonesia, sebagai negara dengan populasi dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, juga menghadapi masalah serius terkait emisi CO₂ dari sektor transportasinya, dengan sektor transportasi darat sebagai penyumbang terbesar. Kawasan Surabaya Pusat, sebagai bagian penting dari kota metropolitan Surabaya dan pusat ekonomi, memiliki tingkat aktivitas transportasi yang tinggi dan menjadi fokus penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan dan besaran pengaruh antara perilaku perjalanan masyarakat dan produksi emisi CO₂ dari konsumsi bahan bakar kendaraan masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis regresi linear berganda. Analisis regresi linear berganda digunakan untuk mengetahui keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan masyarakat terhadap produksi emisi CO₂ berdasarkan konsumsi bahan bakar kendaraan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan dan pengaruh perilaku perjalanan masyarakat terhadap produksi emisi CO₂. Variabel perilaku perjalanan berupa pendapatan rumah tangga, jumlah motor, jumlah mobil dan panjang perjalanan apabila mengalami peningkatan, mempunyai keterkaitan serta pengaruh positif terhadap peningkatan produksi emisi CO₂ berdasarkan konsumsi bahan bakar kendaraan per rumah tangga.

Kata Kunci—Emisi Karbon, Konsumsi Bahan Bakar, Perilaku Perjalanan.

I. PENDAHULUAN

PERUBAHAN iklim menunjukkan beberapa indikator, salah satunya adalah kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi yang menyebabkan pemanasan global. Pada tahun 2020, tercatat bahwa suhu global meningkat sebesar 1,02°C [1]. Pemanasan global ini terjadi akibat peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer, yang berperan dalam menjebak panas matahari di bumi. Dalam emisi GRK, karbon dioksida (CO₂) merupakan gas utama yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan berperan dalam mengubah siklus karbon di Bumi [2]. Sebagian emisi CO₂ tersebut berasal dari sektor energi, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil dalam transportasi yang merupakan kontributor utama terhadap produksi emisi karbon.

Kondisi tersebut juga terjadi di Indonesia dengan masyarakat mayoritas masih menggunakan kendaraan pribadi berbahan bakar fosil yang dominan dalam sektor transportasi darat. Dalam data publikasi Statistik Lingkungan 2021, menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan pengguna energi terbesar dari tahun 2013 hingga 2020 [3] dan

Tabel 1.
Variabel dan Sub Variabel Penelitian

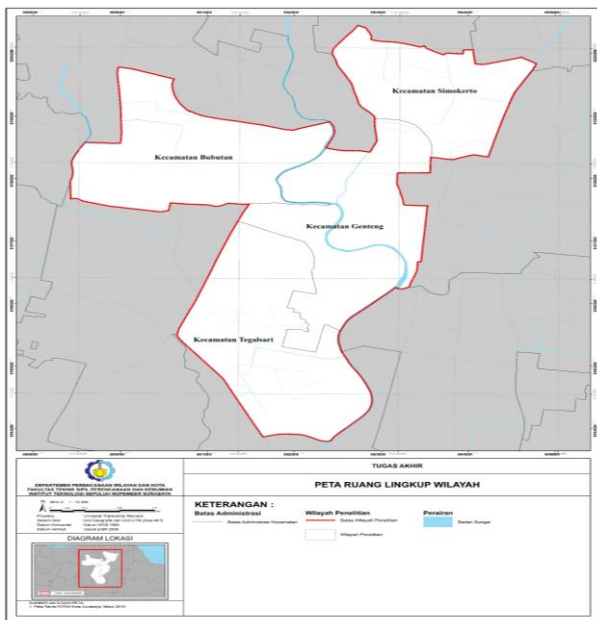
Variabel	Sub Variabel
Pemilihan moda	Pemilihan moda kendaraan pribadi Pemilihan moda <i>non-motorized</i> Pemilihan moda transportasi umum
Kepemilikan kendaraan	Jumlah motor Jumlah mobil
Pendapatan rumah tangga	-
Panjang perjalanan	Panjang perjalanan dalam kilometer Panjang perjalanan dalam menit
Maksud perjalanan	-
Frekuensi Perjalanan	-
Konsumsi bahan bakar	-
Faktor emisi bahan bakar	-

merupakan salah satu sumber terbesar pada produksi emisi Gas Rumah Kaca di kota-kota besar. Di Indonesia emisi dari sektor transportasi mencapai hampir 30% dari total emisi CO₂, dengan 88% diantaranya berasal dari transportasi darat yang memiliki pangsa BBM mencapai 99,97% [4]. Adanya kondisi tersebut mengindikasikan bahwa sektor transportasi memiliki peran yang besar dan produksi emisi karbon. Pada salah satu penelitian sebelumnya oleh Holden dan Norland (2005), diketahui bahwa konsumsi energi rumah tangga untuk transportasi termasuk dalam sumber memberikan dampak besar pada lingkungan [5].

Dalam penelitian Zhu, et.al (2019), ditemukan bahwa perilaku perjalanan mempunyai keterkaitan dengan konsumsi bahan bakar kendaraan untuk perjalanan dan mempengaruhi produksi emisi karbon dari sektor transportasi [6]. Kemudian dalam penelitian Tiwari, et.al (2011), untuk menghitung sumber emisi dari aktivitas transportasi didasarkan pada konsumsi bahan bakar kendaraan yang digunakan oleh Masyarakat [7]. Dan pada beberapa sumber lainnya juga menyebutkan bahwa produksi emisi karbon itu dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar per rumah tangga dan perilaku perjalanan masyarakat [4], [5], [8].

Untuk perilaku perjalanan aktivitas transportasi adalah kumpulan dari berbagai faktor terkait pengguna dalam menentukan moda perjalanan untuk bepergian dari asal ke tujuan [8]. Faktor tersebut dapat berupa kondisi ekonomi dan sosial, ketersediaan moda, jarak tempuh, waktu tempuh dan biaya perjalanan. Selain itu, beberapa sumber terkait juga menyebutkan untuk perilaku perjalanan dapat diidentifikasi dengan beberapa variabel meliputi, pemilihan moda, kepemilikan kendaraan, pendapatan rumah tangga, jumlah anggota keluarga, panjang perjalanan, maksud perjalanan dan frekuensi perjalanan [10-13].

Meninjau konteks lokasi penelitian yaitu Kota Surabaya, yang merupakan kota metropolitan sekaligus sebagai kota



Gambar 1. Wilayah penelitian kawasan Surabaya pusat.

terbesar kedua di Indonesia yang juga menghadapi tantangan perubahan iklim yang diakibatkan oleh emisi karbon dioksida. Berdasarkan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2019, sektor transportasi darat menjadi penyumbang utama emisi GRK pada tahun 2016, mencapai 52,76% dari total emisi GRK [13]. Kemudian kondisi di Kota Surabaya yang memiliki aktivitas ekonomi tinggi dan kompleks terutama di kawasan pusat kota atau area *Central Business District* (CBD), dengan salah satunya terletak di Kawasan Surabaya Pusat. Sebagai area CBD Kawasan Surabaya Pusat memiliki tingkat aktivitas transportasi tinggi dan terdiri berbagai jenis penggunaan lahan seperti perkantoran, perdagangan jasa dan fasilitas umum. Dan dalam aktivitas pergerakan transportasi di Kawasan Surabaya Pusat masih didominasi dengan pergerakan bermotor atau *Motorised Transportation* (MT), yang berpeluang menimbulkan masalah seperti kemacetan lalu lintas, dampak lingkungan akibat emisi kendaraan dan permasalahan lain seperti *eksternalitas* yang sering terjadi di pusat-pusat kota CBD [14]. Dengan temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang juga menunjukkan bahwa kota-kota besar cenderung memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, yang berkontribusi pada produksi emisi karbon yang lebih besar dari aktivitas transportasi di kota-kota tersebut [15]. Dan pada penelitian lain juga menemukan hasil bahwa di pusat kota memiliki produksi emisi karbon dari aktivitas transportasi lebih tinggi dibandingkan dengan di kawasan pinggiran [16].

Maka, dengan meninjau adanya kondisi di kawasan Surabaya Pusat yang termasuk pusat kota dengan produksi emisi yang cukup tinggi dibandingkan dengan area yang lain dan aktivitas yang kompleks dengan dominasi perjalanan kendaraan bermotor, maka menjadi menarik untuk dikaji bagaimana keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan terhadap produksi emisi karbon dioksida berdasarkan konsumsi bahan bakar untuk aktivitas transportasi di Kawasan Surabaya Pusat. Selain itu, apabila dibandingkan pada beberapa penelitian sebelumnya lebih banyak hanya membahas mengenai bagaimana pengaruh lingkungan binaan terhadap pemilihan moda transportasi dan

Tabel 2.
Faktor Emisi Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Tier 1	Tier 2
	(kg CO ₂ /T)	(kg CO ₂ /T)
Bensin RON 92*	69.300	72.600
Bensin RON 88**	69.300	72.967
Avtur	71.500	73.333
Minyak Tanah	71.900	73.700
<i>Automotive Diesel Oil</i> (ADO/Solar)***	74.100	74.433
<i>Industrial Diesel Oil</i> (IDO)	74.100	74.067
<i>Residual Fuel Oil</i> (RFO)	77.400	75.167
Batubara	96.100	99.718
Gas Alam	56.100	57.600

Catatan : *) *pertamax*
 **) *premium, pertalite*
 ***) *dex, dextrite*

Tabel 3.
Nilai Kalor Setiap Jenis Bahan Bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor	Penggunaan
Premium*	33x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor
Solar (HSD, ADO)**	36x10 ⁻⁶ TJ/liter	Kendaraan bermotor, Pembangkit Listrik
Minyak Diesel (IDO) MFO	38x10 ⁻⁶ TJ/liter	Broiler industri, pembangkit listrik
	40x10 ⁻⁶ TJ/liter	Pembangkit listrik
	4.04x10 ⁻⁶ TJ/ton	
Gas Bumi	1,055x10 ⁻⁶ TJ/SFC	Industri, rumah tangga, restoran
	38,5x10 ⁻⁶ TJ/Nm ³	
LPG	47,3x10 ⁻⁶ TJ/kg	Rumah tangga, restoran
Batubara	18,9x10 ⁻⁶ TJ/ton	Pembangkit listrik, industri

Catatan : *) termasuk pertalite, Pertamina, Pertamina Plus
 **) termasuk dex, dextrite

aktivitas transportasi [18-21], akan tetapi tidak meneliti hingga bagaimana keterkaitan perilaku perjalanan terhadap produksi emisi karbon berdasarkan konsumsi bahan bakar untuk aktivitas transportasi masyarakat khususnya di Kawasan Surabaya Pusat. Untuk itu, penelitian ini menjadi perlu untuk mengkaji bagaimana, keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan masyarakat terhadap produksi emisi karbon berdasarkan konsumsi bahan bakar untuk aktivitas transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Dalam penelitian merupakan jenis penelitian kuantitatif dan korelasional, yang bertujuan untuk mengetahui keterkaitan dan besaran pengaruh antara variabel perilaku perjalanan dengan produksi emisi karbon sektor transportasi berdasarkan konsumsi bahan bakar kendaraan masyarakat.

B. Variabel dan Sub Variabel Penelitian

Berdasarkan hasil sintesa pustaka dan tinjauan penelitian, pada penelitian ini dalam menganalisis keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan terhadap produksi emisi karbon berdasarkan konsumsi bahan bakar untuk aktivitas transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat akan menggunakan beberapa variabel dan sub variabel seperti yang dimuat dalam Tabel 1.

C. Populasi dan Sampel

Populasi pada penelitian ini terdiri dari seluruh rumah tangga yang tinggal di Kawasan Surabaya Pusat. Untuk wilayah penelitian ditunjukkan oleh Gambar 1. Perhitungan populasi rumah tangga dalam penelitian ini didasarkan dari

Tabel 4.

Rata-Rata Total Emisi Karbon per Rumah Tangga Tiap Kelurahan		
Kecamatan	Kelurahan	Rata-Rata Emisi CO ₂ per Rumah Tangga (Kg/Tahun)
Tegalsari	Keputran	943,31
	Dr. Soetomo	1.625,49
	Tegalsari	1.041,67
	Wonorejo	907,14
	Kedungdoro	1.033,92
Genteng	Embong Kaliasin	1.239,62
	Ketabang	1.226,61
	Genteng	1.077,99
	Peneleh	1.080,14
	Kapasari	1.019,64
Simokerto	Kapasan	1.029,24
	Tambakrejo	2.472,96
	Simokerto	1.413,16
	Sidodadi	1.240,15
	Simolawang	1.641,82
Bubutan	Tembok Dukuh	2.154,24
	Bubutan	2.102,73
	Alun-Alun Contong	1.130,00
	Gundih	3.206,19
	Jepara	1.902,75

jumlah rumah tangga pada setiap kelurahan di Kawasan Surabaya Pusat, dengan menggunakan data publikasi Badan Pusat Statistika Kota Surabaya Tahun 2021. Kemudian untuk menentukan jumlah sampel rumah tangga Kawasan Surabaya Pusat yang harus menjadi responden pada penelitian ini dihitung dengan rumus *Slovin* dan teknik sampling *proportional random sampling*. Berdasarkan asumsi *margin of error* dengan *error* data yang masih dapat ditoleransi adalah 5-10%, maka pada penelitian ini menggunakan *margin of error* sebesar 8%, maka untuk jumlah sampel pada wilayah penelitian sebanyak 156 rumah tangga.

D. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data diperoleh melalui dua metode pengumpulan data. Metode pertama adalah pengumpulan data primer, sedangkan metode kedua adalah pengumpulan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara *home base interview*. Dan untuk pengumpulan data sekunder dilakukan dengan survei instansi dan studi literatur/dokumen terkait.

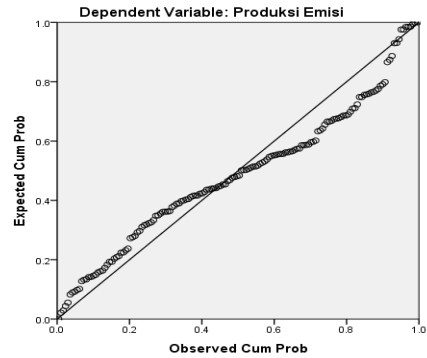
E. Metode Analisis

Pada penelitian ini untuk menganalisis perilaku perjalanan masyarakat dan produksi emisi aktivitas transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat adalah dengan metode perhitungan emisi karbon berdasarkan Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (*Tier 2*) berdasarkan konsumsi bahan bakar tahunan per rumah tangga dan regresi linear berganda. Tabel 2 memuat faktor dalam emisi bahan bakar. Perhitungan berdasarkan Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (*Tier 2*) dilakukan untuk menghitung produksi emisi karbon berdasarkan konsumsi bahan bakar untuk 156 sampel rumah tangga. Dengan langkah perhitungan sebagai berikut:

1) Perhitungan Konsumsi Energi

Dalam perhitungan emisi GRK memerlukan data aktivitas yang direpresentasikan dengan data konsumsi energi dengan satuan *Terra Joule (TJ)*. Untuk itu maka dari data aktivitas

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



Gambar 2. Normal P-P Plot.

Tabel 5.

Uji Normalitas Kolmogrov-Smirnov		
One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
N		156
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	0,0000000
	Std. Deviation	1091,35432900
Most Extreme Differences	Absolute	0,116
	Positive	0,116
	Negative	-0,079
Test Statistic		0,116
Asymp. Sig. (2-tailed)		0,000 ^c

a. Test distribution is Normal.
 b. Calculated from data.
 c. Lilliefors Significance Correction.

berupa konsumsi energi dengan satuan fisik (ton, liter, dll), harus dikonversi terlebih dahulu dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 & \text{Konsumsi Energi (TJ)} \\
 & = \text{Konsumsi Energi Rumah Tangga (sat. fisik)} \times \\
 & \quad \text{Nilai Kalor } \left(\frac{TJ}{\text{sat. fisik}} \right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Untuk nilai kalor masing-masing jenis bahan bakar dimuat dalam Tabel 3.

2) Perhitungan Emisi

Dalam perhitungan emisi GRK sektor energi khususnya aktivitas transportasi pada penelitian ini berdasarkan Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (*Tier 2*) yang disusun oleh Pusat Data dan Teknologi ESDM (2017) akan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 & \text{Emisi Karbon per Rumah Tangga } \left(\frac{kg}{\text{thn}} \right) \\
 & = \text{Konsumsi Energi per Rumah Tangga } \left(\frac{TJ}{\text{thn}} \right) \\
 & \quad \times \text{Faktor Emisi } \left(\frac{kg}{TJ} \right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Sedangkan analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui keterkaitan dan besaran pengaruh variabel perilaku perjalanan terhadap produksi emisi karbon dari konsumsi bahan bakar untuk aktivitas transportasi. Pada analisis regresi berganda menggunakan variabel bebas meliputi, data pendapatan rumah tangga, kepemilikan kendaraan per rumah tangga, jumlah pemilihan pada masing-masing moda transportasi, panjang perjalanan dalam sehari per rumah tangga, frekuensi total perjalanan dalam seminggu per rumah tangga. Kemudian menggunakan variabel terikat berupa jumlah produksi emisi per rumah tangga dalam 1

Tabel 6.
Uji Autokorelasi dan Uji Determinasi

Model Summary ^b					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	0,852 ^a	0,727	0,719	1.105,714872	1,896

a. Predictors: (Constant), Total Jumlah Perjalanan, Jumlah Mobil, Panjang (Km), Jumlah Motor, Pendapatan Rumah Tangga, Total Pemilihan Moda Kendaraan Pribadi, Panjang (menit)
b. Dependent Variable: Produksi Emisi

Tabel 7.
Uji Multikolinearitas dan Uji t

Model	Coefficients ^a							
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF	
(Constant)	-761,417	215,292		-3,537	0,001			
1 Pendapatan Rumah Tangga	0,000272	0,00029	0,487	9,261	0,000	0,654	1,530	
Jumlah Motor	307,266	101,804	0,132	3,018	0,003	0,930	1,075	
Jumlah Mobil	1.598,120	207,519	0,404	7,701	0,000	0,667	1,500	
Panjang (Km)	11,313	5,256	0,090	2,152	0,033	0,912	1,097	

a. Dependent Variable: Produksi Emisi

Tabel 8.
Uji Heteroskedastisitas

Model	Coefficients ^a					
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
1 (Constant)	-9,039	21,311			-.424	.675
Ln_Pendapatan	1,494	1,364		.263	1,095	.285
Ln_JumlahMotor	.904	1,264		.136	.715	.482
Ln_JumlahMobil	2,543	2,277		.289	1,117	.276
Ln_JPanjang	-.576	.687		-.169	-.839	.410

a. Dependent Variable: Ln_RES

tahun.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis produksi emisi aktivitas transportasi masyarakat Kawasan Surabaya Pusat

Dalam melakukan analisis produksi emisi aktivitas transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat melalui beberapa tahap perhitungan yaitu, pertama perhitungan konsumsi bahan bakar kendaraan dalam satu tahun, kedua perhitungan konsumsi energi dalam satu tahun dan ketiga perhitungan produksi emisi karbon (CO₂) dalam satu tahun. Pada penelitian ini jenis bahan bakar dikategorikan menjadi tiga, yaitu *pertalite*, *pertamax* dan *dex* dengan ekuivalensi untuk jenis bahan bakar yang lain disetarakan dengan nilai RON nya sesuai dokumen Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (Tier 2) yang disusun oleh Pusat Data dan Teknologi ESDM (2017). Perhitungan produksi emisi CO₂ ini dilakukan untuk 156 sampel rumah tangga. Tabel 4 memuat rata-rata hasil perhitungan produksi emisi CO₂ per rumah tangga untuk setiap Kelurahan di Surabaya Pusat.

B. Analisis keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan terhadap produksi emisi aktivitas transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat

Dalam salah satu penelitian oleh W. Zhu et al., (2019) menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar dan produksi emisi karbon dari aktivitas transportasi dipengaruhi oleh perilaku perjalanan. Untuk itu dalam mengetahui pengaruh perilaku perjalanan pada produksi emisi karbon, dilakukan dengan analisis regresi linear berganda. Kemudian berdasarkan uji asumsi klasik dan uji statistik pada analisis regresi linear berganda tidak semua variabel perilaku perjalanan dapat digunakan untuk membuat model

persamaan regresi. Sehingga diperoleh persamaan akhir dengan hasil analisis regresi dan uji statistik sebagai berikut:

1) Uji Asumsi Klasik

a) Uji Normalitas

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, *residual* yang digunakan dalam analisis tidak terdistribusi normal, karena telah tidak terletak pada sekitar garis melintang dalam P-P plot seperti yang ditunjukkan Gambar 2. Kemudian dari hasil uji *Sample Kolmogorov-Smirnov*, diketahui data nilai signifikansinya adalah 0,000025 atau kurang dari 0,05 yang artinya data yang digunakan tidak terdistribusi normal. Namun, dalam referensi menyebutkan bahwa ketika semua asumsi klasik lainnya terpenuhi dan jumlah sampel cukup besar ($n > 30$) maka untuk uji normalitas dapat disimpulkan mempunyai hasil yang mendekati terdistribusi normal [22-24]. Untuk itu pada uji normalitas analisis ini dapat dikatakan sudah mendekati distribusi normal, karena mempunyai sampel analisis 156 data dan untuk uji asumsi klasik lainnya telah lolos. Hasil uji Kormogorov-Smirnov dalam penelitian ini dimuat dalam Tabel 5.

b) Uji Autokorelasi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada variabel yang digunakan untuk estimasi total produksi emisi, diperoleh nilai *Durbin-Watson* (DW) sebesar 1,896 atau mendekati 2, yang menunjukkan bahwa tidak terdapat gejala autokorelasi dalam model tersebut. Hasil uji autokorelasi serta determinasi ada dalam Tabel 6.

c) Uji Multikolinearitas

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap variabel yang digunakan, tidak ditemukan indikasi adanya multikolinearitas karena nilai VIF setiap variabel kurang dari

Tabel 9.
Uji F

ANOVA ^a					
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	490397082.411	4	122599270.603	100.277	.000 ^b
Residual	184613412.070	151	1222605.378		
Total	675010494.481	155			

a. Dependent Variable: Produksi Emisi

b. Predictors: (Constant), Panjang (Km), Jumlah Motor, Jumlah Mobil, Pendapatan Rumah Tangga

Tabel 10.
Estimasi Produksi Emisi Karbon berdasarkan Perilaku Perjalanan Masyarakat Kawasan Surabaya Pusat

Kecamatan	Kelurahan	Estimasi Produksi Emisi CO2 per Rumah Tangga (Kg/Tahun)	Jumlah Rumah Tangga	Total Produksi Emisi CO2 per Kelurahan (Ribu Ton/Tahun)
Tegalsari	Keputran	998,407	5195	5,187
	Dr. Soetomo	3.283,595	5363	17,610
	Tegalsari	1.054,131	6142	6,474
	Wonorejo	971,880	8776	8,529
	Kedungdoro	1.039,140	7931	8,241
Genteng	Embong Kaliasin	1.373,218	3981	5,467
	Ketabang	1.482,649	2522	3,739
	Genteng	1.115,216	2968	3,310
	Peneleh	1.317,873	5042	6,645
	Kapasari	838,851	5716	4,795
	Kapasan	1.121,030	5312	5,955
	Tambakrejo	3.012,849	6520	19,644
Simokerto	Simokerto	1.615,661	7359	11,890
	Sidodadi	165,517	5450	0,902
	Simolawang	326,458	7061	2,305
	Tembok Dukuh	1.110,601	8743	9,710
Bubutan	Bubutan	1.484,861	4736	7,032
	Alun-Alun Contong	1.096,237	2488	2,727
	Gundih	1.377,120	8969	12,351
	Jepara	2.324,542	8225	19,119

10 dan nilai *Tolerance* lebih besar dari 0,10. Hal tersebut ditunjukkan oleh Tabel 7.

d) Uji Heteroskedastisitas

Berdasarkan hasil analisis dengan uji Park Tabel 8, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat gejala heteroskedastisitas pada seluruh variabel bebas, karena mempunyai nilai signifikansi (*sig*) > 0,05.

2) Uji Statistik

a) Uji R Square atau Determinasi

Uji *R Square*, yang juga dikenal sebagai uji determinasi, digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian model dengan data yang ada (*goodness of fit*). Semakin nilai *R Square* mendekati 1, menunjukkan bahwa model tersebut semakin baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel independen dan dependen. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4, diperoleh nilai *Adjusted R Square* sebesar 0,719, yang setara dengan 71,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa sebesar 71,9% variasi pada variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen yang digunakan dalam model penelitian ini.

b) Uji t

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada Tabel 5, semua variabel independen yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan pengaruh yang signifikan secara individu terhadap variabel dependen. Variabel pendapatan rumah tangga, jumlah motor, jumlah mobil, dan panjang perjalanan (Km) memiliki nilai signifikansi < 0,05.

c) Uji F

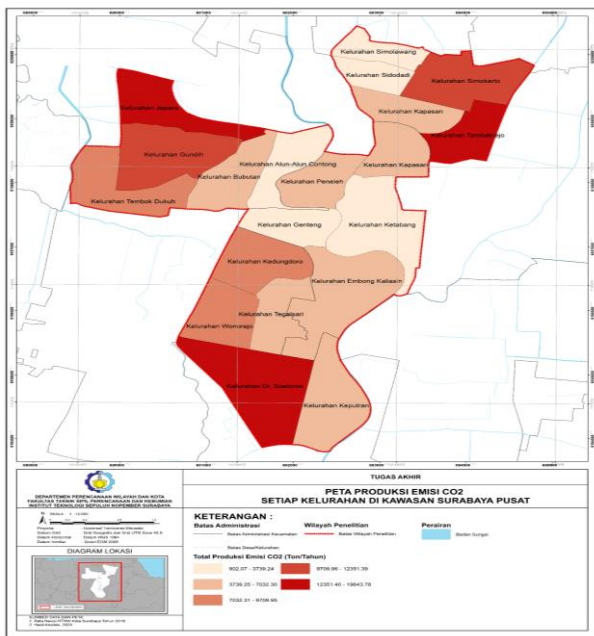
Hasil uji F dapat ditemukan pada *output* SPSS dalam tabel ANOVA, dengan syarat nilai *sig* < 0,05 agar dapat menyimpulkan bahwa semua variabel independen memiliki pengaruh secara simultan terhadap variabel dependen. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa secara bersama-sama variabel independen yang digunakan mempengaruhi variabel dependen karena memiliki nilai signifikansi < 0,05.

Dengan hasil analisis pada Tabel 9, berikut merupakan persamaan akhir regresi yang dengan variabel bebas yang digunakan meliputi pendapatan rumah tangga, jumlah motor, jumlah mobil dan panjang perjalanan (Km).

$$\begin{aligned}
 \text{Produksi emisi CO}_2 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Tahun}} \right) &= -761,417 \\
 &+ 0,000272 \text{ Pendapatan Rumah Tangga (Rupiah)} \\
 &+ 307,266 \text{ Jumlah Motor (Unit)} \\
 &+ 1598,120 \text{ Jumlah Mobil (Unit)} \\
 &+ 11,313 \text{ Panjang Perjalanan (Km)}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

- a. Dengan peningkatan pendapatan rumah tangga 1 Rupiah, maka produksi emisi per rumah tangga akan meningkat sebesar 0,000272 Kg/tahun. Meskipun koefisien yang dihasilkan sangat kecil, namun ini menunjukkan adanya hubungan positif antara pendapatan rumah tangga dengan produksi emisi CO₂ dari sektor transportasi berdasarkan konsumsi bahan bakar kendaraan;
- b. Dengan peningkatan jumlah motor 1 unit, maka produksi emisi per rumah tangga akan meningkat sebesar 307,266



Gambar 3. Estimasi produksi emisi karbon setiap kelurahan kawasan surabaya pusat.

Kg/tahun. Hasil ini juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah motor yang dimiliki dalam satu rumah tangga, maka semakin tinggi produksi emisi CO₂;

- c. Dengan peningkatan jumlah mobil 1 unit, maka produksi emisi per rumah tangga akan mengalami peningkatan sebesar 1598,120 Kg/tahun. Hasil tersebut juga menunjukkan adanya hubungan positif antara peningkatan jumlah mobil dengan peningkatan produksi emisi CO₂;
- d. Dengan peningkatan panjang perjalanan 1 Km, maka produksi emisi per rumah tangga akan meningkat sebesar 11,313 Kg/tahun. Hasil tersebut juga menunjukkan adanya hubungan positif antara peningkatan panjang perjalanan mobil dengan peningkatan produksi emisi CO₂.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, menunjukkan adanya hubungan signifikan antara variabel bebas (pendapatan rumah tangga, jumlah motor, jumlah mobil, dan panjang perjalanan) dengan produksi emisi CO₂ per rumah tangga. Koefisien regresi untuk masing-masing variabel bebas menunjukkan arah dan besar pengaruhnya terhadap produksi emisi CO₂. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, dengan hasil penelitian yang mengindikasikan bahwa perilaku perjalanan dan khususnya panjang perjalanan memiliki keterkaitan dan pengaruh pada emisi CO₂ per rumah tangga [6].

C. Estimasi Produksi Emisi Karbon berdasarkan Perilaku Perjalanan Masyarakat Kawasan Surabaya Pusat

Dengan telah diperoleh model persamaan regresi berbasis rumah tangga untuk estimasi total produksi emisi karbon (CO₂) di Kawasan Surabaya Pusat, maka dapat dilakukan untuk perhitungan estimasi total produksi emisi karbon setiap kelurahan di Kawasan Surabaya Pusat dengan menggunakan data rata-rata pendapatan rumah tangga, rata-rata jumlah motor, rata-rata jumlah mobil dan rata-rata panjang perjalanan (Km) per rumah tangga setiap kelurahan. Kemudian dari hasil perhitungan berdasarkan model persamaan regresi, selanjutnya dikalikan dengan jumlah rumah tangga setiap kelurahan. Dengan hasil perhitungan estimasi total produksi emisi karbon yang dipengaruhi

perilaku perjalanan di setiap kelurahan Kawasan Surabaya Pusat disajikan pada Tabel 10 dan peta Gambar 3.

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi total produksi emisi karbon (CO₂), untuk setiap kelurahan di Kawasan Surabaya Pusat mempunyai nilai produksi yang berbeda-beda dengan rentang 0,902 – 19,644 ribu ton/tahun. Rata-rata produksi emisi karbon kelurahan di Kawasan Surabaya Pusat adalah 8,082 ribu ton/tahun. Di dalam Kawasan Surabaya Pusat, kelurahan yang memproduksi emisi karbon paling tinggi berada di Kelurahan Tambakrejo, Kecamatan Simokerto. Sedangkan untuk kelurahan yang memproduksi emisi karbon paling sedikit diantara semua kelurahan di Kawasan Surabaya Pusat adalah Kelurahan Sidodadi, Kecamatan Simokerto. Kemudian berdasarkan peta pada Gambar 3. juga menunjukkan untuk kelurahan yang memiliki rentang nilai tertinggi merupakan kelurahan yang berada di daerah pinggir atau ujung dari Kawasan Surabaya Pusat.

Pada Kelurahan Tambakrejo dengan estimasi memiliki produksi emisi paling tinggi apabila ditinjau berdasarkan salah satu variabel perilaku perjalanan yang mempengaruhi produksi emisi karbon yaitu pendapatan rumah tangga, pada hasil *homebase interview* menunjukkan rata-rata pendapatan Rp 4.640.000,-. Nilai rata-rata pendapatan tersebut lebih tinggi dibandingkan Kelurahan Sidodadi yang merupakan kelurahan dengan produksi emisi terendah, yaitu hanya sebesar Rp 1.945.455,-. Adanya hal tersebut sejalan dengan hasil model persamaan regresi, yaitu adanya peningkatan pendapatan rumah tangga hanya memiliki pengaruh dalam meningkatkan emisi CO₂ per rumah tangga. Namun, apabila mempertimbangkan nilai koefisien regresi pada variabel pendapatan rumah tangga yang sangat kecil (0,000272), maka pengaruhnya juga diasumsikan tidak terlalu besar pada peningkatan produksi emisi karbon.

Kemudian apabila ditinjau kembali untuk Kelurahan Tambakrejo yang memiliki produksi emisi paling tinggi berdasarkan hasil *homebase interview* rata-rata setiap rumah tangga memiliki 2-unit motor dan 1-unit mobil. Sedangkan pada Kelurahan Sidodadi dengan produksi emisi terendah rata-rata rumah tangga hanya memiliki 1 unit motor saja. Dengan adanya hal tersebut menunjukkan ketika jumlah kepemilikan motor dan mobil semakin banyak, maka produksi emisi karbon akan semakin tinggi. Kondisi tersebut sejalan dengan model persamaan regresi yang menunjukkan koefisien regresi yang positif dan pengaruh yang besar dari variabel jumlah motor dan jumlah mobil (307,266 dan 1598,120) pada peningkatan produksi emisi karbon.

Selain itu, apabila dibandingkan untuk Kelurahan Tambakrejo rata-rata masyarakatnya memiliki panjang perjalanan per rumah tangga sebesar 26,48 Km, rata-rata jarak panjang perjalanan yang cukup jauh tersebut juga dipengaruhi oleh tujuan perjalanan masyarakat yang mayoritas berada di luar area Kawasan Surabaya Pusat. Sedangkan Kelurahan Sidodadi hanya memiliki rata-rata panjang perjalanan 8 Km. Dengan adanya hal tersebut mengindikasikan semakin panjang jarak perjalanan maka produksi emisi karbon juga semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan model persamaan regresi pada variabel panjang perjalanan yang menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap produksi emisi CO₂ per rumah tangga, dengan koefisien regresi sebesar 11,313. Hasil ini menegaskan bahwa semakin panjang perjalanan yang

dilakukan oleh rumah tangga, maka semakin tinggi produksi emisi CO₂ yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Untuk mengetahui keterkaitan dan besaran pengaruh perilaku perjalanan dan produksi emisi dari sektor transportasi di Kawasan Pusat Kota Surabaya telah dilakukan beberapa tahap analisis dan dapat disimpulkan bahwa, peningkatan produksi emisi karbon sektor transportasi masyarakat di Kawasan Surabaya Pusat dipengaruhi oleh variabel perilaku perjalanan berupa pendapatan rumah tangga, jumlah motor, jumlah mobil, dan panjang perjalanan.

Secara lebih spesifik berdasarkan koefisien variabel bebas regresi menunjukkan bahwa pendapatan rumah tangga memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap produksi emisi CO₂, dibandingkan dengan pengaruh panjang yang lebih besar dalam meningkatkan produksi emisi CO₂. Kemudian variabel perilaku perjalanan yang paling besar mempengaruhi peningkatan produksi emisi karbon adalah jumlah kepemilikan motor dan kepemilikan mobil. Dengan adanya hal tersebut ketika terdapat peningkatan jumlah kepemilikan motor dan mobil dalam satu rumah tangga, diestimasikan akan terjadi peningkatan produksi emisi karbon yang semakin tinggi.

Kemudian dengan temuan penelitian ini juga mengindikasikan bahwa strategi mitigasi emisi CO₂ perlu berfokus pada strategi pengurangan penggunaan kendaraan bermotor dan adopsi transportasi berkelanjutan. Strategi tersebut dapat diimplementasikan dapat berupa *transport demand management* yang mempertimbangkan transportasi berkelanjutan dan didukung oleh kebijakan atau regulasi terkait yang mendorong penekanan pada pengurangan jumlah motor dan mobil dalam rumah tangga serta meningkatkan kesadaran tentang efisiensi energi dalam perjalanan akan menjadi langkah kritis dalam mengurangi produksi emisi CO₂ per rumah tangga. Kemudian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mempertimbangkan variabel yang berpengaruh terhadap perilaku perjalanan masyarakat yang dapat berkontribusi signifikan terhadap produksi emisi CO₂ di Kawasan Surabaya Pusat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NASA, "Vital Signs: Vital Signs of the Planet," California: NASA Global Climate Change, 2021.
- [2] R. Zhang, Y. Long, W. Wu, and G. Li, "How do transport policies contribute to a low carbon city? An integrated assessment using an urban computable general equilibrium model," *Energy Procedia*, vol. 152, pp. 606–611, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.09.218.
- [3] Badan Pusat Statistik Indonesia, *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, ISSN: 0216-6224, 2021.
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi*. Jakarta Pusat: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020.
- [5] E. Holden and I. T. Norland, "Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: Household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region," *Urban Stud.*, vol. 42, no. 12, pp. 2145–2166, Nov. 2005, doi: 10.1080/00420980500332064.
- [6] W. Zhu, C. Ding, and X. Cao, "Built environment effects on fuel consumption of driving to work: Insights from on-board diagnostics data of personal vehicles," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 67, pp. 565–575, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.trd.2019.01.013.
- [7] R. Tiwari, R. Cervero, and L. Schipper, "Driving CO₂ reduction by integrating transport and urban design strategies," *Cities*, vol. 28, no. 5, pp. 394–405, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.cities.2011.05.005.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (Tier 2) dalam Inventarisasi GRK Sektor Energi*. Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ISBN: 978-602-0836-30-0, 2017.
- [9] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: ITB, ISBN: 979-9299-10-1, 2000.
- [10] M. Mwale, R. Luke, and N. Pisa, "Factors that affect travel behaviour in developing cities: A methodological review," *Transp. Res. Interdiscip. Perspect.*, vol. 16, p. 100683, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.trip.2022.100683.
- [11] A. U. Faza, "Perilaku Perjalanan di Kawasan Pinggiran dan Pusat Kota Semarang," Departemen Transportasi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2021.
- [12] R. Kitamura, P. L. Mokhtarian, and L. Laidet, "A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area," *Transportation (Amst.)*, vol. 24, no. 2, pp. 125–158, 1997, doi: 10.1023/A:1017959825565.
- [13] Pemerintah Kota Surabaya and Dinas Lingkungan Hidup, *Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Tahun 2019*. Surabaya: Pemerintah Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup, 2019.
- [14] A. Akrimullah, "Pengaruh Elemen Bentuk Perkotaan Terhadap Perilaku Pergerakan Non-Motor Di Up Tunjungan, Kota Surabaya," Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [15] P. W. G. Newman and J. R. Kenworthy, "Gasoline consumption and cities," *J. Am. Plan. Assoc.*, vol. 55, no. 1, pp. 24–37, Mar. 1989, doi: 10.1080/01944368908975398.
- [16] H. S. Hasibuan, T. P. Soemardi, R. Koestoer, and S. Moersidik, "The role of transit oriented development in constructing urban environment sustainability, the case of Jabodetabek, Indonesia," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 20, pp. 622–631, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.075.
- [17] L. Cheng, X. Chen, S. Yang, Z. Cao, J. De Vos, and F. Witlox, "Active travel for active ageing in China: The role of built environment," *J. Transp. Geogr.*, vol. 76, pp. 142–152, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2019.03.010.
- [18] G. Eldeeb, M. Mohamed, and A. Páez, "Built for active travel? Investigating the contextual effects of the built environment on transportation mode choice," *J. Transp. Geogr.*, vol. 96, p. 103158, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103158.
- [19] D. Kim, J. Park, and A. Hong, "The role of destination's built environment on nonmotorized travel behavior: A case of Long Beach, California," *J. Plan. Educ. Res.*, vol. 38, no. 2, pp. 152–166, Jun. 2018, doi: 10.1177/0739456X16688765.
- [20] T. Munshi, "Built environment and mode choice relationship for commute travel in the city of Rajkot, India," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 44, pp. 239–253, May 2016, doi: 10.1016/j.trd.2015.12.005.
- [21] X. Yan and X. G. Su, *Linear Regression Analysis*. USA: World Scientific, ISBN: 978-981-283-410-2, 2009.
- [22] A. Widarjono, *Statistika Terapan dengan Excel dan SPSS*. Yogyakarta: UPP STIM YKPN, ISBN: 978-602-1286-87-6, 2019.
- [23] M. Kutner, C. Nachtsheim, J. Neter, and W. Li, *Applied Linear Statistical Models*, 5th ed. New York: McGraw-Hill Irwin, ISBN: 978-0073108742, 2004.