

Pemetaan Jejak Karbon pada Sektor Energi dari Aktivitas Permukiman di Kota Bogor, Jawa Barat

Iren Chaerunnisa*, Wilma Nurrul Adzillah, Azis Kemal Fauzie

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat Indonesia

*Koresponden email: irenchaerunnisa28@gmail.com

Diterima: 2 Agustus 2024

Disetujui: 8 Agustus 2024

Abstract

One of the causes of global warming is the presence of carbon emissions in the atmosphere. Carbon emissions trapped in the atmosphere will cause the Earth's average temperature to rise. Therefore, it is necessary to calculate and map carbon footprints to anticipate the effects of global warming, one of which is in the city of Bogor. The energy sector is the sector that contributes 43.83% compared to other sectors. The calculation of the carbon footprint is based on IPCC formulas. Meanwhile, data collection is carried out through the distribution of questionnaires and direct interviews with the residents of Bogor City in 6 sub-districts. The calculated carbon footprint of the energy sector comes from residential activities, namely the use of fuel for cooking, fuel oil for motor vehicles and electricity used during 1 month. The results of the energy sector carbon footprint in Bogor City were then mapped at different levels using QGIS. The calculation of CO₂ emissions in Bogor City resulted in 2,244,809.6 tons/year and was dominated by North Bogor District as the largest contributor of CO₂ emissions.

Keywords: *carbon footprint; energy sector, greenhouse gas.*

Abstrak

Salah satu penyebab pemanasan global adalah adanya emisi karbon di atmosfer. Emisi karbon yang terperangkap di atmosfer akan menyebabkan suhu rata-rata bumi meningkat. Oleh karena itu, perlu adanya perhitungan dan juga pemetaan jejak karbon sebagai bentuk antisipasi dampak pemanasan global, salah satunya di Kota Bogor. Sektor energi merupakan sektor yang menyumbang emisi CO₂ paling besar dengan nilai 43,83% dibandingkan dengan sektor lain. Perhitungan jejak karbon menggunakan rumus dari IPCC, sedangkan pengumpulan data dilakukan dengan menyebarkan kuesioner dan wawancara secara langsung kepada masyarakat di Kota Bogor yang tersebar di 6 kecamatan. Jejak karbon sektor energi yang dihitung berasal dari aktivitas permukiman yaitu penggunaan bahan bakar untuk memasak, bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor, dan penggunaan listrik. Setelah itu dilakukan pemetaan hasil jejak karbon Kota Bogor pada sektor energi pada beberapa tingkatan dengan menggunakan *software* QGIS. Perhitungan emisi CO₂ di Kota Bogor menghasilkan 2.244.809,6 ton/tahun dan didominasi oleh Kabupaten Bogor Utara sebagai penyumbang emisi CO₂ terbesar.

Kata Kunci: *gas rumah kaca, jejak karbon, sektor energi.*

1. Pendahuluan

Jumlah penduduk yang meningkat akan memberikan dampak terhadap kebutuhan dari masyarakat itu sendiri. Kebutuhan tersebut perlu dipenuhi dan tidak dapat terlepas dari aktivitas-aktivitas di permukiman. Aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat seperti memasak, memakai barang elektronik, dan penggunaan transportasi dapat menghasilkan emisi CO₂ (Wulandari, 2013). Oleh karena itu, semakin banyak aktivitas manusia yang menghasilkan emisi karbon maka semakin besar pula jejak karbonnya (Rahayu dalam Wiratama, 2016). Jejak karbon merupakan suatu organisasi, peristiwa, produk, dan aktivitas manusia yang menghasilkan emisi karbon (Wiratama dkk., 2016).

Emisi GRK terdiri dari 75% gas karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan dari kegiatan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batubara, gas alam, dan bahan bakar organik lainnya (Pratama, 2019). Penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) yang terbesar yaitu sektor energi dengan nilai 43,83% atau setara dengan 638.452 Gg CO₂eq selama tahun 2019 (Renstra EBTKE 2020-2024). Berdasarkan kondisi tersebut perlu dilakukan perhitungan emisi CO₂ di sektor energi yang berasal dari aktivitas permukiman sehingga dapat dijadikan sebagai dasar untuk pembuatan skenario dalam upaya mitigasi efek GRK.

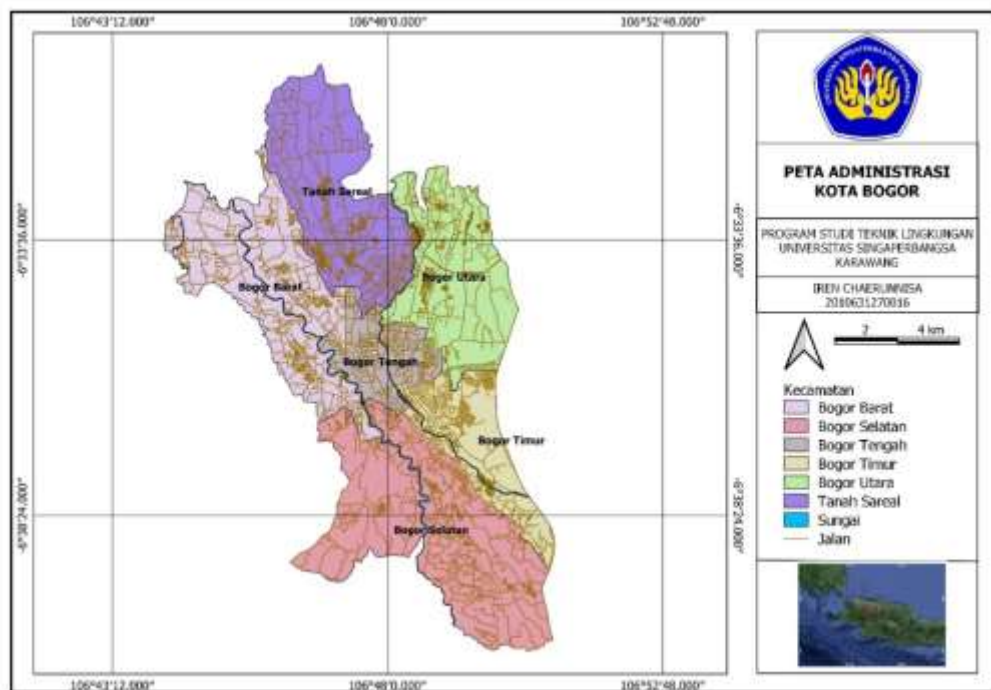
Kota Bogor merupakan kawasan yang memiliki peningkatan jumlah penduduk dari tahun 2021-2022 sebanyak 2,07%. Peningkatan jumlah penduduk akan berpengaruh juga terhadap besaran penggunaan

energi rumah tangga yang akan berpengaruh terhadap meningkatnya emisi karbon yang dihasilkan. Perhitungan emisi CO₂ yang dilakukan di Kota Bogor pada tahun 2012 dan 2014 menunjukkan adanya peningkatan nilai total emisi CO₂ yaitu 1,44 juta ton CO₂ eq pada tahun 2012 dan 1,48 juta ton CO₂ eq pada tahun 2014. Sementara itu, pada tahun 2020 emisi CO₂ yang dihasilkan di Kota Bogor mengalami penurunan sebesar 1,02 juta ton CO₂ eq. Penurunan tersebut dapat terjadi karena tahun 2020 terjadi pandemi Covid-19 yang membuat kegiatan transportasi dan produksi industri dibatasi sehingga nilai total emisi CO₂ yang dihasilkan pada tahun 2020 menjadi lebih sedikit dibandingkan tahun sebelumnya (Adinatha dan Arif, 2022). Oleh karena itu, butuh keterbaruan data emisi CO₂ sehingga dapat dijadikan sebagai gambaran untuk mengetahui keadaan terbaru mengenai emisi CO₂ di Kota Bogor yang disajikan dengan peta sebaran emisi pada tiap kecamatan di Kota Bogor agar dapat dengan mudah dipahami oleh masyarakat.

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini melakukan kajian terhadap aktivitas permukiman dari sektor energi di lokasi penelitian yaitu Kota Bogor yang menghasilkan emisi karbondioksida. Penelitian dilakukan dengan metode wawancara dan penyebaran kuesioner yang dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2024.



Gambar 1. Peta Administrasi Kota Bogor

Pengumpulan Data

Penelitian ini melakukan kajian terhadap aktivitas permukiman dari sektor energi di lokasi penelitian yaitu Kota Bogor yang menghasilkan emisi karbondioksida. Penelitian dilakukan dengan metode wawancara dan penyebaran kuesioner yang dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2024. Sementara itu, data primer yang dibutuhkan adalah jumlah konsumsi bahan bakar minyak (BBM) untuk kendaraan, konsumsi bahan bakar memasak seperti LPG, minyak tanah, atau gas pipa, serta konsumsi listrik per bulan oleh setiap responden. Data tersebut didapatkan dengan cara penyebaran kuesioner kepada warga Kota Bogor yang tersebar di enam kecamatan. Jumlah responden yang dibutuhkan untuk mewakili setiap keluarga di Kota Bogor adalah 100 keluarga. Angka tersebut didapat dari perhitungan berdasarkan metode *Slovin* dengan persamaan berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N\alpha^2} \quad (1)$$

Keterangan:

- n : Jumlah sampel
- N : Jumlah total keseluruhan KK di Kota Bogor
- α : Derajat kesalahan

Jumlah penduduk di Kota Bogor pada tahun 2022 berdasarkan data dari BPS (2023) mencapai 1.063.573 jiwa. Dari jumlah penduduk tersebut maka didapatkan jumlah KK di Kota Bogor yaitu 265.894 KK dengan asumsi jumlah anggota keluarga tiap KK adalah 4 orang.

Berdasarkan persamaan *Slovin* tersebut, derajat kesalahan yang digunakan adalah 10% sehingga diperoleh jumlah sampel yang dibutuhkan yaitu:

$$n = \frac{N}{1 + N\alpha^2}$$

$$n = \frac{265.879}{1 + (265.879)(0,1)^2} = 99,96 \approx 100 \text{ KK}$$

Setelah perhitungan untuk sampel didapatkan, jadi sampel yang dibutuhkan untuk mewakili populasi adalah sebanyak 100 KK. Untuk sampel masing-masing kecamatan dapat diperhitungkan dengan persamaan menurut Sugiyono (2007) seperti persamaan 2 di bawah ini:

$$ni = \frac{xi}{N} \times n \quad (2)$$

Keterangan:

- ni : Jumlah sampel pada tiap kecamatan
- xi : Jumlah KK pada setiap kecamatan
- N : Jumlah total keseluruhan KK di Kota Bogor
- n : Jumlah sampel

Tabel 1. Jumlah Responden di Setiap Kecamatan

No	Kecamatan	Respondent
1	Bogor Selatan	20
2	Bogor Timur	10
3	Bogor Utara	18
4	Bogor Tengah	9
5	Bogor Barat	22
6	Tanah Sareal	21
Total		100

Perhitungan Emisi CO₂

Setelah data yang dibutuhkan terkumpul, dilakukan perhitungan emisi CO₂ sekunder yang berasal dari penggunaan listrik, emisi CO₂ primer yang berasal dari kendaraan (BBM) dan bahan bakar memasak, serta emisi CO₂ total yang berasal dari ketiga sumber tersebut.

a. Emisi CO₂ dari Kendaraan

Emisi CO₂ yang bersumber dari pembakaran bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor dapat dihitung dengan perkalian antara data aktivitas (konsumsi bahan bakar minyak) dan faktor emisi, dinyatakan dalam persamaan berikut yang mengacu pada IPCC (2006).

$$E = DA \times FE \quad (3)$$

Keterangan:

- E : Emisi CO₂ (ton)
- DA : Data Aktivitas (TJ)
- FE : Faktor Emisi (ton/TJ)

Nilai data aktivitas tersebut didapatkan dari persamaan 4 berikut:

$$DA_{BBM} = F_{BBM} \times \rho \times NCV \times 10^{-6} \quad (4)$$

Keterangan:

DA_{BBM} : Data Aktivitas (TJ)

F_{BBM} : Konsumsi BBM (kilo liter)

ρ : Massa jenis BBM (kg/m^3)

NCV : Nilai Kalor Bersih BBM (TJ/ton)

Tabel 2. Nilai Faktor Emisi, NCV, dan Massa Jenis Bahan Bakar Minyak

No	Bahan Bakar		Faktor Emisi (ton/TJ)	Nilai Kalor Bersih (NCV) (TJ/ton)	Massa Jenis (kg/m^3)
1	Premium	RON 92	44610	770	770
2		RON 90	44610	770	770
3	Solar	CN 48	43270	870	870
4		CN 51	43430	860	860
5		CN 53	43550	837,5	837,5

Sumber: Kepdirjen Migas, 2018

b. Emisi CO_2 dari Bahan Bakar untuk Memasak

Perhitungan emisi CO_2 yang dihasilkan dari bahan bakar untuk memasak tersebut dapat menggunakan rumus yang mengacu pada IPCC (2006).

$$Emisi\ CO_2 = FC \times EF \times NCV \tag{5}$$

Keterangan:

FC : Konsumsi bahan bakar untuk memasak (Kg)

EF : Faktor emisi (Kg/MJ)

NCV : *Net Calorific Volume* (MJ/Kg)

Tabel 3. Faktor Emisi dan NVC Bahan Bakar Aktivitas Memasak

No	Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/MJ)	Nilai Kalor Bersih (NCV) (MJ/Kg)
1	LPG	0,0631	47,3
2	Minyak Tanah	0,0719	43,8
3	Gas Alam	0,0576	45,2

Sumber: Kepdirjen Migas, 2018

c. Emisi CO_2 dari Listrik

Emisi CO_2 sekunder dapat bersumber dari penggunaan listrik yang dihitung dari konsumsi listrik dengan satuan KWh dan faktor emisi listrik yaitu 0,000817. Persamaan untuk menghitung emisi CO_2 dari penggunaan listrik dapat dilihat pada persamaan 5 yang mengacu pada perhitungan dari IPCC (2006).

$$Emisi\ CO_2 = FE \times konsumsi\ listrik \tag{5}$$

Keterangan:

Konsumsi listrik : Jumlah listrik yang digunakan (KWh)

FE : Faktor Emisi (0,0008 ton/KWh (Dirjen Ketenagalistrikan, 2019))

Penelitian ini akan menghasilkan peta emisi CO_2 primer yang berasal dari penggunaan BBM dari kendaraan dan bahan bakar untuk memasak, peta emisi CO_2 sekunder yang berasal dari penggunaan listrik dan emisi CO_2 total yang merupakan gabungan dari ketiga sumber tersebut. Ketiga peta tersebut merupakan output penelitian sehingga dapat memvisualisasikan tingkat penyebaran emisi karbon di wilayah studi. Pemetaan emisi CO_2 akan dibuatkan peta berdasarkan tingkatan emisi CO_2 pada tiap kecamatan di Kota Bogor sehingga dapat diketahui kecamatan mana yang tingkat emisi karbonnya tinggi dan juga rendah. Hasil perhitungan emisi CO_2 akan dipetakan menggunakan *software* QGIS.

3. Hasil dan Pembahasan

Emisi CO₂

a. Emisi CO₂ dari Kendaraan

Jenis BBM didominasi oleh jenis RON 90 pada jenis BBM premium sedangkan BBM dengan jenis solar hanya beberapa keluarga saja yang memanfaatkan jenis BBM tersebut sebagai bahan bakar untuk kendaraan mereka. Setelah dilakukan pengumpulan data mengenai pemakaian BBM untuk kendaraan bermotor didapatkan nilai pemakaian BBM di Kota Bogor adalah 1.571.506 kiloliter/tahun dengan rata-rata adalah 5.911 liter/KK/tahun. Perbedaan penggunaan jenis BBM akan mempengaruhi perhitungan emisi CO₂. Masing-masing jenis BBM memiliki nilai densitas yang berbeda-beda sesuai dengan bilangan oktannya. Hasil perhitungan didapatkan emisi CO₂ rata-rata dari BBM jenis RON 90 yaitu 1,4 ton/KK/tahun dan RON 92 yaitu 1,13 ton/KK/tahun. Sementara itu, jenis BBM CN 48 menghasilkan emisi rata-rata yaitu 0,33 ton/KK/tahun, CN 51 yaitu 4,90 ton/KK/tahun, dan CN 53 yaitu 4,78 ton/KK/tahun.

Nilai oktan yang berbeda dari masing-masing jenis BBM tentunya akan menghasilkan emisi CO₂ yang berbeda-beda pula (Sebayang dalam Prasetyo dkk., 2022). Semakin tinggi nilai oktan (RON) maka persentase kadar CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran akan lebih sedikit. Hal tersebut karena BBM yang memiliki nilai RON tinggi memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap *knocking* atau ketukan. Oleh karena itu, bahan bakar dengan RON yang lebih tinggi akan membuat mesin bekerja lebih baik dan terjadi pembakaran yang sempurna karena minim terjadinya ketukan. Seperti halnya dengan bahan bakar bensin, solar juga akan menghasilkan emisi CO₂ yang berbeda sesuai dengan nilai *Cetane Number* (CN). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suryanto dkk. (2015), nilai CN yang lebih tinggi akan membuat dampak dari pembakaran menjadi lebih baik.

Tabel 4. Total Emisi CO₂ Primer dari Kendaraan

No	Kecamatan	Total Emisi CO ₂ (ton/bulan)	Total Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	Bogor Selatan	18.028	216.339
2	Bogor Timur	6.844	82.124
3	Bogor Utara	69.431	833.178
4	Bogor Tengah	4.208	50.495
5	Bogor Barat	19.271	231.251
6	Tanah Sareal	12.841	154.091
Total		130.623	1.567.478

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan emisi CO₂ total dari kendaraan bermotor pada setiap kecamatan di Kota Bogor. Kecamatan yang paling banyak menyumbang emisi CO₂ dari pembakaran BBM adalah Kecamatan Bogor Utara dengan nilai emisi CO₂ yaitu 833.178 ton CO₂/tahun. Faktor yang membuat tingginya angka emisi CO₂ adalah karena pola perilaku rumah tangga yang berada di Kecamatan Bogor, sebagian besar warganya memiliki tingkat aktifitas di luar rumah yang lebih tinggi sehingga penggunaan BBM meningkat (SIMTARU, 2020). Rata-rata rumah tangga di kecamatan tersebut juga memiliki lebih dari satu kendaraan pribadi.

b. Emisi CO₂ dari Bahan Bakar untuk Memasak

Pemakaian bahan bakar untuk memasak di Kota Bogor per tahunnya adalah 3.269,84 Gg/tahun dengan rata-rata adalah 996,42 Kg/KK/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, rata-rata emisi CO₂ yang dihasilkan dari LPG yaitu 0,25 ton/KK/tahun sedangkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari gas pipa yaitu 0,32 ton/KK/tahun dan dari minyak tanah adalah 0,3 ton/KK/tahun.

Tabel 5. Total Emisi CO₂ Primer dari Penggunaan Bahan Bakar untuk Memasak

No	Kecamatan	Total Emisi CO ₂ (ton/bulan)	Total Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	Bogor Selatan	1.433,1	17.197,8
2	Bogor Timur	903,7	10.844,0
3	Bogor Utara	1.580,3	18.964,0
4	Bogor Tengah	670,4	8.044,7
5	Bogor Barat	1.440,1	17.281,5
6	Tanah Sareal	1.485,5	17.826,2
Total		7.720,8	92.649,7

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan emisi CO₂ di Kota Bogor yang bersumber dari penggunaan bahan bakar untuk memasak. Emisi CO₂ tertinggi dari pemakaian bahan bakar untuk memasak berasal dari Kecamatan Tanah Sareal dengan nilai emisi CO₂ yaitu 21.183 ton/tahun. Hal tersebut karena pemakaian bahan bakar memasak di Kecamatan Tanah Sareal terdiri dari 3 jenis bahan bakar yaitu LPG, gas pipa, dan minyak tanah. Gas pipa merupakan penyumbang emisi terbesar karena masyarakat yang menggunakan gas pipa cenderung lebih besar nilai konsumsinya. Hal tersebut dikarenakan gas pipa lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar lainnya dan juga lebih mudah dan aman untuk digunakan. Selain itu, tingginya emisi CO₂ pada Kecamatan Tanah Sareal juga didukung karena terdapat keluarga yang menggunakan minyak tanah sebagai bahan bakar selingan untuk memasak. Minyak tanah memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan jenis bahan bakar untuk memasak lainnya. Tingginya kandungan karbon pada minyak tanah membuat faktor emisi dari bahan bakar tersebut menjadi lebih tinggi pula dibandingkan dengan bahan bakar lainnya (Gobel dkk., 2019).

c. Emisi CO₂ dari Listrik

Hasil kuesioner pemakaian listrik menunjukkan total pemakaian listrik di Kota Bogor yaitu 59.686.894 KWh/bulan sedangkan rata-rata pemakaian listrik pada tiap KK adalah 225 KWh/KK/bulan. Sementara itu hasil perhitungan emisi CO₂ yang berasal dari penggunaan listrik di Kota Bogor adalah 0,18 ton CO₂/KK/bulan. Nilai rata-rata emisi CO₂ tersebut menghasilkan perhitungan emisi CO₂ pada tiap kecamatan di Kota Bogor yang ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Total Emisi CO₂ Primer dari Penggunaan Listrik

No	Kecamatan	Total Emisi CO ₂ (ton/bulan)	Total Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	Bogor Selatan	8.153,8	97.846,1
2	Bogor Timur	3.114,0	37.368,2
3	Bogor Utara	14.081,1	168.973,6
4	Bogor Tengah	2.962,1	35.545,0
5	Bogor Barat	8.827,9	105.934,9
6	Tanah Sareal	11.584,5	139.014,5
Total		48.723,5	584.682,3

Kecamatan Bogor Utara memiliki nilai emisi CO₂ yang paling besar dibandingkan dengan kecamatan lainnya dengan nilai 168.973 ton CO₂/tahun. Tingkat pemakaian listrik masyarakat di Kecamatan Bogor Utara cenderung lebih besar sehingga mempengaruhi emisi CO₂ yang dihasilkan pula. Kecamatan Bogor Utara menghasilkan emisi CO₂ terbesar dikarenakan rata-rata rumah pada kecamatan tersebut memakai daya listrik dengan tipe 2200 VA yang merupakan tipe daya listrik yang besar. Rumah dengan jenis daya listrik yang lebih besar akan cenderung menghasilkan emisi CO₂ yang lebih tinggi karena semakin besar daya listrik yang digunakan maka semakin besar teknologi dengan watt yang digunakan dan tingkat konsumsi listriknya juga semakin besar (Al Latifa dkk., 2022).

d. Emisi CO₂ Total pada Sektor Energi di Kota Bogor

Hasil perhitungan emisi CO₂ dari ketiga sumber tersebut selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan nilai emisi CO₂ total di Kota Bogor. Hasil Perhitungan emisi CO₂ total ditunjukkan pada Tabel 8. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan yang paling banyak menyumbangkan emisi CO₂ pada sektor energi di Kota Bogor. Total emisi CO₂ yang dihasilkan Kecamatan Bogor Utara adalah sekitar 1 jutaan ton CO₂/tahun.

Tabel 7. Total Emisi CO₂ Pada Sektor Energi

Kecamatan	Emisi CO ₂ dari Kendaraan	Emisi CO ₂ dari Bahan Bakar Memasak	Emisi CO ₂ dari Listrik	Total Emisi CO ₂
				ton/tahun
Bogor Selatan	216.339	17.197,8	97.846,1	331.382,7
Bogor Timur	82.124	10.844,0	37.368,2	130.336,0
Bogor Utara	833.178	18.964,0	168.973,6	1.021.115,2
Bogor Tengah	50.495	8.044,7	35.545,0	94.084,7
Bogor Barat	231.251	17.281,5	105.934,9	354.467,6
Tanah Sareal	154.091	20.317,7	139.014,5	313.423,2
Total	1.567.478	92.649	584.682,3	2.244.809,6

Pemetaan Emisi CO₂

Hasil perhitungan emisi CO₂ primer, sekunder, dan penjumlahan keduanya akan divisualisasikan dengan peta. Pembuatan peta dilakukan agar mempermudah dalam hal kategorisasi atau tingkatan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh masyarakat dalam sektor energi. Untuk mengetahui tingkatan emisi CO₂ tersebut, peta dibuat dalam bentuk blok-blok berwarna pada masing-masing kecamatan di Kota Bogor. Blok-blok berwarna tersebut dapat ditentukan dengan interval atau tingkatan dari hasil perhitungan emisi CO₂. Namun sebelumnya perlu ditentukan terlebih dahulu banyaknya kelas dari jumlah data yang dibutuhkan pada perhitungan emisi CO₂. Jumlah data yang dikumpulkan sebanyak 100 sehingga hasil perhitungan banyaknya kelas adalah sebagai berikut:

$$K = 1 + 3,3 \log N$$

$$K = 1 + 3,3 \log 100$$

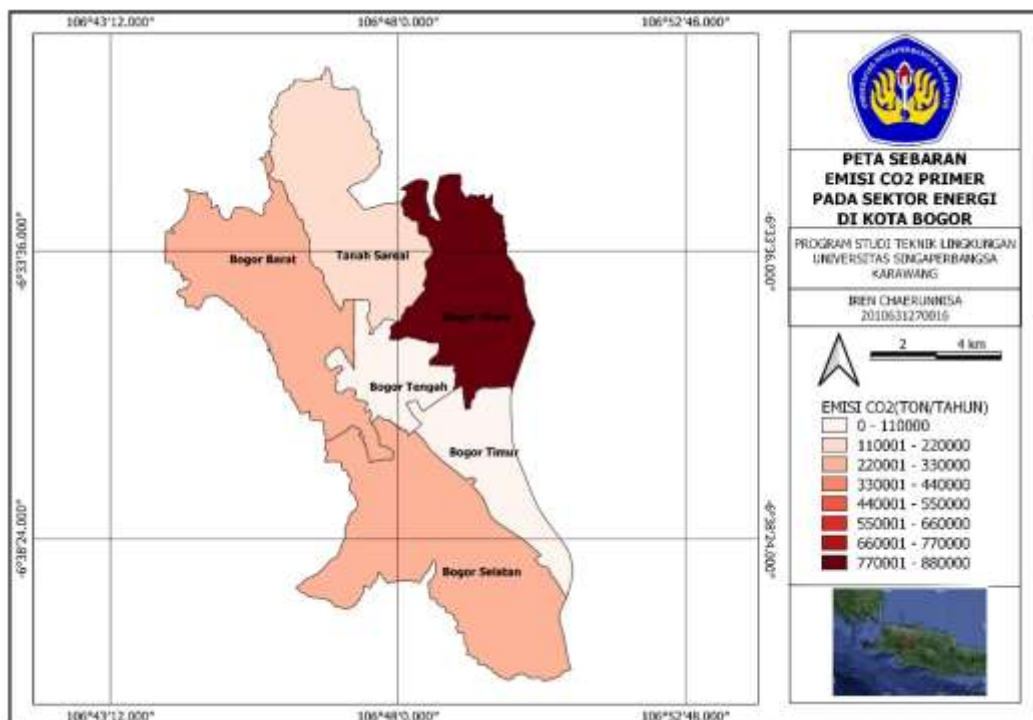
$$K = 1 + 6,6$$

$$K = 7,6 \approx 8$$

Berdasarkan perhitungan tersebut maka banyaknya kelas untuk menentukan interval dari hasil perhitungan emisi CO₂ adalah 8 kelas. Terdapat tiga bagian peta yang akan menjadi *output* pada penelitian ini yaitu peta emisi CO₂ primer, emisi CO₂ sekunder, dan emisi CO₂ total di Kota Bogor.

a. Pemetaan Emisi CO₂ Primer

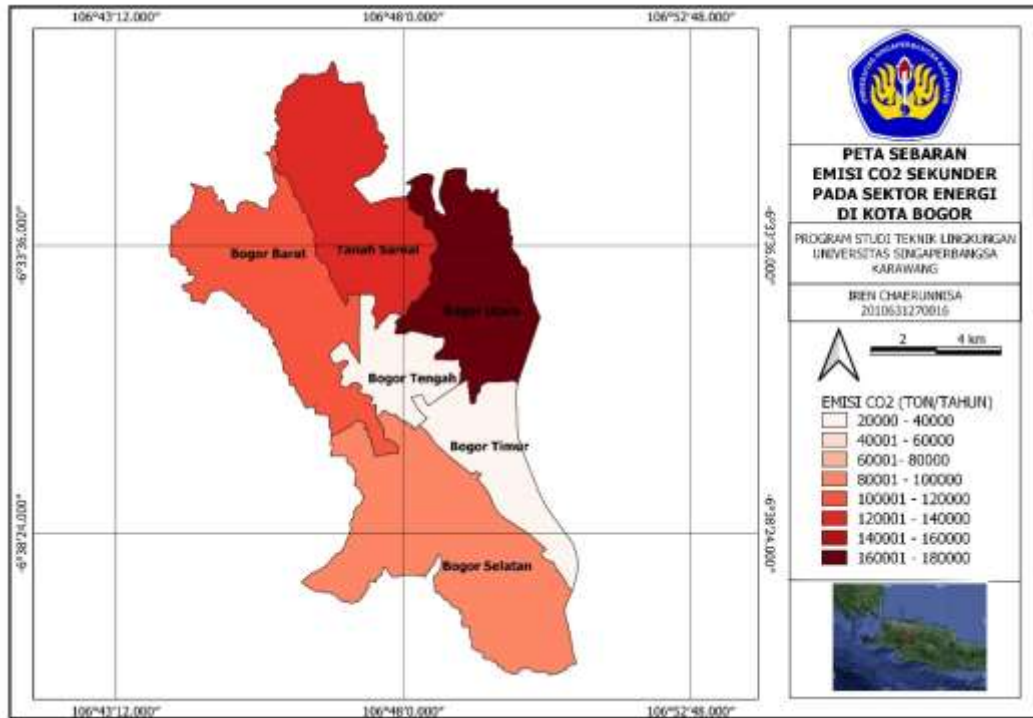
Gambar 2 menunjukkan bahwa setiap kecamatan di Kota Bogor berada pada jangkauan nilai emisi CO₂ primer yang berbeda-beda. Semakin tua warna jangkauan tiap kecamatan maka semakin besar emisi CO₂ primer yang dihasilkan pada kecamatan tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan dan pemetaan yang sudah dilakukan, Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan dengan warna jangkauan yang lebih tua dari kecamatan lain yang berarti Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan yang paling banyak menyumbang emisi CO₂ primer di Kota Bogor.



Gambar 2. Sebaran Emisi CO₂ Primer

b. Pemetaan Emisi CO₂ Sekunder

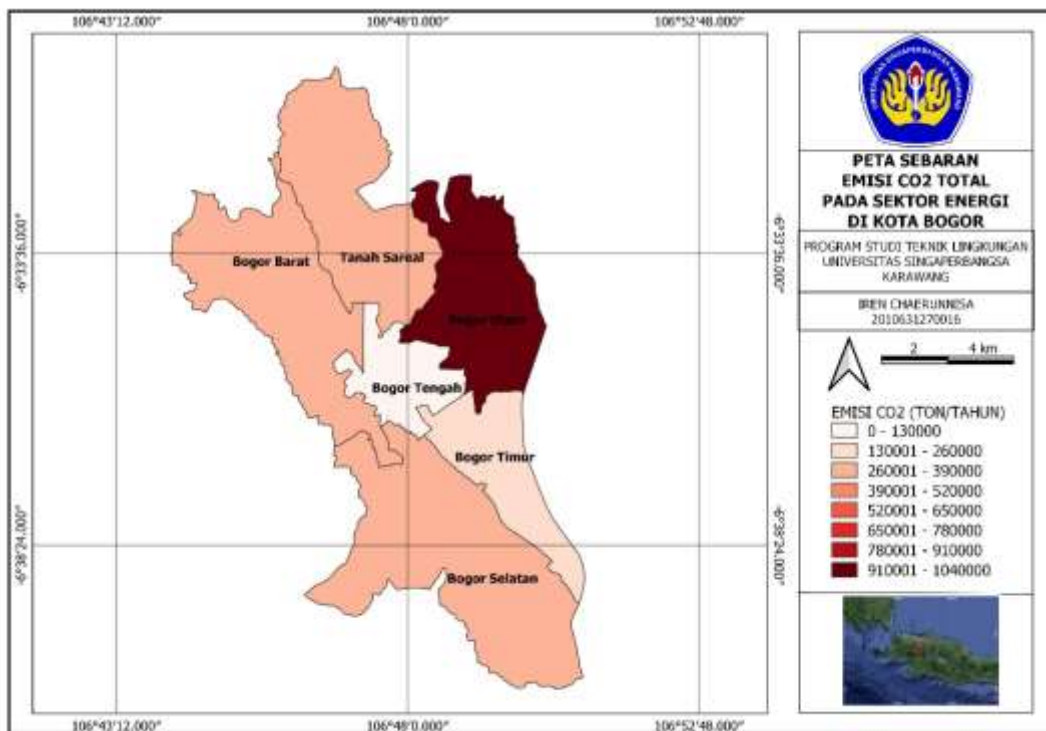
Setiap kecamatan di Kota Bogor berada pada jangkauan nilai emisi CO₂ sekunder yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil perhitungan dan pemetaan yang sudah dilakukan, Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan dengan warna jangkauan yang lebih tua dari kecamatan lain yang berarti Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan yang paling banyak menyumbang emisi CO₂ sekunder di Kota Bogor dengan nilai 168.973 ton/tahun.



Gambar 3. Sebaran Emisi CO₂ Sekunder

c. Pemetaan Emisi CO₂ Total

Emisi CO₂ total merupakan penjumlahan dari emisi CO₂ primer dan sekunder. Bogor Utara menjadi kecamatan yang paling berkontribusi dalam menyumbang emisi CO₂ sektor energi di Kota Bogor. Sementara itu, kecamatan dengan warna yang merah yang lebih muda dimiliki oleh Kecamatan Bogor Tengah. Pemukiman pada kecamatan tersebut tidak begitu luas dibandingkan dengan kecamatan lainnya.



Gambar 4. Sebaran Emisi CO₂ Total

4. Kesimpulan

Emisi CO₂ yang berasal dari kendaraan di Kota Bogor sebesar 1.567.478 ton/tahun. Kecamatan Bogor Utara merupakan kecamatan yang mendominasi nilai emisi atau setara dengan 53,15% dari total emisi CO₂ dari kendaraan. Berbeda halnya emisi CO₂ yang berasal dari kendaraan, emisi CO₂ dari bahan bakar memasak lebih banyak berasal dari Kecamatan Tanah Sereal dengan nilai 17.826,2 ton/tahun dari nilai total emisi CO₂ dari bahan bakar memasak yaitu 92.649,7 ton/tahun. Sementara itu, emisi CO₂ yang berasal dari penggunaan listrik yaitu bernilai 584.682,3 ton/tahun. Jadi nilai emisi CO₂ total pada sektor energi di Kota Bogor berdasarkan penjumlahan emisi CO₂ dari ketiga sumber tersebut adalah 2.244.809,6 ton/tahun.

5. Daftar Pustaka

- [1] Adinatha, I. K., & Arif, C., "Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Penggunaan Lahan di Kota Bogor," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 7(1), pp. 49-64, 2022.
- [2] Al Latifa, Rusyda, Kartika Eka Sari, and Christia Meidiana. "Faktor Rumah Tangga yang Mempengaruhi Emisi CO₂ di Kelurahan Jodipan, Kota Malang." *Planning for Urban Region and Environment Journal (PURE)*, vol. 11.3, pp. 89-100, 2022.
- [3] Badan Pusat Statistik Kota Bogor, "Kota Bogor Dalam Angka," Bogor: *Badan Pusat Statistik Kota Bogor*, 2023.
- [4] Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan," 2019.
- [5] Gobel, Indra Wirana Jaya, Linda Tondobala, and Rieneke LE Sela, "Sebaran Spasial Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) pada Kawasan Permukiman di Kecamatan Singkil Kota Manado." *Spasial*, vol. 6.3, pp. 628-636, 2019.
- [6] IPCC, "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds), Japan: *IGES*, 2006.
- [7] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (Tier 2) dalam Inventarisasi GRK Sektor Energi," Jakarta: *Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral*, 2017.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Rencana Strategis EBTKE 2020-2024," Jakarta: *Ditjen EBTKE*, 2020.
- [9] Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi, "Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak", Nomor 0177.K/10/DJM.T/2018.
- [10] Prasetyo, D. H. T., Muhammad, A., Baihaqi, M. A., Abdillah, H., & Supraptiningsih, L. K., "Pengaruh Nilai RON Pada Bahan Bakar Jenis Bensin Terhadap Emisi Gas Buang," *CERMIN: Jurnal Penelitian*, vol. 6(2), pp. 561-571, 2022.
- [11] Pratama, R., "Efek rumah kaca terhadap bumi," *Buletin Utama Teknik*, vol. 14(2), pp. 120-126, 2019.
- [12] SIMTARU (Sistem Informasi Perencanaan, Pemanfaatan, dan Pengendalian Ruang) Kota Bogor, 2020. <http://simtaru.kotabogor.go.id/>
- [13] Sugiyono, "Metodologi Penelitian Bisnis," *PT. Gramedia*, Jakarta, 2007.
- [14] Wiratama, I. G. N. M., Sudarma, I. M., & Adhika, I. M., "Jejak Karbon Konsumsi Lpg Dan Listrik Pada Aktivitas Rumah Tangga Di Kota Denpasar", Bali. *Ecotrophic*, vol. 10(1), pp. 68-74, 2016.
- [15] Wulandari, M.T., Hermawan, dan Purwanto, "Kajian Emisi CO₂ Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang)," Semarang: *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 2013.