

Identifikasi Dan Proyeksi Emisi CO₂ Sampai Tahun 2030 Pada Penggunaan Lahan Permukiman Di Kecamatan Mlati Kabupaten Sleman

Dian Hudawan Santoso^{1,a)}, Wisnu Aji Dwi Kristanto¹⁾

¹⁾Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

^{a)}Email korespondensi: hudageo@gmail.com

ABSTRAK

Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu gas rumah kaca yang berperan dalam peningkatan suhu udara dan pemanasan global. Kecenderungan terjadinya peningkatan gas rumah kaca dari waktu ke waktu memerlukan upaya estimasi untukantisipasi dan reduksi. Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Yogyakarta yang memiliki tipe daerah pedesaan dan perkotaan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jumlah emisi CO₂ pada bentuk lahan permukiman serta memprediksi emisi CO₂ sampai tahun 2030. Metode yang digunakan adalah *stratified random sampling* secara proporsional. Pengumpulan data menggunakan metode survey, kuesioner serta wawancara. Variabel yang dihitung adalah aktivitas domestik rumah tangga berupa jumlah bahan bakar memasak, transportasi, daya listrik terpakai dan sampah yang dihasilkan. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif, analisis grafis, analisis statistik, dan analisis spasial. Nilai emisi CO₂ pada bentuk lahan permukiman di daerah perkotaan yaitu 183.878.846,2 KgCO₂/Tahun sedangkan nilai emisi CO₂ pada bentuk lahan permukiman di daerah pedesaan yaitu sebesar 90.576.231,93 KgCO₂/Tahun. Secara umum emisi CO₂ di daerah perkotaan lebih besar dari pada di daerah pedesaan. Nilai prediksi perubahan emisi CO₂ di Kecamatan Mlati adalah dari tahun ke tahun selalu mengalami kenaikan seiring dengan tren kenaikan populasi dan penggunaan lahan yang begitu pesat, yaitu estimasi CO₂ prediksi tahun 2020 yaitu 380.966.673,9 KgCO₂/Tahun, prediksi tahun 2025 yaitu 394.723.846,3 KgCO₂/Tahun, dan prediksi tahun 2030 yaitu 408.481.018,7 KgCO₂/Tahun.

Kata Kunci: aktivitas domestik; emisi CO₂; penggunaan lahan permukiman

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) is a greenhouse gas that plays a role in increasing air temperature and global warming. The tendency for an increase in greenhouse gases over time requires estimation efforts to anticipate and reduce. This research was conducted in Mlati Subdistrict, Sleman Regency, Yogyakarta which has a type of rural and urban areas. The purpose of this study was to determine the amount of CO₂ emissions in residential landforms and predict CO₂ emissions until 2030. The method used was proportional stratified random sampling. Data collection using survey methods, questionnaires and interviews. The calculated variable is household domestic activity in the form of cooking fuel, transportation, electricity used and waste generated. Data analysis in this research uses descriptive analysis, graphical analysis, statistical analysis, and spatial analysis. The value of CO emissions in the form of residential land in urban areas is 183,878,846.2 KgCO₂ / Year while the value of CO emisi emissions in settlement landforms in rural areas is 90,576,231.93 KgCO₂ / Year. In general CO₂ emissions in urban areas are greater than in rural areas. The predicted value of CO perubahan emission changes in Mlati Subdistrict always increases from year to year in line with the rapidly increasing population and land use trends, namely the estimated CO₂ prediction in 2020 which is 380,966,673.9 KgCO₂ / Year, the prediction in 2025 is 394,723. 846.3 KgCO₂ / Year, and the prediction for 2030 is 408,481,018.7 KgCO₂ / Year.

Keywords: CO₂ emissions, domestic activities, land use of settlement

I. PENDAHULUAN

Pemanasan global merupakan salah satu kasus spesifik dari perubahan iklim global (Friedlingstein et al. 2014), menyebabkan meningkatnya rata-rata suhu atmosfer dan samudera pada akhir dekade ini dan cenderung akan selalu meningkat (Colpan dkk, 2009). Menurut hasil kajian tahun 2007, 11 tahun terpanas dari 12 tahun terakhir terjadi sejak tahun 1850. Kenaikan temperatur total dari tahun 1850-1899 sampai dengan tahun 2001-2005 adalah 0,76 °C. Muka air laut rata-rata global telah meningkat dengan laju rata-rata 1,8 mm/tahun dalam rentang waktu antara tahun 1961 sampai 2003 (IPCC, 2006).

Penyebab utama pemanasan global adalah perubahan pada konsentrasi gas rumah kaca (GRK) dan aerosol di atmosfer, penutup lahan, dan radiasi matahari (Murti, Hermana, and Boedisantoso 2015). Sebagian besar peningkatan rata-rata temperatur globalsejak pertengahan abad 20 terkait dengan meningkatnya konsentrasi GRK antropogenik (Lukita, Hermana, and Boedisantoso 2015). Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu gas rumah kaca yang berperan dalam peningkatan suhu udara dan pemanasan global. Karbon dioksida memberikan kontribusi yang besar terhadap

pemanasan global (Joos et al. 2013) yaitu sekitar 50% (Tandjung, 2003). Secara global, konsentrasi CO₂ meningkat 31% dari 280 ppmv pada tahun 1850 menjadi 380 ppmv pada tahun 2005, dan ini menunjukkan peningkatan 1,7 ppmv per tahun atau 0,46 % per tahun (IPCC, 2006). Gangguan radiasi matahari yang sampai ke bumi menyebabkan gangguan pada sistem iklim bumi, menyebabkan konsentrasi gas rumah kaca sejak tahun 1850 mengalami peningkatan yang signifikan (Mulatsih, 2010).

Kecamatan Mlati merupakan salah satu daerah yang termasuk daerah pinggiran kota (*urban fringe*) yang terdapat di Propinsi D.I Yogyakarta. Daerah ini merupakan salah satu bagian dari kawasan pengembangan Aglomerasi Perkotaan Yogyakarta bagian utara bersama dengan Kecamatan Gamping, Kecamatan Depok dan Kecamatan Ngaglik. Kondisi fisik serta aktivitas ekonomi di daerah itu telah menunjukkan adanya diferensiasi yang tegas antara perwujudan daerah kota dan perwujudan daerah desa. Semakin meningkatnya kebutuhan lahan untuk perumahan dan permukiman merupakan salah satu konsekuensi meningkatnya populasi penduduk di kota. Hal ini dapat dipahami jika suatu kota sudah tidak mampu menampung beban fisik dan sosial maka daerah pinggiran kota menjadi pilihan yang utama bagi masyarakat untuk beraktivitas dan bertempat tinggal.

Alih guna lahan, kegiatan pemanfaatan sumber energi seperti listrik, kegiatan pertanian, kegiatan industri, kegiatan transportasi, pembakaran sampah merupakan berbagai aktivitas yang berpotensi menghasilkan emisi karbon CO₂ yang cukup besar (Mandau dan Bengkalis 2019). Jika cakupan wilayahnya adalah daerah pinggiran kota maka kegiatan-kegiatan yang mampu menghasilkan emisi karbon CO₂ tersebut sebagian besar terdapat di lahan-lahan permukiman. Oleh sebab itu daerah dengan bentuk penggunaan lahan permukiman di pinggiran kota menjadi bagian yang penting dalam konteksnya dengan kondisi emisi karbon CO₂ yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas di dalamnya baik dalam waktu sekarang maupun yang akan datang.

Secara administratif, Kecamatan Mlati merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Sleman yang secara morfologi fisik sebagian wilayahnya memiliki karakteristik perkotaan terutama di daerah yang dekat dengan Kota Yogyakarta (Marjuki 2018). Jika dilihat dalam konteks penggunaan lahannya, Kecamatan Mlati memiliki beragam penggunaan lahan yaitu berupa permukiman, sawah, ladang, tegalan, dan kebun (Eko and Rahayu 2012). Wilayah terdekat dengan pusat kota cenderung didominasi oleh jenis penggunaan lahan permukiman. Daerah yang letaknya semakin jauh dari pusat kota jenis penggunaan lahan semakin bervariasi, tidak hanya untuk permukiman namun skala yang lebih besar justru terjadi pada penggunaan lahan sawah, kebun atau ladang. Laju pemanfaatan lahan untuk permukiman di Kecamatan Mlati yang cenderung meningkat setiap tahun menyebabkan potensi terjadinya peningkatan emisi karbon CO₂. Oleh karena itu hal ini dapat menjadi perhatian bersama bagi semua pihak untuk mencegah dan menanggulangi potensi meningkatnya GRK di atmosfer akibat emisi karbon CO₂.

Logika sederhana yang dapat dibangun berdasarkan latar belakang di atas adalah semakin tinggi populasi penduduk maka akan semakin banyak kebutuhan lahan permukiman pada suatu daerah dan semakin banyak pula aktivitas antropogenik atau aktivitas domestic (Dewi and Rudiarto 2013). Aktivitas antropogenik yang semakin banyak akan meningkatkan emisi karbon CO₂ sedangkan emisi karbon CO₂ akan berpotensi meningkatkan GRK di atmosfer sehingga logika sederhana ini akan menempatkan posisi bentuk penggunaan lahan permukiman menjadi kata kunci dalam penelitian ini. Oleh karena itu pula prediksi ataupun estimasi kondisi emisi karbon CO₂ pada bentuk lahan permukiman untuk masa depan menjadi penting untuk diketahui.

Nilai emisi karbon CO₂ yang diperhitungkan di dalam penelitian ini merupakan emisi CO₂ antropogenik, yaitu emisi gas rumah kaca yang dikaitkan dengan aktivitas manusia (Höök, Mikael, and Xu Tang. 2013) terutama yang berasal dari aktivitas rumah tangga (domestik). Konsumsi energi dibatasi pada penggunaan bahan bakar dan energi yang digunakan untuk keperluan rumah tangga (misal memasak), konsumsi energi untuk kendaraan pribadi, konsumsi listrik dan sampah yang dihasilkan. Selanjutnya, dari data-data penggunaan energi rumah tangga yang diperoleh, dikonversi menjadi jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari aktivitas penggunaan energi tersebut, baik emisi langsung maupun tidak langsung yang mencakup wilayah penggunaan lahan permukiman di daerah pinggiran kota. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi emisi CO₂ di daerah pinggiran kota (tipe permukiman pedesaan dan tipe permukiman perkotaan) berdasarkan bentuk penggunaan lahan permukiman dan mengetahui nilai prediksi perubahan emisi CO₂ untuk tahun 2020, 2025, dan 2030 di daerah pinggiran kota.

II. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei, untuk memperoleh fakta-fakta dari gejala yang ada dan mencari keterangan secara faktual. Untuk mempertajam dan menambah data tentang proses sosial yang terjadi dilakukan wawancara mendalam (*deep interview*) dan menggunakan kuesioner. Selain itu juga dilakukan analisis data sekunder dan observasi untuk memperoleh data yang lengkap.

Penelitian ini dilakukan di daerah yang termasuk Kawasan Perkotaan Yogyakarta yaitu Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, provinsi D.I. Yogyakarta. Kecamatan Mlati telah memenuhi klasifikasi ini baik secara fisik maupun secara sosial dan administratif. Dengan melihat hal tersebut kemudian daerah sampel dapat dikelompokkan sesuai karakteristik

yang menunjukkan keterwakilan secara spasial dari pusat kota. Pengklasifikasian area sampel dipilih berdasarkan wilayah administratif agar dapat memudahkan dalam pengambilan sampel melalui kuesioner sebab sampel yang diambil diperkirakan dalam jumlah yang proporsional sehingga mampu mewakili keseluruhan populasi di Kecamatan Mlati. Klasifikasi area sampel tersebut adalah daerah permukiman perkotaan yang terdiri atas Desa Sinduadi dan Desa Sendangadi dan daerah permukiman pedesaan yang terdiri atas Desa Tlogoadi, Sumberadi dan Desa Tirtoadi.

Setelah dilakukan pengklasifikasian kemudian dilakukan pengambilan sampel pada tiap-tiap klasifikasi daerah tersebut dengan cara menentukan atau menghitung jumlah populasi rumah tangga pada tiap-tiap desa. Angka total populasi KK dari setiap desa di seluruh Kecamatan Mlati tersebut diasumsikan menunjukkan jumlah bangunan rumah yang berada di Kecamatan Mlati pada bentuk penggunaan lahan permukiman.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah sampel acak atau *stratified random sampling/probability sampling* (Sugiyono, 2013). Hal ini dimaksudkan agar hasil penelitian dapat digunakan untuk proses generalisasi. Dengan teknik *stratified random sampling*, perbedaan karakter yang ada pada setiap unsur atau elemen populasi dapat diatasi terutama perbedaan karakteristik pada setiap daerah yang merupakan permukiman perkotaan ataupun daerah pedesaan. Setiap rumah diasumsikan sebagai sebuah unit keluarga yang memiliki aktivitas-aktivitas domestik yaitu kegiatan memasak, transportasi, konsumsi listrik dan sampah buangan. Jumlah sampel yang diambil dalam penelitian ini sebesar 394 Rumah Tangga. Jumlah total ukuran sampel ditentukan berdasarkan rumus Slovin, 1976 yang dapat dilihat pada **Persamaan 1**.

$$n = N/1 + Nd^2 \quad (1)$$

Keterangan:

- n = Jumlah sampel Rumah Tangga yang bertempat tinggal di Kecamatan Mlati
- N = Jumlah populasi Rumah Tangga yang bertempat tinggal di Kecamatan Mlati
- d = Persen kelonggaran ketidaktelitian karena kesalahan pengambilan sampel yang masih dapat ditolerir atau diinginkan sebanyak 5% (0,05)

Berdasarkan kondisi dan situasi dilapangan dari jumlah sampel yang ditargetkan sebanyak 394 buah, pada kenyataannya berkurang menjadi 364 buah. Hal ini disebabkan karena beberapa sampel yang didapatkan ada yang tidak proporsional sehingga tidak dapat dimasukkan dalam analisa. Data yang berasal dari kuisisioner tersebut merupakan data kualitatif, kemudian data ini dikuantitatifkan sesuai dengan variabel emisi dari kegiatan domestik yang telah ditentukan. Variabel tersebut berasal dari aktivitas-aktivitas domestik seperti memasak (LPG, kayu bakar, dan minyak tanah), transportasi, listrik, dan pengolahan sampah. Untuk mencari nilai FE (Faktor Emisi) pada setiap aktivitas domestik rumah tangga dilakukan dengan formula yang bersumber dari IPCC tahun 2006 yang dapat dilihat pada **Persamaan 2**.

$$E = A \times EF \times (1-ER/100) \quad (2)$$

Keterangan:

- E = emisi
- A = laju aktivitas
- EF = faktor emisi
- ER = efisiensi pengurangan emisi keseluruhan (%)

Pengolahan data dibantu dengan alat komputer, yaitu dengan menggunakan program Excel dan SPSS untuk membantu dan mempermudah dalam olah data penelitian. Setelah ditemukan rata-rata di setiap variabelnya kemudian dilakukan konversi untuk mengetahui besaran karbon yang ada dengan satuan kgCO₂/tahun. Nilai daya listrik dinyatakan dalam satuan Kwh pada setiap desa di pedesaan Kecamatan Mlati. Formula IPCC tahun 2006 digunakan untuk mengetahui nilai emisi CO₂ dari konsumsi bahan bakar memasak (LPG, Minyak Tanah, Kayu Bakar). Formula tersebut menghendaki FE pada tiap-tiap bahan bakar. FE untuk LPG = 3 Kg CO₂/Kg gas (Suhedi F (2005), FE untuk minyak tanah = 2,53 Kg CO₂/L (Suhedi F (2005) dan FE Kayu Bakar = 2,99 Kg CO₂/Kg (IPCC, 2006). Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sehingga mempermudah dalam melakukan analisis secara deskriptif.

Analisis deskriptif dan analisis grafis digunakan untuk menjelaskan bagaimana kondisi emisi karbon CO₂ di daerah pinggiran kota baik yang bersifat perkotaan ataupun yang bersifat pedesaan. Data yang bersifat kuantitatif dianalisis dengan mendeskripsikan hasil interpretasi data. Analisis statistik yang digunakan untuk menghitung rata-rata konsumsi energi rumah tangga adalah dengan analisis deskriptif, yakni dengan mengetahui nilai rata-rata dari data yang didapatkan. Nilai rata-rata dihitung dengan statistika deskriptif guna mengetahui nilai mutlak konsumsi energi rumah tangga secara nyata, sehingga diperoleh nilai yang dapat mewakili sampel rumah tangga. Analisis statistik digunakan untuk mengkaji sejauh mana hubungan dan pengaruh setiap aktivitas domestik terhadap tingkat emisi karbon CO₂ terhadap di daerah pinggiran kota. Selain itu mengkaji pengaruh pendapatan setiap KK terhadap penggunaan berbagai penggunaan energi domestik. Analisis statistik ini menghendaki penggunaan variabel dependen (terpengaruh) dan

independen (bebas) untuk uji regresi. Variabel dependen merupakan variabel terpengaruh di mana dalam penelitian ini yang merupakan variabel tersebut adalah emisi CO₂. Variabel independen adalah variabel bebas yang berupa aktivitas domestik. Analisis ini menghendaki sejauh mana hubungan variabel yang satu terhadap variabel yang lain yaitu dengan mengetahui nilai r (korelasi).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan FE (Faktor Emisi) Pada Setiap Aktivitas Rumah Tangga Keluarga

Perhitungan faktor emisi pada setiap aktivitas rumah tangga keluarga dilakukan pada 2 area yaitu area yang termasuk perdesaan dan area yang termasuk perkotaan di Kecamatan Mlati.

3.1.1. Faktor Emisi di Perdesaan Kecamatan Mlati

Variabel–variabel yang berupa kegiatan domestik penghasil emisi karbon CO₂ pada jenis penggunaan lahan permukiman di daerah pinggiran kota dibatasi menjadi 4 macam aktivitas yaitu konsumsi listrik, konsumsi bahan bakar untuk transportasi, konsumsi bahan bakar untuk memasak dan sampah yang dihasilkan. Kemudian pada tiap-tiap variabel tersebut terlebih dahulu dihitung dengan formula yang telah ditentukan oleh IPCC.

Desa Tlogoadi memiliki rata-rata setiap rumah tangga keluarga mengkonsumsi listrik sebesar 106,93 Kwh. Desa Tirtoadi sebesar 83,64 Kwh dan desa Sumberadi sebesar 98,87 Kwh. Diketahui nilai emisi CO₂ untuk penggunaan listrik pada setiap rumah tangga adalah Desa Tlogoadi (97,10 KgCO₂eq/Bulan), Desa Tirtoadi (74,52 KgCO₂/Bulan) dan Desa Sumberadi (88,09 KgCO₂/Bulan).

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai emisi CO₂ yaitu untuk Desa Tlogoadi kendaraan motor (113,25 Kg CO₂/Bulan) dan mobil (101,84 KgCO₂/bulan); Desa Tirtoadi kendaraan motor (100,74 Kg CO₂/bulan) dan mobil (23,82 Kg CO₂/Bulan); Desa Sumberadi kendaraan motor (267,88 Kg CO₂/bulan) dan mobil 62,94 Kg CO₂/Bulan). Dari pengolahan data tersebut dapat diketahui bahwa Desa Sumberadi sebagai penyumbang emisi CO₂ terbesar dari sektor transportasi jika dibandingkan dengan Desa Tlogoadi dan Desa Tirtoadi.

Hasil perhitungan dan analisis menunjukkan bahwa untuk emisi CO₂ dari bahan bakar LPG yaitu Desa Tlogoadi sebesar 24,41 KgCO₂/bulan, Desa Tirtoadi sebesar 21,94 Kg CO₂/bulan dan Desa Sumberadi 25,62 Kg CO₂/bulan. Untuk bahan bakar kayu bakar emisi CO₂ yang dihasilkan adalah Desa Tlogoadi sebesar 68,58 Kg CO₂/bulan, Desa Tirtoadi 151,37 Kg CO₂/bulan dan Desa Sumberadi sebesar 227,99 Kg CO₂/bulan.

Diketahui nilai produksi sampah di daerah perdesaan adalah sebagai berikut: Desa Tlogoadi (52,84 kg/bulan), Desa Tirtoadi (89,89 kg/bulan) dan Desa Sumberadi (40,10 kg/bulan). Setelah dilakukan konversi didapatkan angka rata-rata setiap rumah tangga keluarga di perdesaan yaitu desa Tlogoadi sebesar 129,45 Kg CO₂/bulan., Desa Tirtoadi sebesar 220,23 Kg CO₂/bulan dan Desa Sumberadi sebesar 98,25 Kg CO₂/bulan.

Berdasarkan hasil analisis diketahui faktor emisi penggunaan lahan permukiman total daerah perdesaan adalah $ECO_2Desa = (EL\ Desa) + (E\ BBDesa) + (E\ Trnspkota\ Desa) + (E\ SmpDesa) = 86,57 + 223,49 + 173,30 + 148,39 = 631,75\ KgCO_2/bulan$. Nilai Emisi CO₂ tiap tahun dapat diperoleh dengan $631,75\ KgCO_2/bulan \times 12 = 7580,99\ KgCO_2/Tahun$.

Tabel 1. Rata-Rata Luas Kepemilikan Lahan di Perdesaan

Penggunaan Lahan	Sumberadi	Tlogoadi	Tirtoadi	Rata ²	Ha
Luas bangunan	167,2	127,65	80,9	125,2315	0,012523
Luas pekarangan	326,1	279,95	359,1	321,6931	0,032169
Tanah	434,1	412,94	182,3	343,1077	0,034311

Sumber: Analisis Peneliti, 2011

Untuk mendapatkan nilai KgCO₂/Hektar/Tahun maka hasil perhitungan sebelumnya dibagi dengan rata-rata angka kepemilikan luas tanah pada setiap rumah tangga di perdesaan. Sebagaimana dalam perhitungan data primer yang ditunjukkan dalam **Tabel 1** diperoleh nilai rata-rata luas kepemilikan tanah di perdesaan per rumah tangga adalah 0,034311 Ha. Jadi nilai yang dapat dihitung adalah 7580,99 KgCO₂/Tahun: $0,034311\ Ha = 220.950,7\ KgCO_2/Ha/Tahun$.

3.1.2. Faktor Emisi di Perkotaan Kecamatan Mlati

Berdasarkan perhitungan diketahui nilai emisi CO₂ untuk penggunaan listrik pada setiap rumah tangga adalah, Desa Sinduadi (126,01 KgCO₂/Bulan), Desa Sendangadi (48,80 KgCO₂/Bulan). Hasil tersebut menunjukkan bahwa Desa Sinduadi memiliki rata-rata emisi CO₂ tertinggi jika dibandingkan dengan Desa Sendangadi.

Nilai Emisi CO₂ pada aktivitas konsumsi bahan bakar transportasi didapatkan nilai emisi CO₂ yaitu untuk Desa Sinduadi kendaraan motor (127,30 Kg CO₂/Bulan) dan mobil (236,82 KgCO₂/bulan); Desa Sumberadi kendaraan motor (113,10 Kg CO₂/bulan) dan mobil 71,47 Kg CO₂/Bulan). Nilai Emisi CO₂ pada aktivitas konsumsi bahan bakar memasak menunjukkan bahwa untuk emisi CO₂ dari bahan bakar LPG yaitu Desa Sinduadi sebesar 38,61 KgCO₂/bulan sedangkan Desa Sendangadi 24,99 KgCO₂/bulan. Untuk bahan bakar Minyak Tanah Desa Sinduadi mengemisikan 37,53 Kg CO₂/bulan/RT sedangkan Desa Sendangadi tidak didapati. Untuk bahan bakar kayu bakar emisi CO₂ yang dihasilkan adalah Desa Sinduadi sebesar 47,73 KgCO₂/bulan dan Desa Sendangadi sebesar 15,49 KgCO₂/bulan.

Diketahui produksi sampah di daerah perkotaan adalah sebagai berikut: Desa Sinduadi (52,2 kg/bulan Desa Sedangadi (43,00 kg/bulan). Setelah dilakukan konversi didapatkan angka rata-rata setiap rumah tangga keluarga di perdesaan yaitu desa Sinduadi sebesar 137,68 KgCO₂/bulan, Desa Sendangadi sebesar 105,35 KgCO₂/bulan. Dari hasil analisis dapat diketahui total faktor emisi total di daerah perkotaan adalah $ECO_2\text{Kota} = (EL\text{ kota}) + (E\text{ BBkota}) + (E\text{ Trnspkota}) + (E\text{ Smpkota}) = 87,40 + 274,3 + 82,2 + 121,5 = 565,4$ KgCO₂/bulan. Nilai Emisi CO₂ tiap tahun dapat diperoleh dengan $565,4 \text{ KgCO}_2/\text{bulan} \times 12 = 6785,3 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Tabel 2. Rata-rata Luas Kepemilikan Lahan di Perkotaan

Penggunaan Lahan	Sinduadi	Sedangadi	Rata-rata	Ha
Bangunan	113,51	112,45	112,98	0,011298
Pekarangan	42,54	39,44	40,99	0,004099
Tanah	195,67	258,55	227,11	0,022711

Untuk mendapatkan nilai KgCO₂/Hektar/Tahun maka hasil perhitungan sebelumnya dibagi dengan rata-rata angka kepemilikan luas tanah pada setiap rumah tangga keluarga di perdesaan sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2**. Hasil perhitungan data primer diperoleh nilai rata-rata luas kepemilikan tanah di perkotaan per rumah tangga adalah 0,034311 Ha. Jadi nilai yang dapat dihitung adalah $6785,3 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} : 0,022711 \text{ Ha} = 298.764,7 \text{ KgCO}_2/\text{Ha}/\text{Tahun}$.

3.2. Perhitungan Total Emisi Karbon CO₂ di Daerah Pinggiran Kota

Perhitungan total faktor emisi karbon pada setiap aktivitas rumah tangga keluarga dilakukan pada area yaitu area yang termasuk perdesaan dan area yang termasuk perkotaan di Kecamatan Mlati.

3.2.1. ECO₂ di Perdesaan

Berdasarkan data primer didapatkan rata-rata daya pemakain listrik setiap KK di perdesaan setiap tahun adalah 1038,25 Kwh. Dari nilai tersebut didapatkan nilai A total adalah $10.088 \times 1038,85 = 10480018,75$ Kwh. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Listrik di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $10480018,75 \times 0,891 = 9337696,709 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata pemakain bahan bakar memasak setiap KK di perdesaan adalah LPG (95,95 Kg/Tahun); Minyak Tanah (0); Kayu Bakar (599,24 Kg/Tahun). Sehingga rumus IPCC didapatkan Emisi CO₂ di daerah perdesaan adalah LPG (287,85 KgCO₂/tahun); Minyak Tanah (0); Kayu Bakar (1791,73 kg CO₂/tahun). Jumlah total emisi LPG + Minyak Tanah + Kayu Bakar = 2079,59 KgCO₂/Tahun. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Listrik di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $10.088 \times 2079,59 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 20962274,36 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Nilai ECO₂ Bahan Bakar Transportasi (bensin) pada Bentuk Lahan Permukiman di Perdesaan. Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata pemakain bahan bakar transportasi setiap KK di perdesaan tiap tahun adalah kendaraan roda 2 atau sepeda motor (809,12 L) dan kendaraan roda 4 atau mobil (275 L). Dari nilai tersebut dapat diketahui emisi CO₂ pada tiap KK di perdesaan dengan mengalikan dengan FE bahan bakar transportasi, yaitu untuk sepeda motor: $809,2 \text{ L} \times 69,25 \text{ kgCO}_2/\text{GJ} \times 0,0344 \text{ GJ/Liter} = 1927,48 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$, untuk mobil: $275 \text{ L} \times 69,25 \text{ kgCO}_2/\text{GJ} \times 0,0344 \text{ GJ/Liter} = 754,38 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Jumlah total emisi sepeda motor + mobil = 2681,37 KgCO₂/Tahun. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Transportasi di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $10.088 \times 2681,37 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 27054717 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Nilai ECO₂ Produksi Sampah pada Bentuk Lahan Permukiman di Perdesaan. Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata produksi sampah setiap KK di perdesaan tiap tahun adalah 731,3 Kg. Dari nilai tersebut dapat diketahui emisi CO₂ pada tiap KK di perdesaan dengan mengalikan dengan FE bahan sampah, yaitu: $731,3 \text{ Kg} \times 2,45 \text{ KgCO}_2/\text{Kg} = 1791,69 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ sampah di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $10.088 \times 1791,69 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 18074631 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Nilai Total Emisi CO₂ pada daerah penggunaan lahan permukiman di daerah pedesaan menggunakan formula IPCC tahun 2006 yaitu $ECO_2\text{Desa} = (EL\text{ Desa}) + (E\text{ BBDesa}) + (E\text{ Trnspkota Desa}) + (E\text{ SmpDesa})$. Hasil yang didapatkan adalah ECO₂ Desa:

$9337696,709 \text{ KgCO}_2/\text{tahun} + 20962274,36 \text{ KgCO}_2/\text{tahun} + 27054717 \text{ KgCO}_2/\text{tahun} + 18074631 \text{ KgCO}_2/\text{tahun} = 75429319,069 \text{ KgCO}_2/\text{tahun}$.

3.2.2 ECO₂ di Perkotaan

Nilai ECO₂ Listrik pada Bentuk Lahan Permukiman di Perkotaan. Diketahui nilai Jumlah Rumah Tangga Keluarga tahun 2009 Desa Sinduadi = 12829 KK; Desa Sendangadi = 4279 KK, sehingga total KK di dua desa tersebut adalah 17.108 KK. Nilai FE untuk emisi listrik di Indonesia adalah 0,891 KgCO₂eq/Kwh. Berdasarkan data primer didapatkan rata-rata daya pemakain listrik setiap KK di perkotaan setiap tahun adalah 1177,14 Kwh. Dari nilai tersebut didapatkan nilai A total adalah $17.108 \times 1177,14 = 20138644 \text{ Kwh}$. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Listrik di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu ECO₂ Listrik = $20138644 \text{ Kwh} \times 0,891 \text{ KgCO}_2/\text{Kwh} = 17943532,54 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$

Nilai ECO₂ Bahan Bakar Memasak pada Bentuk Lahan Permukiman di Perkotaan. Diketahui nilai Jumlah Rumah Tangga Keluarga tahun 2009 Desa Sinduadi = 12829 KK; Desa Sendangadi = 4279 KK, sehingga total KK di dua desa tersebut adalah 17.108 KK. Nilai FE untuk LPG di Indonesia adalah 3 kgCO₂/kg; Minyak Tanah (2,5359 kg CO₂/L) dan Kayu Bakar (2,99 kg CO₂/kg). Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata pemakain bahan bakar memasak setiap KK di perkotaan adalah LPG (127,2 Kg/Tahun); Minyak Tanah (88,8 Liter/Tahun); Kayu Bakar (126,86 Kg/Tahun). Sehingga rumus dengan IPCC didapatkan Emisi CO₂ di daerah perkotaan adalah LPG (381,6 KgCO₂/tahun); Minyak Tanah (225,18); Kayu Bakar (379,311 kg CO₂/tahun). Jumlah total emisi LPG + Minyak Tanah + Kayu Bakar = 986,098 KgCO₂/Tahun. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Listrik di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $17.108 \times 986,098 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 16870167,67 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Nilai ECO₂ Bahan Bakar Transportasi (bensin) pada Bentuk Lahan Permukiman di Perkotaan. Diketahui nilai Jumlah Rumah Tangga Keluarga tahun 2009 Desa Sinduadi = 12829 KK; Desa Sendangadi = 4279 KK, sehingga total KK di dua desa tersebut adalah 17.108 KK. Nilai FE untuk bensin di Indonesia adalah 69,25 kgCO₂/GJ dan nilai HE (Heating Value) = 0.0344 GJ/liter. Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata pemakaian bahan bakar transportasi setiap KK di perdesaan tiap tahun adalah kendaraan roda 2 atau sepeda motor (605,5 L) dan kendaraan roda 4 atau mobil (776,4 L). Dari nilai tersebut dapat diketahui emisi CO₂ pada tiap KK di perdesaan dengan mengalikan FE bahan bakar transportasi, yaitu untuk sepeda motor: $605,5 \text{ L} \times 69,25 \text{ kgCO}_2/\text{GJ} \times 0,0344 \text{ GJ/Liter} = 1442,4 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$, untuk mobil : $776,4 \text{ L} \times 69,25 \text{ kgCO}_2/\text{GJ} \times 0,0344 \text{ GJ/Liter} = 1849,7 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Jumlah total emisi sepeda motor + mobil = 3292,143 KgCO₂/Tahun. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ Transportasi di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $17.108 \times 3292,143 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 56321981,94 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Nilai ECO₂ Produksi Sampah pada Bentuk Lahan Permukiman di Perkotaan. Diketahui nilai Jumlah Rumah Tangga Keluarga tahun 2009 Desa Sinduadi = 12829 KK; Desa Sendangadi = 4279 KK, sehingga total KK di dua desa tersebut adalah 17.108 KK. Nilai FE untuk pembusukan sampah yang dapat menghasilkan emisi CO₂ di Indonesia adalah 2,45 KgCO₂/Kg. Berdasarkan pengolahan data primer didapatkan rata-rata produksi sampah setiap KK di perdesaan tiap tahun adalah 595,17 Kg. Dari nilai tersebut dapat diketahui emisi CO₂ pada tiap KK di perdesaan dengan mengalikan dengan FE bahan sampah, yaitu: $595,17 \text{ Kg} \times 2,45 \text{ KgCO}_2/\text{Kg} = 1458,17 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Dari nilai tersebut dapat diketahui nilai ECO₂ sampah di perdesaan pada bentuk penggunaan lahan permukiman yaitu: $17.108 \times 1458,17 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 24946435,39 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$. Nilai Total Emisi CO₂ pada daerah penggunaan lahan permukiman di daerah perkotaan dengan menggunakan formula IPCC tahun 2006 yaitu ECO₂Kota = (EL kota) + (E BBkota) + (E Trnspkota) + (E Smpkota). Hasil yang didapatkan adalah ECO₂Kota : $17943532 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} + 16870167 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} + 56321981 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} + 24946435,39 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun} = 116082115,5 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

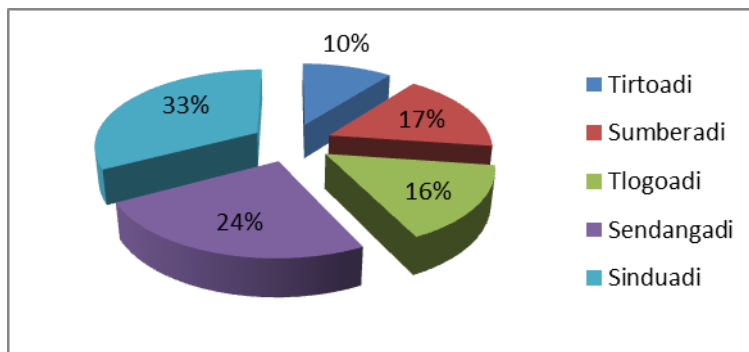
Menentukan Emisi CO₂ Daerah Pinggiran Kota Dengan Menggunakan FE Penggunaan Lahan. Nilai emisi CO₂ untuk daerah perdesaan dapat dihitung menggunakan rumus: ECO₂ Desa = A x FE Perdesaan. Diketahui A (Luas Bentuk Lahan Permukiman) = 429,16 Ha., FE Lahan Permukiman untuk Perdesaan = 220.950,7 KgCO₂/Ha/Tahun. ECO₂: $429,16 \text{ Ha} \times 220.950,7 \text{ KgCO}_2/\text{Ha}/\text{Tahun} = 94823202,41 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

Nilai emisi CO₂ untuk daerah perkotaan dapat dihitung menggunakan rumus ECO₂ Kota = A x FE Perkotaan. Diketahui A (Luas Bentuk Lahan Permukiman) = 450,84 Ha, FE Lahan Permukiman untuk Perkotaan = 298.764,7 KgCO₂/Ha/Tahun. ECO₂: $450,84 \text{ Ha} \times 298.764,7 \text{ KgCO}_2/\text{Ha}/\text{Tahun} = 134695077,3 \text{ KgCO}_2/\text{Tahun}$.

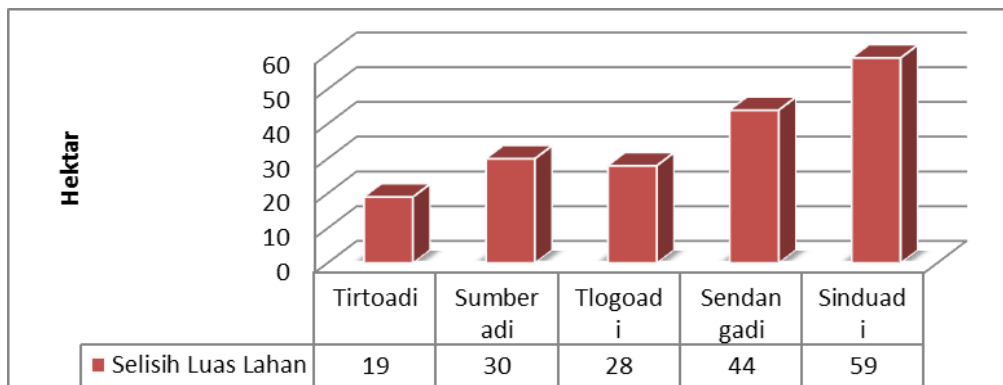
3.3. Perhitungan Estimasi Emisi Karbon CO₂ Daerah Pinggiran Kota

Diketahui luas penggunaan lahan untuk permukiman tahun 1991 pada setiap desa adalah Desa Tirtoadi (191 Ha), Desa Sumberadi (273 Ha), Desa Tlogoadi (189 Ha), Desa Sendangadi (248 Ha) dan Desa Sinduadi (438 Ha). Berdasarkan analisis total luas lahan untuk penggunaan lahan di Kecamatan Mlati pada tahun 2008 adalah 1339 Ha. Berdasarkan analisis perubahan luas penggunaan lahan, dikethui di daerah penelitian terdapat selisih luas lahan selama 17 tahun yaitu sejak tahun 1991 – 2008. Sebagaimana dalam **Gambar 1** dan **Gambar 2** diketahui Desa Tirtoadi memiliki selisih

luas 19 Ha (10%), Desa Sumberadi:30 Ha (17%), Desa Tlogoadi:28Ha (16%), Desa Sendangadi: 44 Ha (24%) dan Desa Sinduadi: 59 Ha (33%). Total selisih luas lahan di seluruh Kecamatan Mlati dari tahun 1991 – 2008 adalah 180 Ha.



Gambar 1. Grafik Presentase Perubahan Luas Lahan Untuk Permukiman di Kecamatan Mlati Tahun 1991-2008
Sumber : Analisis Peneliti, 2011



Gambar 2. Grafik Selisih Luas Lahan Untuk Permukiman di Kecamatan Mlati Tahun 1991 – 2008
Sumber : Analisis peneliti, 2011

Dari gambar grafik didapatkan keterangan yang semakin jelas bahwa antara tahun 1991 hingga tahun 2008 terdapat selisih perubahan penggunaan lahan untuk permukiman. Desa Tirtoadi merupakan desa yang paling sedikit mengalami perubahan penggunaan lahan selama 12 tahun yaitu sebanyak 19 Ha (10%) lahannya berubah menjadi lahan permukiman. Desa Sinduadi merupakan desa yang paling banyak mengalami perubahan penggunaan lahan. Lima puluh sembilan hektar lahannya berubah menjadi lahan permukiman.

Untuk menghitung estimasi atau proyeksi emisi CO₂ diperlukan beberapa nilai yang diantaranya berupa Rerata Δ Luas, Lb (*Luas Penggunaan Lahan Permukiman Tahun Akhir*), La (*Luas Penggunaan Lahan Permukiman Tahun Awal*), Tb (*Waktu Tahun Akhir*), Ta (*Waktu Tahun Awal*), TC (*Rentang Waktu Estimasi*), T Estimasi (*Waktu proyeksi/estimasi*), LC (*Luas Penggunaan Lahan Permukiman Estimasi (ha)*), FE Permukiman (*Faktor Emisi untuk PL Permukiman Desa / Kota*), Estimasi ECO₂ (*Nilai Estimasi Emisi CO₂*).

1. Perhitungan estimasi CO₂ di Kecamatan Mlati proyeksi tahun 2020 Diketahui:

Lb : 1.339 Ha
La : 1.159 Ha
Tb : 2008
Ta : 1991
T Estimasi : 2020

- Rerata Δ Luas = $\frac{Lb - La}{Tb - Ta}$
= (1.339 – 1.159)/(2008-1991)
= 10,58
- TC = T Estimasi – Tb
= 2020 – 2008
= 12 Tahun

- LC = $L_b + (\text{Rerata } \Delta \text{ Luas} \times T_c)$
 = $1.339 - (10,58 \times 12)$
 = 1.466,05
- Estimasi ECO_2 = $LC \times \text{FE Rata-rata Desa \& Kota}$
 = $2.135,05 \times 259.857,70$
 = 380.966.673,9 KgCO_2

2. Perhitungan Estimasi CO_2 di Kecamatan Mlati proyeksi tahun 2025

Diketahui:

Lb	: 1.339 Ha
La	: 1.159 Ha
Tb	: 2008
Ta	: 1991
T Estimasi	: 2025

- Rerata Δ Luas = $\frac{L_b - L_a}{T_b - T_a}$
 = $(1.339 - 1.159)/(2008-1991)$
 = 10,58
- T_c = $T \text{ Estimasi} - T_b$
 = $2025 - 2008$
 = 17
- LC = $L_b + (\text{Rerata } \Delta \text{ Luas} \times T_c)$
 = $1.339 - (10,58 \times 17)$
 = 1.519
- Estimasi ECO_2 = $LC \times \text{FE Rata-rata Desa \& Kota}$
 = $1.519 \times 259.857,70$
 = 394.723.846,3 KgCO_2

3. Perhitungan Estimasi CO_2 di Kecamatan Mlati proyeksi tahun 2030

Diketahui:

Lb	: 1.339 Ha
La	: 1.159 Ha
Tb	: 2008
Ta	: 1991
T Estimasi	: 2030

- Rerata Δ Luas = $\frac{L_b - L_a}{T_b - T_a}$
 = $(1.339 - 1.159)/(2008-1991)$
 = 10,58
- T_c = $T \text{ Estimasi} - T_b$
 = $2030 - 2008$
 = 22
- LC = $L_b + (\text{Rerata } \Delta \text{ Luas} \times T_c)$
 = $1.339 - (10,58 \times 22)$
 = 1.571,94
- Estimasi ECO_2 = $LC \times \text{FE Rata-rata Desa \& Kota}$
 = $1.519 \times 259.857,70$
 = 408.481.018,7 KgCO_2

Berdasarkan perhitungan di atas dihasilkan nilai estimasi karbon CO_2 pada tahun 2020 di Kecamatan Mlati diperkirakan sebesar 380.966.673,9 KgCO_2 . Pada tahun 2025 diperkirakan emisi CO_2 meningkat menjadi 394.723.846,3 KgCO_2 dan pada tahun 2030 emisi karbon CO_2 di Kecamatan Mlati akan semakin meningkat menjadi 408.481.018,7 KgCO_2 .

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kenaikan emisi karbon CO_2 di Kecamatan Mlati dipredikasi dari tahun ke tahun cenderung mengalami kenaikan. Diperkirakan sampai tahun 2030 trend kenaikan emisi karbon naik seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan penggunaan lahan terutama dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun.

3.4. Upaya Mengurangi Emisi CO₂ di Daerah Pinggiran Kota

Ada dua tindakan atau usaha yang dapat dilaksanakan untuk mereduksi emisi CO₂ di daerah pinggiran kota yaitu tindakan yang bersifat teknis dan non teknis. Kedua tindakan ini sejatinya perlu dilakukan secara bersama-sama oleh pemerintah dan masyarakat.

Kegiatan atau tindakan yang bersifat non teknis merupakan suatu usaha untuk mengurangi dan menanggulangi pencemaran lingkungan dengan cara menciptakan peraturan perundangan yang dapat merencanakan, mengatur dan mengawasi segala macam bentuk kegiatan industri dan lainnya sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pencemaran lingkungan, diantaranya adalah:

- a. Penataan ruang yang sesuai dengan peruntukannya, sebagaimana selama ini telah ada dalam undang-undang tata ruang yaitu UU No. 26 Tahun 2007 tentang Tata Ruang. Dengan acuan tersebut dapat dibuatkan perda tentang lingkungan yang berpaduserasi dengan RTRW.
- b. Pengaturan penggunaan moda transportasi untuk masyarakat umum dan instansi tertentu, yaitu pemberian pajak yang tinggi terhadap kepemilikan setiap kendaraan bermotor.
- c. Pemerintah daerah perlu mencanangkan program penanaman di area umum dan rumah-rumah masyarakat.

Kegiatan atau tindakan yang bersifat teknis yaitu suatu usaha untuk mengurangi dan menanggulangi pencemaran lingkungan dengan cara membuat atau menciptakan sesuatu yang mampu secara langsung mengurangi pencemaran atau kerusakan lingkungan tersebut.

- a. Menghemat pemakaian bahan bakar untuk transportasi.
- b. Menghemat pemakaian listrik.
- c. Menghemat pemakaian bahan bakar memasak yang berupa gas LPG, minyak tanah ataupun kayu bakar.
- d. Untuk masalah sampah solusi yang bisa ditawarkan adalah mendirikan bank sampah di daerah pinggiran kota

IV. KESIMPULAN

Nilai emisi CO₂ pada bentuk lahan permukiman di daerah perkotaan yaitu 183.878.846,2 KgCO₂/Tahun sedangkan nilai emisi CO₂ pada bentuk lahan permukiman di daerah perdesaan yaitu sebesar 90.576.231,93 KgCO₂/Tahun. Secara umum emisi CO₂ di daerah perkotaan lebih besar dari pada di daerah perdesaan. Nilai prediksi perubahan emisi CO₂ di Kecamatan Mlati adalah dari tahun ke tahun selalu mengalami kenaikan seiring dengan tren kenaikan populasi dan penggunaan lahan yang begitu pesat, yaitu estimasi CO₂ prediksi tahun 2020 yaitu 380.966.673,9 KgCO₂/Tahun, prediksi tahun 2025 yaitu 394.723.846,3 KgCO₂/Tahun, dan prediksi tahun 2030 yaitu 408.481.018,7KgCO₂/Tahun. Dari hasil analisis diatas dapat diketahui bahwa kenaikan emisi karbon CO₂ di Kecamatan Mlati diprediksi dari tahun ke tahun cenderung mengalami kenaikan. Diperkirakan sampai tahun 2030 trend kenaikan emisi karbon naik seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan penggunaan lahan terutama dari lahan non terbangun menjadi lahan terbangun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pimpinan Fakultas Geografi UGM atas segala bantuan dan partisipasinya sehingga dapat terwujud tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Colpan, O.C., Dincer, I. and Hamdullahpur, F. (2009). The reduction of greenhouse gas emissions using various thermal systems in a landfill site, *Int. J. Global Warming*, 1(1), pp.89–105.
- Dewi, Nurma Kumala, dan Iwan Rudiarto. (2013). Identifikasi Alih Fungsi Lahan Pertanian Dan Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Daerah Pinggiran Di Kecamatan Gunungpati Kota Semarang. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* 1(2): 175.
- Eko, Trigus, dan Sri Rahayu. (2012). Perubahan Penggunaan Lahan Dan Kesesuaiannya Terhadap RDTR Di Wilayah Peri-Urban Studi Kasus: Kecamatan Mlati. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*.
- Friedlingstein, R. M. Andrew, J. Rogelj, G. P. Peters, J. G. Canadell, R. Knutti, G. Luderer, M. R. Raupach, M. Schaeffer, D. P. van Vuuren and C. Le Quéré. (2014). Persistent Growth of CO₂ Emissions and Implications for Reaching Climate Targets. *Nature Geoscience*, 7(10): 709–15. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2248>.
- Höök, Mikael, and Xu Tang. (2013). Depletion of Fossil Fuels and Anthropogenic Climate Change-A Review. *Energy Policy*, 52: 797–809.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan
- F. Joos, R. Roth, J. S. Fuglestedt, G. P. Peters, I. G. Enting, W. von Bloh, V. Brovkin, E. J. Burke, M. Eby, N. R. Edwards, T. Friedrich, T. L. Frölicher, P. R. Halloran, P. B. Holden, C. Jones, T. Kleinen, F. T. Mackenzie, K. Matsumoto, M. Meinshausen, G.-K. Plattner, A. Reisinger, J. Segschneider, G. Shaffer, M. Steinacher, K. Strassmann, K. Tanaka, A. Timmermann, and A. J. Weaver. (2013). Carbon Dioxide and Climate Impulse Response Functions for the Computation of Greenhouse Gas Metrics: A Multi-Model Analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(5): 2793–2825.
- Lukita, Cesaria Wahyu, Joni Hermana, dan Rahmad Boedisantoso. (2015). Inventarisasi Serapan Karbon Oleh Ruang Terbuka Hijau Di Kota Malang , Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII*: 1–7. <http://mmt.its.ac.id/publikasi/?p=4474>.
- Mandau. (2019). Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Publik Untuk Penyerapan Emisi Karbon Dioksida Dari Sektor Transportasi D Kabupaten Bengkalis. *Al-Ard : Jurnal Teknik Lingkungan* 5(1): 26–35.
- Marjuki, Bramantiyo. (2018). Penerapan Teknik Pemetaan Partisipatif Untuk Mendukung Penyusunan Basis Data Spasial Penggunaan Lahan Dan Sumberdaya Desa. *Seminar Nasional Geomatika 2018: Penggunaan dan Pengembangan Produk Informasi Geospasial Mendukung Daya Saing Nasional*: 1–10.
- Mulatsih, S. (2010). Aliran Karbon dalam Tanah di Sepanjang Toposekuen Perbukitan Karst Formasi Wonosari Kabupaten Gunung Kidul, *Thesis*, Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Murti, Izzati Winda, Joni Hermana, dan R Boedisantoso. (2015). Inventarisasi Dan Penentuan Kemampuan Serapan Emisi CO₂ Oleh Ruang Terbuka Hijau Di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII*, Program Studi MMT-ITS: A.50.1-A.50.6.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Suhedi, F. (2005). *Emisi CO₂ dari Konsumsi Energi Domestik*. Pusat Litbang Permukiman Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Tandjung, S.D. (2003). *Pengantar Ilmu Lingkungan*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Yamane, Taro. (1967). *Statistics: An Introductory Analysis, 2nd Edition*. New York: Harper and Row.