

Evaluasi dan Perencanaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Berbasis Serapan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Zona Tenggara Kota Surabaya (Studi Literatur dan Kasus)

Laras Rachmayanti dan Sarwoko Mangkoedihardjo
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: sarwoko@enviro.its.ac.id

Abstrak—Emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu penyebab dari pencemaran udara dan pemanasan global. Kota Surabaya merupakan ibukota Provinsi Jawa Timur, dimana terjadi pertumbuhan pada setiap sektor kegiatan atau aktivitas yang menghasilkan emisi CO₂. Oleh karena itu, diperlukan analisis kemampuan daya serap emisi CO₂ oleh Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Surabaya, khususnya wilayah Zona Tenggara Kota Surabaya. penelitian ini menggunakan metode studi literatur, pengumpulan data sekunder, dan studi kasus berupa perencanaan RTH selama 25 tahun kedepan atau sampai dengan tahun 2045. Perhitungan kemampuan daya serap emisi CO₂ oleh RTH eksisting dilakukan berdasarkan luas area RTH dan daya serap tanaman yang berada pada RTH eksisting tersebut. Luas RTH eksisting di Zona Tenggara Kota Surabaya adalah 357,3 ha, dengan kemampuan daya serap terhadap emisi CO₂ sebesar 372.121,74 ton/tahun. RTH publik eksisting mampu menyerap emisi CO₂ sebesar 27,48% dari keseluruhan emisi CO₂ yang dihasilkan yaitu sebesar 1.354.162,74 ton CO₂/tahun.

Kata Kunci—Daya Serap Tanaman, Emisi CO₂, Pemanasan Global, Ruang Terbuka Hijau, Zona Tenggara Kota Surabaya

I. PENDAHULUAN

PENCEMARAN udara sudah menjadi suatu masalah yang serius, terutama pada kota besar seperti Kota Surabaya. Pencemaran udara akibat aktivitas perkotaan meliputi berbagai macam kegiatan, seperti transportasi, perindustrian, permukiman, dan lain-lain. Kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi mencapai 60%, selebihnya sektor industri 25%, rumah tangga 10%, dan sampah 5% [1]. Karbon dioksida merupakan kontributor paling signifikan terhadap emisi gas rumah kaca karena secara langsung berkaitan dengan kegiatan ekonomi manusia.

Pemanasan global merupakan salah satu dampak yang ditimbulkan dari meningkatnya aktivitas gas-gas rumah kaca. Salah satu sumber sekaligus penyebab terjadinya perubahan iklim global adalah besarnya emisi yang dihasilkan oleh berbagai sumber, seperti kendaraan bermotor dan beberapa industri, sehingga cukup besar emisi gas karbon dioksida yang menjadi gas rumah kaca dan mengakibatkan pemanasan global [2]. Menurut Badan Pengkajian Kebijakan, Iklim dan Mutu Industri, dari keenam gas-gas rumah kaca yang dinyatakan paling berkontribusi terhadap gejala pemanasan global adalah karbon dioksida, yaitu lebih dari 75%, dimana gas tersebut sebagian besar dihasilkan oleh aktivitas manusia berupa penggunaan bahan bakar fosil pada sektor industri maupun transportasi [3]. Salah satu solusi yang kerap kali digunakan oleh pemerintah dalam menjaga kualitas dan

menangani pencemaran udara adalah dengan penyediaan ruang terbuka hijau (RTH).

Ruang terbuka hijau (RTH) merupakan ruang terbuka bervegetasi yang berada di kawasan perkotaan yang mempunyai fungsi antara sebagai area rekreasi, sosial budaya, estetika, fisik kota ekologis dan memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi bagi manusia maupun bagi pengembangan kota [4]. Kota Surabaya memiliki luas kurang lebih sebesar 33.451 ha, dengan persentase proporsi ruang terbuka hijau publik sebesar 21,78% atau dengan luas sekitar 7.286,56 ha. Pada perencanaan ini, zona yang akan dievaluasi adalah zona Tenggara yang dipisahkan oleh Sungai Surabaya dan Kali Wonokromo. Secara administratif, zona Tenggara mencakup wilayah Surabaya bagian Timur dan Selatan. Kondisi geografis Kota Surabaya pada bagian Selatan merupakan dataran yang berbukit-bukit dengan ketinggian 25-50 meter di atas permukaan laut.

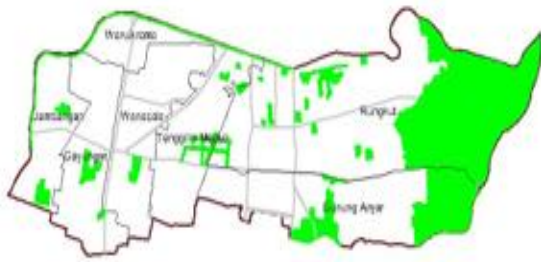
Terdapatnya daerah perindustrian dan padatnya permukiman tentu menyebabkan meningkatnya penggunaan transportasi darat sehingga menghasilkan emisi karbon dioksida yang cukup besar. Dikarenakan semakin banyaknya aktivitas masyarakat yang menghasilkan emisi karbon dioksida, perlu adanya perencanaan dan pemetaan untuk mengetahui kemampuan daya serap RTH eksisting terhadap emisi karbon dioksida. Selain itu, terdapatnya perbedaan kontur tanah pada wilayah ini juga akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas daya serap RTH eksisting.

A. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah; (1) Menentukan jumlah produksi emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, industri, dan permukiman di wilayah Zona Tenggara Kota Surabaya; (2) Menganalisis kemampuan RTH eksisting dalam menyerap emisi CO₂ di wilayah Zona Tenggara Kota Surabaya; (3) Merencanakan RTH dalam jangka panjang berdasarkan evaluasi dan peraturan perundang-undangan yang berlaku, untuk menyerap emisi CO₂ di Zona Tenggara Kota Surabaya.

II. METODE PERENCANAAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur dan studi kasus dalam melakukan perencanaan. Metode pelaksanaan perencanaan ini diawali dengan melakukan kajian studi literatur, kemudian melakukan tahap-tahap analisis sesuai dengan tujuan dari perencanaan. Analisis yang dilakukan pada perencanaan atau kasus yang terjadi saat ini



Gambar 1. Peta RTH Eksisting Zona Tenggara Kota Surabaya.

Tabel 1. Faktor Emisi Berdasarkan Jenis Kendaraan

Tipe Kendaraan/Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (gram/L)
Bensin	
Kendaraan Penumpang	2.597,86
Kendaraan Niaga Besar	2.597,86
Sepeda motor	2.597,86
Diesel	
Kendaraan Penumpang	2.924,9
Kendaraan Niaga Kecil	2.924,9
Kendaraan Niaga Besar	2.924,9
Lokomotif	2.924,9

Tabel 2. Nilai Faktor Emisi dan Net Calorific Volume

Bahan Bakar	NCV	CEF (ton CO ₂ /TJ)
LPG	47,3 x 10 ⁻⁶ TJ/m ³	63,1
Solar	43 TJ/Kton	74,1
Industrial / Residual Fuel Oil	40 x 10 ⁻⁶ TJ/liter	77,4
Batubara	18,9 x 10 ⁻⁶ TJ/ton	96,1

mempertanyakan data sekunder sebagai acuan. Data sekunder terdiri dari data RTH eksisting di zona Tenggara Kota Surabaya yang diperoleh dari DKRTH Kota Surabaya, peta administrasi Kota Surabaya, peta jalan Kota Surabaya yang diperoleh dari DISHUB Kota Surabaya, data *traffic counting* dari DISHUB Kota Surabaya, peta RTRW Kota Surabaya, dan jumlah Kartu Keluarga tiap kecamatan di zona Tenggara Kota Surabaya yang diperoleh dari BPS Kota Surabaya.

Objek evaluasi dan perencanaan Ruang Terbuka Hijau Publik di Kota Surabaya bagian Tenggara meliputi RTH yang terdapat di berbagai kecamatan, yaitu Kecamatan Jambangan, kecamatan Gayungan, Kecamatan Tenggiling Mejoyo, Kecamatan Wonocolo, Kecamatan Rungkut, Kecamatan Gunung Anyar, dan Kecamatan Wonokromo. Luas RTH eksisting di zona Tenggara Kota Surabaya sebesar 357,3 Ha atau sekitar 0,05% dari luas seluruh RTH di Surabaya. Peta RTH eksisting zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 1.

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari berbagai sektor di zona Tenggara Kota Surabaya dilakukan proyeksi untuk memperhitungkan kebutuhan RTH kota selama 25 tahun kedepan. Serapan CO₂ oleh RTH dapat ditentukan berdasarkan pendekatan luas tutupan RTH tersebut, kemudian dapat diperoleh tingkat kemampuan RTH dalam menyerap emisi karbon dioksida. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk pemetaan kemampuan serapan RTH di zona Tenggara Kota Surabaya.

Tabel 3. Jumlah Emisi CO₂ Kegiatan Transportasi di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	164.516,14
Tenggiling Mejoyo	83.336,73
Gunung Anyar	122.872,92
Wonokromo	70.211,71
Wonocolo	171.737,48
Gayungan	35.756,86
Jambangan	71.974,84
Total Emisi	720.406,69

Tabel 4. Jumlah Emisi CO₂ Kegiatan Industri di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	4.118,87
Tenggiling Mejoyo	5.607,38
Gunung Anyar	3.148,73
Wonokromo	21,67
Wonocolo	10,83
Gayungan	803,30
Jambangan	113,21
Total Emisi	13.823,99

Tabel 3. Jumlah Emisi CO₂ Penggunaan LPG di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	14.728,02
Tenggiling Mejoyo	8.814,48
Gunung Anyar	7.555,92
Wonokromo	7.922,08
Wonocolo	9.764,40
Gayungan	5.195,88
Jambangan	5.647,54
Total Emisi	59.628,32

A. Analisis Data dan Pembahasan

1) Perhitungan Emisi CO₂

Emisi CO₂ yang diperhitungkan pada perencanaan ini dihasilkan dari berbagai kegiatan masyarakat di Zona Tenggara Kota Surabaya, diantaranya sebagai berikut:

a. Emisi CO₂ Kegiatan Transportasi

Produksi emisi CO₂ didapatkan dari data *traffic counting* Dinas Perhubungan Kota Surabaya. Perhitungan berdasarkan penggunaan bahan bakar oleh kendaraan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Jumlah Kendaraan} \times \text{FE} \times \text{K} \times \text{L} \quad (1)$$

FE = Faktor emisi (g/L)

K = Konsumsi bahan bakar (L/100km)

L = panjang jalan (km)

Faktor emisi berdasarkan jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 1.

b. Emisi CO₂ Kegiatan Perindustrian

Perhitungan berdasarkan penggunaan bahan bakar fosil oleh kawasan industri SIER. Data penggunaan bahan bakar fosil berasal dari sumber literatur dan jurnal. Nilai faktor emisi dan net calorific volume dapat dilihat pada Tabel 2. Emisi CO₂ dapat dihitung menggunakan persamaan menurut IPCC (1996) [5] sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi Solar} \times \text{FE} \times \text{NCV} \quad (2)$$

FE = Faktor emisi (g CO₂/MJ)

Tabel 4.
Jumlah Emisi CO₂ Respirasi Manusia di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	137.749
Tenggiling Mejoyo	82.441
Gunung Anyar	70.669
Wonokromo	74.094
Wonocolo	91.325
Gayungan	48.596
Jambangan	52.821
Total Emisi	557.696

Tabel 5.
Jumlah Emisi CO₂ Respirasi Hewan di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	992,61
Tenggiling Mejoyo	259,79
Gunung Anyar	457,09
Wonokromo	95,58
Wonocolo	319,23
Gayungan	286,14
Jambangan	197,30
Total Emisi	2.607,74

Tabel 8.
Hasil perhitungan perencanaan daya serap RTH

Kecamatan	Daya Serap (ton CO ₂ /tahun)
Rungkut	2.149,82
Tenggiling Mejoyo	2.522,88
Gunung Anyar	760,48
Wonokromo	709,31
Wonocolo	2.756,27
Gayungan	1.038,75
Jambangan	1.480,20
Total Emisi	11.417,72

NCV = Net Calorific Volume (energy content)

c. Emisi CO₂ Kegiatan Permukiman

Kegiatan permukiman yang menghasilkan emisi CO₂ berasal dari penggunaan LPG, respirasi manusia, dan respirasi hewan ternak terdiri dari: (1) Penggunaan LPG Emisi yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga berasal dari bahan bakar gas atau LPG. Data peakaian LPG didapatkan dari sumber literatur. Perhitungan emisi CO₂ dari penggunaan LPG dapat dihitung menggunakan persamaan seebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi LPG} \times \text{FE} \times \text{NCV} \quad (3)$$

FE = Faktor emisi (g CO₂/MJ)

NCV = Net Calorific Volume (energy content)

2. Respirasi Manusia

Perhitungan emisi CO₂ dari respirasi manusia dapat dihitung menggunakan persamaan menurut Sutanahaji (2015) [6]:

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times \text{FE} \quad (4)$$

n = Jumlah penduduk (jiwa)

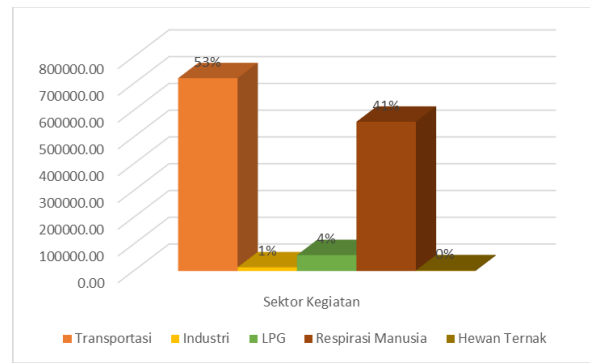
FE = Faktor emisi (3,2 kg CO₂/jiwa.hari)

3. Perhitungan emisi CO₂ dari hewan ternak dapat dihitung menggunakan persamaan menurut Putra (2012) [7], sebagai berikut:

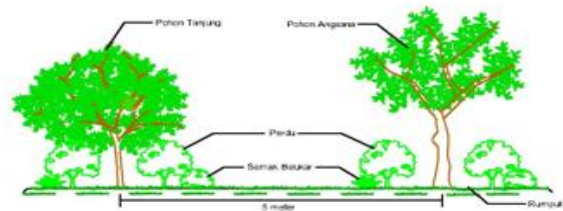
$$\text{Emisi CO}_2 = n \times \text{FE} \quad (5)$$

N = Jumlah hewan ternak (ekor)

FE = Faktor emisi (kg CO₂/ekor.hari)



Gambar 2. Persentase Emisi CO₂ dari Tiap Sektor Kegiatan.



Gambar 3. Perencanaan Penanaman Pohon Pelindung



Gambar 4. Peta Perencanaan RTH Tahun 2045 Zona Tenggara Kota Surabaya.

4. Emisi CO₂ Total Seluruh Kegiatan

Emisi CO₂ total diperoleh dari penjumlahan seluruh emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, permukiman, dan industri.

B. Perhitungan Daya Serap Emisi CO₂ oleh RTH

Dilakukan inventarisasi terhadap vegetasi di RTH eksisting, kemudian dihitung kemampuan daya serapnya. Total daya serap CO₂ oleh pohon dan dihitung menggunakan persamaan menurut Adiastrari (2010) [8]:

$$\text{Daya serap RTH} = \text{Luas RTH} \times S \quad (6)$$

Luas RTH = Luas area RTH (m²)

S = Laju serapan CO₂ (µg/m²/tahun)

= 0,2278e^(0,0048.I)

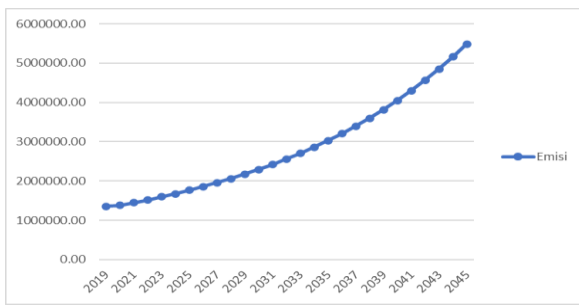
I = Intensitas cahaya (kal/cm²/hari)

C. Analisis Kecukupan RTH Eksisting untuk Menyerap Emisi CO₂

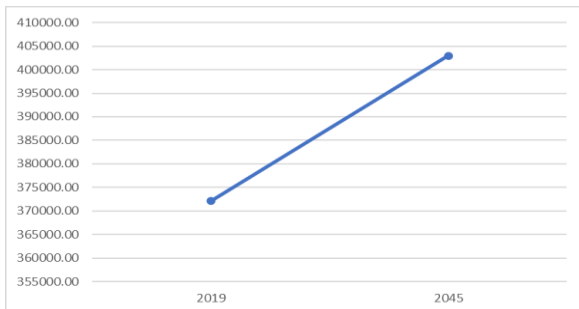
Meninjau kemampuan RTH dalam menyerap CO₂, dengan melakukan perhitungan sisa emisi yang belum mampu direduksi oleh RTH eksisting. Emisi yang tersisa dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Sisa Emisi CO}_2 = \text{Emisi CO}_2 - \text{Daya serap RTH} \quad (7)$$

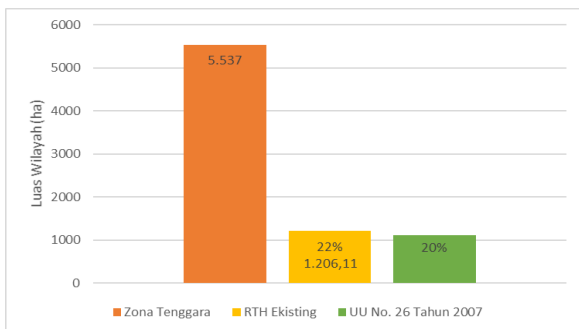
Sehingga dapat diketahui cukup atau tidaknya vegetasi tersebut dalam menyerap CO₂ serta dapat ditentukan skenario perencanaan berupa penambahan luas RTH publik serta



Gambar 5. Kenaikan Emisi CO₂ Tahun 2019-2045.



Gambar 6. Tingkat Penyerapan Emisi CO₂ oleh RTH.



Gambar 7. Perbandingan Luas RTH dengan Luas Wilayah Zona Tenggara.

pengaturan pola penanaman vegetasi. Perhitungan kebutuhan RTH dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Luas RTH} = \frac{\text{sisa emisi CO}_2}{\text{daya serap pohon}} \quad (8)$$

D. Perhitungan Proyeksi Jumlah Emisi CO₂

Menghitung proyeksi jumlah emisi CO₂ diperlukan untuk mengetahui beban emisi CO₂ di masa yang akan datang, sehingga dapat diprakirakan kebutuhan RTH untuk menyerap emisi CO₂ dan diketahui apakah RTH eksisting masih mampu menyerap emisi CO₂ yang ada. Jumlah emisi CO₂ dihitung berdasarkan data jumlah sumber emisi CO₂ periode sebelumnya. Metode proyeksi yang digunakan adalah sebagai berikut: (1)Metode artimatik; (2)Metode geometri; (3)Metode *least-square*.

E. Penambahan Kebutuhan Luas RTH

Perhitungan penambahan kebutuhan luas berdasarkan sisa emisi CO₂ dan daya serap RTH di Zona Tenggara Kota Surabaya.

F. Penyusunan SOP Pemeliharaan RTH

Standard Operational Procedure (SOP) pemeliharaan RTH berdasarkan peraturan perundang-undangan meliputi penyiraman, penanaman, pemupukan, dan pemangkasan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Emisi CO₂

1) Emisi CO₂ dari Kegiatan Transportasi

Perhitungan emisi CO₂ menggunakan data *traffic counting* yang didapatkan dari DISHUB Kota Surabaya, data jumlah transportasi yang dipakai adalah data pada jam tersibuk, yaitu pagi hari dari pukul 06.00 hingga 08.00 WIB dan sore hari pada pukul 16.00 hingga 18.00 WIB. Perhitungan menggunakan data pada jam tersibuk agar didapatkan hasil yang maksimal, data tersebut harus diolah menjadi data *traffic counting* rata-rata. Kemudian melakukan perhitungan emisi CO₂ pada masing-masing jalan di Zona Tenggara Kota Surabaya yang didapatkan dari DISHUB Kota Surabaya. Jumlah emisi CO₂ Kegiatan Transportasi di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari hasil perhitungan jumlah emisi CO₂ dari kegiatan transportasi, diperoleh Kecamatan yang menghasilkan emisi CO₂ terbesar yaitu Kecamatan Wonocolo dengan jumlah emisi CO₂ sebesar 19.877 kg CO₂/jam. Berdasarkan data dari DISHUB Kota Surabaya, Kecamatan Wonocolo memiliki Arteri Primer yang merupakan jalan raya utama yang menghubungkan Kota Sidoarjo dengan Kota Surabaya. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan, jalan arteri primer merupakan jalan yang menghubungkan secara berdaya guna antarpusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah.

Total emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi di Zona Tenggara Kota Surabaya pada tahun 2019 adalah sebesar 720.406,69 ton CO₂/tahun.

2) Emisi CO₂ dari Kegiatan Industri

Untuk menghitung emisi CO₂ dari kegiatan industri memerlukan data mengenai konsumsi bahan bakar fosil atau solar (kg), NCV (*Net Calorific Volume*) dari bahan bakar solar (TJ/Kton) dan faktor emisi (FE) dari bahan bakar solar (ton CO₂/TJ). Data konsumsi bahan bakar fosil didapatkan dari jumlah industri besar dan industri sedang pada kawasan SIER yang menggunakan solar sebagai bahan bakar.

Perhitungan dilakukan pada masing-masing kecamatan di Zona Tenggara Kota Surabaya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kecamatan Tenggiling Mejoyo menghasilkan emisi CO₂ industri paling besar dibandingkan dengan kecamatan lainnya. Karena Kecamatan Tenggiling Mejoyo memiliki jumlah industri besar dan industri sedang paling banyak dibandingkan dengan kecamatan yang lain. Jumlah Emisi CO₂ Kegiatan Industri di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4. Total emisi CO₂ dari kegiatan industri di Zona Tenggara Kota Surabaya adalah sebesar 13.823,99 ton CO₂/tahun.

3) Emisi CO₂ dari Kegiatan Permukiman

a. Penggunaan LPG

Data konsumsi LPG didapatkan dari Badan Lingkungan Hidup Pemerintahan Kota Surabaya. Pada tiap rumah tangga diasumsikan menggunakan LPG sebagai bahan bakar, dengan rata-rata anggota rumah tangga berjumlah 4 orang. Data yang diperlukan pada perhitungan ini adalah data jumlah penduduk tahun 2019, data konsumsi LPG tiap keluarga, Faktor Emisi LPG (g CO₂/MJ) dan NCV LPG (MJ/kg) yang mengacu pada IPCC (2006). Pada masing-masing kecamatan dilakukan perhitungan

emisi CO₂ yang dihasilkan oleh penggunaan LPG di Zona Tenggara Kota Surabaya. Jumlah emisi CO₂ Penggunaan LPG di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 5. Total emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan LPG di Zona Tenggara Kota Surabaya pada tahun 2019 adalah sebesar 59.628,32 ton CO₂/tahun.

b. Respirasi Manusia

Respirasi manusia mampu menghasilkan CO₂ sebesar 3,2 kg CO₂/hari.jiwa atau setara dengan 0,13 kg CO₂/jam.jiwa [9]. Diperlukan data jumlah penduduk tiap kecamatan di Zona Tenggara Kota Surabaya yang telah diperoleh dari BPS Kota Surabaya Tahun 2019. Diasumsikan setiap orang menghasilkan jumlah CO₂ yang sama setiap harinya, sehingga dapat dilakukan perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan pada masing-masing kecamatan. Jumlah Emisi CO₂ Respirasi Manusia di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kecamatan Rungkut menghasilkan emisi CO₂ terbesar dikarenakan memiliki jumlah penduduk paling banyak. Total emisi CO₂ yang dihasilkan dari respirasi manusia di Zona Tenggara Kota Surabaya adalah sebesar 557.696 ton CO₂/tahun.

c. Respirasi Hewan Ternak

Hewan ternak juga melakukan aktivitas respirasi yang mampu menghasilkan emisi CO₂. Data jumlah hewan ternak pada tiap kecamatan di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat dari BPS Kota Surabaya Tahun 2019. Diasumsikan kebutuhan oksigen yang diserap oleh hewan ternak sama dengan CO₂ yang dikeluarkan. Pada perhitungan ini, diasumsikan setiap hewan ternak menghasilkan jumlah CO₂ yang sama setiap harinya, yaitu sebesar 1,702 kg CO₂/hari.ekor [8]. Jumlah Emisi CO₂ Respirasi Hewan di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 7. Perhitungan emisi CO₂ yang dilakukan pada masing-masing kecamatan menunjukkan bahwa Kecamatan Rungkut menghasilkan emisi CO₂ dari respirasi hewan ternak paling besar. Total emisi CO₂ dari respirasi hewan ternak di Zona Tenggara Kota Surabaya Tahun 2019 adalah sebesar 2.607,74 ton CO₂/tahun.

B. Emisi CO₂ Total

Emisi CO₂ total diperoleh dari penjumlahan seluruh emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, permukiman, dan industri di wilayah zona Tenggara Kota Surabaya. Penjumlahan juga dihitung berdasarkan masing-masing kecamatan. Sehingga dapat ditentukan jumlah dari emisi CO₂ di Zona Tenggara Kota Surabaya pada Tahun 2019, yaitu sebanyak 1.354.162,49 ton CO₂/tahun. Sektor kegiatan penyumbang emisi CO₂ terbesar adalah dari kegiatan transportasi. Dari perhitungan emisi CO₂ total yang telah dilakukan, kemudian menganalisis data menggunakan grafik agar mempermudah proses perencanaan. Berikut grafik persentase emisi CO₂ yang dihasilkan dari tiap sektor kegiatan di Zona Tenggara Kota Surabaya pada Tahun 2019. Persentase Emisi CO₂ dari Tiap Sektor Kegiatan dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan grafik tersebut, emisi CO₂ di Zona Tenggara Kota Surabaya paling besar dihasilkan dari kegiatan transportasi dan respirasi manusia dengan persentase masing-masing sebesar 53% dan 41%. Berdasarkan perhitungan emisi CO₂ yang telah dilakukan, dapat ditentukan emisi CO₂

per kapita di Zona Tenggara Kota Surabaya. nilai emisi per kapita dihitung berdasarkan jumlah penduduk di tiap kecamatan. Perhitungan emisi per kapita di tiap kecamatan diperlukan untuk mengetahui jumlah emisi yang dihasilkan oleh tiap manusia di wilayah tersebut, karena setiap sektor kegiatan terjadi berdasarkan aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Emisi per kapita rata-rata Zona Tenggara Kota Surabaya adalah sebesar 7,38 kg CO₂/hari.

C. Perhitungan Daya Serap Emisi CO₂ oleh RTH

Menurut DKRTH Kota Surabaya Tahun 2019, luas RTH eksisting di Zona Tenggara Kota Surabaya sebesar 357,3 Ha atau sekitar 0,05% dari luas seluruh RTH di Surabaya. RTH eksisting pada perencanaan ini meliputi taman kota (taman aktif dan taman pasif), sempadan sungai, dan hutan mangrove. Perhitungan daya serap CO₂ dilakukan untuk mendapatkan jumlah emisi CO₂ yang mampu diserap oleh taman atau jalur hijau di Zona Tenggara Kota Surabaya. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan luas keliling taman atau jalur hijau dan daya serap tumbuhan.

Daya serap tumbuhan didapatkan dari perhitungan nilai laju serapan. Nilai laju serapan dapat dihitung menggunakan data intensitas cahaya dengan formulasi matematika pada Persamaan. Berdasarkan perhitungan laju serapan selama setahun yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, dilakukan penjumlahan untuk menentukan nilai laju serapan CO₂ Kota Surabaya dalam setahun, yaitu sebesar 1,038 x 10¹¹ (µg/m²/tahun). Sehingga perhitungan daya serap RTH eksisting dapat dilakukan, dengan cara mengkalikan laju serapan CO₂ dengan luas taman atau jalur hijau yang didapatkan dari data sekunder, yaitu DKRTH Kota Surabaya. Berikut adalah hasil perhitungan daya serap RTH eksisting di Zona Tenggara Kota Surabaya. Daya serap RTH eksisting di Zona Tenggara Kota Surabaya adalah sebesar 372.121,74 ton/tahun.

D. Analisis Penyerapan Emisi CO₂ oleh RTH Eksisting

Zona Tenggara Kota Surabaya menghasilkan emisi sebesar 1.354.162,49 ton CO₂/tahun, sedangkan daya serap RTH eksisting sebesar 372.121,74 ton/tahun. Data tersebut menunjukkan bahwa Zona Tenggara Kota Surabaya masih menghasilkan emisi CO₂ yang cukup besar dibandingkan dengan kemampuan daya serap RTH eksisting yang memiliki nilai lebih kecil. RTH eksisting hanya mampu menyerap emisi CO₂ sekitar 27,48% dengan jumlah emisi CO₂ yang belum terserap sebesar 982.040,75 ton CO₂/tahun. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan mengenai penambahan luas RTH agar dapat menyerap emisi CO₂ yang tersisa.

Penambahan luas RTH dapat dilakukan dengan menghitung luas lahan menggunakan nilai serapan per pohon terhadap emisi CO₂ yang belum terserap. Pohon mempunyai daya serap emisi CO₂ sebesar 569,07 ton CO₂/ha/tahun [10]. Sehingga dapat ditentukan kebutuhan luas RTH tambahan.

$$\begin{aligned} \text{Luas RTH} &= \frac{\text{emisi CO}_2 \text{ yang tidak terserap}}{\text{daya serap pohon}} & (8) \\ &= \frac{982.040,75 \text{ ton/tahun}}{569,07 \text{ ton/tahun}} \end{aligned}$$

$$\text{Luas RTH} = 1.725,69 \text{ ha}$$

Kebutuhan luas RTH tambahan di Zona Tenggara Kota Surabaya adalah sebesar 1.725,69 ha. Kemampuan

penyerapan emisi CO₂ oleh RTH bukan hanya ditentukan oleh seberapa luas RTH tersebut, melainkan dari jenis dan tipe vegetasi yang juga mampu mempengaruhi kualitas penyerapan CO₂. Menurut Read (2001), penghijauan dunia dan tanah telah mampu menyerap sekitar 40% dari total CO₂ dari aktivitas manusia [11]. Terdapat proses penggunaan gas CO₂ oleh tanah, mikroba atau reaksi kimia yang dapat mengurangi gas CO₂. Proses tersebut merupakan proses penangkapan gas CO₂ dari atmosfer dan kemudian menyimpannya dalam waktu yang lama di dalam bumi supaya konsentrasi gas CO₂ di atmosfer tidak cepat meningkat, proses tersebut dapat juga disebut dengan karbon *sequestration* [12]. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai penyerapan gas CO₂ oleh badan perairan dan tanah.

Badan perairan dan tanah dapat mengurangi kebutuhan RTH yang dibutuhkan oleh Kota Surabaya, khususnya di Zona Tenggara Kota Surabaya, sehingga penambahan lahan RTH yang dibutuhkan tidak harus sebesar 1.725,69 ha. Pada perencanaan RTH selama 25 tahun ke depan, meliputi penambahan jenis, jumlah, dan tipe vegetasi, menambahkan tutupan vegetasi lainnya pada RTH eksisting.

E. Proyeksi Jumlah Emisi CO₂

Proyeksi emisi CO₂ dilakukan selama 25 tahun ke depan, dari tahun 2020 hingga tahun 2045. Proyeksi selama 25 tahun dilakukan agar pemerintah atau instansi yang bersangkutan dapat menyiapkan berbagai macam kebutuhan dan pembangunan dengan bertambahnya jumlah penduduk dalam kurun waktu kurang lebih 20 tahun mendatang. Proyeksi ini diperlukan untuk menyesuaikan luas RTH atau jumlah dan jenis vegetasi yang akan direncanakan. Proyeksi emisi CO₂ menggunakan metode aritmatik, geometri, dan *least-square*. Berdasarkan ketiga metode tersebut, ditentukan nilai koefisien korelasi yang paling mendekati 1 atau grafik paling linier untuk dipilih sebagai metode yang digunakan. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari setiap sektor kegiatan dilakukan proyeksi selama 25 tahun ke depan.

Setelah dilakukan proyeksi pada emisi CO₂ yang dihasilkan, emisi CO₂ pada tahun 2045 mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan dibandingkan dengan emisi CO₂ pada tahun 2019. Emisi CO₂ di Zona Tenggara Kota Surabaya pada tahun 2045 adalah sebesar 5.489.924,28 ton CO₂/tahun. Data ini menunjukkan bahwa terdapat kenaikan emisi CO₂ sebanyak 4 kali lipat dari jumlah emisi CO₂ pada tahun 2019.

F. Penambahan RTH di Zona Tenggara Kota Surabaya

Kebutuhan RTH pada suatu kota akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk [13]. Salah satu bentuk optimalisasi RTH eksisting adalah dengan melakukan penambahan RTH publik baik dalam bentuk jumlah maupun kualitas, sehingga dapat meningkatkan kemampuan serap RTH terhadap emisi CO₂.

Menurut Rijal (2008), usaha pengembangan RTH dapat dilaksanakan dengan cara intensifikasi dan cara ekstensifikasi [14]. Intensifikasi RTH merupakan upaya pengembangan, pemanfaatan, dan perbaikan dengan mengoptimalkan RTH eksisting tanpa adanya penambahan RTH baru, seperti penggantian vegetasi, penanaman tanaman menggunakan pot sebagai tempat penanamannya, dan mempergunakan sistem *roof garden* untuk daerah-daerah permukiman padat. Sedangkan ekstensifikasi RTH adalah upaya untuk

melakukan pengembangan RTH dengan menambah luasan daerah tata hijau pada wilayah perkotaan yang masih memungkinkan. Upaya ini dapat dilakukan dengan cara menambah luasan RTH, membangun RTH baru, penanaman RTH vertikal untuk meningkatkan kemampuan serapan emisi CO₂.

Berikut adalah alternatif penambahan RTH pada perencanaan ini:

1) Penggantian Vegetasi pada Jalur Hijau

Pada perencanaan ini, penggantian vegetasi dikhususkan pada jalur hijau agar lebih efektif dalam menyerap emisi CO₂, terutama pada sektor transportasi yang menghasilkan emisi CO₂ paling besar dibandingkan dengan sektor permukiman dan perindustrian. Berdasarkan pernyataan Mansur (2014), pohon angkana (*Pterocarpus indicus*), kenari (*Canarium indicum*), tanjung (*Mimosops elengi*), dan mahoni (*Swietenia macrophylla*) merupakan jenis pohon pelindung jalan yang umum ditanam di beberapa kota di Indonesia [15].

Berdasarkan dari keempat pohon tersebut, terdapat dua jenis pohon yang memiliki daya serap emisi CO₂ lebih tinggi dibandingkan jenis yang lainnya. Kedua pohon tersebut adalah pohon tanjung dan pohon angkana. Menurut Gratimah (2009), pohon tanjung atau dengan nama latin *Mimosops elengi* dapat ditanam dengan jarak per pohonnya ±12 m [16]. Jenis pohon ini mampu mereduksi emisi CO₂ sebesar 5,04 ton/pohon/tahun atau ketiga terbesar jika dibandingkan dengan jenis pohon lain yang mampu mereduksi CO₂. Sedangkan pohon angkana dapat menyerap CO₂ sebesar 0,74 ton/tahun/pohon dengan memiliki potensi daya serap CO₂ lebih besar 17,68% dibandingkan dengan pohon mahoni. Penggantian vegetasi tidak hanya dilakukan pada jalur hijau yang berada di jalan raya, namun juga dilakukan pada sempadan rel kereta api yang melalui Zona Tenggara Kota Surabaya.

Pada perencanaan ini direncanakan 40% lahan untuk penanaman semak belukar dan 60% untuk penanaman padang rumput. Padang rumput memiliki persentase penanaman lebih besar dibandingkan semak belukar, agar tidak mengganggu pengguna jalan. Direncanakan juga penanaman pohon pelindung dan semak belukar atau perdu. Pohon pelindung yang direncanakan adalah pohon tanjung dan pohon angkana. Jarak antar pohon direncanakan sebesar 5 meter dengan diameter rencana sebesar 0,5 meter. Pada jarak antar pohon sebesar 5 meter dapat direncanakan penanaman semak belukar dan padang rumput. Hasil perhitungan perencanaan daya serap RTH dapat dilihat pada Tabel 8.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, daya serap yang direncanakan adalah sebesar 11.417,72 ton CO₂/tahun. Jika dibandingkan dengan emisi CO₂ yang telah diproyeksikan pada tahun 2045, daya serap tersebut mampu menyerap emisi CO₂ sebesar 6,99% dari total emisi CO₂ pada tahun 2045. Nilai persentase daya serap tersebut meningkat sebesar 0,21% dibandingkan dengan nilai persentase sebelum dilakukan pengoptimalan RTH pada tahun 2045. Perencanaan dan pemetaan RTH dapat dilihat pada gambar-gambar 3 dan 4

2) Penambahan Luas RTH

Berdasarkan RTRW Kota Surabaya Tahun 2014-2034, tidak terdapat penambahan luas pada lahan untuk pembangunan RTH. Alternatif yang dapat dilakukan adalah

dengan melakukan *vertical planting* dan mempergunakan sistem *roof garden*. Menurut Pratiwi (2017), taman vertikal merupakan kebun yang didesain membentuk arah vertikal atau bertingkat sehingga dapat mengoptimalkan lahan yang ada [17]. Fungsi penggunaan *vertical planting* pada bangunan antara lain adalah memelihara kualitas udara di sekitar bangunan, menyerap CO, CO₂, dan gas polutan lain, serta melepas O₂.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Eumorfopoulou (2009), daya serap tanaman *Hedera helix* adalah sebesar 23,51 ton/ha/tahun [18]. Apabila ditanami pada luas lahan sebesar 828,55 ha di Zona Tenggara Kota Surabaya, tanaman *Hedera helix* hanya mampu menyerap emisi sebesar 19.432,19 ton CO₂/tahun atau sekitar 2,02% dari total emisi CO₂ yang dihasilkan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa *vertical planting* belum efektif dan kurang efisien dalam menyerap CO₂ dibandingkan dengan RTH publik pada umumnya. Namun, dalam perencanaan ini perlu dilakukan penanaman secara vertikal dikarenakan terbatasnya lahan yang tersedia. Pengaplikasian *vertical planting* dapat dilakukan pada fasilitas umum seperti taman kota, jembatan layang, jembatan penyebrangan, gedung parkir, dan lain-lain.

Vertical planting memberikan manfaat dalam hal mengontrol temperatur udara. Pada iklim kering dengan kelembaban rendah, tumbuhan pada *vertical planting* menggunakan air yang dikandungnya untuk menguap dan mendinginkan udara di sekitarnya. Proses isolasi panas yang dilakukan serta naungan atau media tumbuh dari tanaman tersebut dapat menurunkan suhu eksternal dari bangunan. Efek pendinginan dari faktor-faktor ini tidak bergantung dari ketebalan vegetasi, tetapi pada total area tempat terjadinya penguapan dan transpirasi dari tanaman.

Selain menggunakan alternatif *vertical planting*, dapat juga menggunakan sistem *roof garden*. Emisi CO₂ yang dihasilkan di wilayah perkotaan akan berkumpul di atmosfer sehingga dapat menimbulkan efek rumah kaca. Menurut Yang (2018), *roof garden* dapat mengurangi CO₂ yang berada pada atmosfer, polusi udara perkotaan, konsumsi energi pada bangunan, dan dapat mengurangi pemanasan global serta efek pulau panas perkotaan [19].

Menurut Sutanto (2009), kondisi vegetasi yang menjadi penyusun utama *roof garden* juga penting untuk diperhatikan. Contoh jenis vegetasi yang ditanam pada *roof garden* adalah tanaman peneduh (bunga kupu-kupu dan dadap merah) dan tanaman merambat (*Alamanda cathartica*) untuk menambah kesejukan udara di sekitarnya [20]. *Roof garden* dapat diterapkan pada bangunan-bangunan tinggi, seperti gedung-gedung milik pemerintah. Pada gedung-gedung tinggi lain seperti apartemen, hotel, mall, rumah sakit, dan gedung perkantoran juga dapat dipergunakan sistem *roof garden* untuk membantu menambah kemampuan penyerapan karbon dioksida oleh RTH. Namun, pada perencanaan ini tidak dapat dilakukan perhitungan *roof garden* pada gedung-gedung tinggi tersebut, karena RTH yang terdapat pada gedung-gedung tersebut termasuk dalam RTH privat.

Setelah dilakukan pengoptimalan RTH dengan dua metode yaitu intensifikasi dan ekstensifikasi, persentase penyerapan emisi CO₂ oleh RTH pada tahun 2045 adalah sebesar 9% dari total emisi CO₂ pada tahun 2045. Nilai persentase penyerapan emisi CO₂ selama 25 tahun ini berbanding terbalik dengan

emisi CO₂ yang dihasilkan. Dalam 25 tahun emisi CO₂ yang dihasilkan mengalami kenaikan sebesar 4 kali lipat dari tahun awal dapat dilihat pada Gambar 5,

Pada Gambar 6 tingkat penyerapan oleh RTH dalam menyerap emisi CO₂ pada tahun 2019 sampai dengan tahun 2045. Grafik mengalami peningkatan karena telah dilakukan pengoptimalan RTH selama 25 tahun perencanaan.

Zona Tenggara Kota Surabaya memiliki luas RTH eksisting sebesar 357,3 ha, setelah dilakukan pengoptimalan RTH hingga tahun 2045, terjadi peningkatan luas RTH menjadi 1.206,11 ha. Luas ini sudah memenuhi aturan yang berlaku yaitu Undang-undang No. 26 Tahun 2007 yaitu proporsi luas RTH publik yang ditetapkan pada suatu wilayah adalah sebesar 20% [21]. Perbandingan luas RTH di Zona Tenggara Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 7

G. Penyusunan SOP Pemeliharaan RTH

1) Pemupukan

Prinsip dasar pemupukan adalah mensuplai hara tambahan yang dibutuhkan sehingga tanaman tidak kekurangan makanan. Pupuk yang diberikan pada tanaman dapat berupa pupuk organik maupun pupuk anorganik (misalnya NPK atau urea). Pupuk yang digunakan untuk pohon-pohon taman biasanya pupuk majemuk NPK.

2) Penyiraman

Tujuan penyiraman tanaman, selain untuk menyeimbangkan laju evapotranspirasi, juga berfungsi melarutkan garam-garam mineral dan juga sebagai unsur utama pada proses fotosintesis. Waktu penyiraman pada dasarnya dapat dilakukan kapan saja saat dibutuhkan. Waktu penyiraman terbaik adalah pada pagi atau sore hari. Penyiraman siang hari hendaknya dilakukan langsung pada permukaan tanah, tidak pada permukaan daun tanaman.

3) Pemangkasan

Tujuan pemangkasan tanaman adalah untuk mengontrol pertumbuhan tanaman sesuai yang diinginkan serta menjaga keamanan dan kesehatan tanaman. Waktu pemangkasan yang tepat adalah setelah masa pertumbuhan generatif tanaman (setelah selesai masa pembungaan) dan sebelum pemberian pupuk dapat dilihat pada Gambar 8.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, industri, dan permukiman di Zona Tenggara Kota Surabaya pada tahun 2019 adalah sebesar 1.354.162,49 ton CO₂/tahun; (2) Kemampuan RTH publik eksisting di Zona Tenggara Kota Surabaya dalam menyerap emisi CO₂ adalah sebesar 372.121,74 ton CO₂/tahun dengan persentase penyerapan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh RTH eksisting sebesar 27,48%; (3) Perencanaan RTH dilakukan selama 25 tahun kedepan atau sampai dengan tahun 2045. Penambahan luas RTH dilakukan dengan mengganti vegetasi pada jalur hijau, melakukan *vertical planting*, dan menggunakan sistem *roof garden*. Setelah dilakukan penambahan RTH sesuai dengan RTRW Kota Surabaya 2014-2034, perencanaan RTH di Zona Tenggara Kota Surabaya mampu menyerap emisi CO₂ sebesar 9% dari total emisi CO₂ pada tahun 2045. Luas RTH setelah dilakukan perencanaan pada tahun 2045 adalah sebesar 1.206,11 ha atau sekitar 22% dari luas keseluruhan Zona Tenggara Kota Surabaya. Luas ini sudah memenuhi

Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kusumawardani and A. M. Navastara, "Analisis besaran emisi gas co2 kendaraan bermotor pada kawasan industri sier surabaya," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24392.
- [2] R. S. saputra pane1, Defri Yoza, "Potensi serapan karbondioksida pada pohon peneduh di jalan soekarno hatta kota pekanbaru," *Jom Faperta UR*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [3] D. I. Kawasan, P. Boroko, and F. C. Rawung, "Efektivitas ruang terbuka hijau (rth) dalam mereduksi emisi gas rumah kaca (grk) di kawasan perkotaan boroko," *Media Matrasain*, vol. 12, no. 2, pp. 17–32, 2015.
- [4] R. Setyati and W. Utomo, "Implementasi kebijakan penataan ruang terbuka hijau kawasan perumahan kota banjarbaru," *JKAP (Jurnal Kebijak. dan Adm. Publik)*, vol. 19, no. 1, p. 59, 2015, doi: 10.22146/jkap.7534.
- [5] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), "Revision of the "revised 1996 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories," *intergovernmentall panel clim. chang. natl. greenh. gas Invent. Program.*, no. September, 2003, [Online]. Available: https://www.ipccnggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/2006GLs_scoping_meeting_report_final.pdf (Accessed 23/10/2019).
- [6] A. T. Sutanhaji *et al.*, "Pemetaan distribusi emisi gas karbon dioksida (co2) dengan sistem informasi geografis (sig) pada kota blitar mapping of the distribution carbon dioxide (co 2) emissions with geographic information system (gis) in blitar city," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, pp. 34–42, 2015.
- [7] E. H. Putra, "Analisis kebutuhan ruang terbuka hijau berdasarkan pendekatan kebutuhan oksigen menggunakan citra satelit eo-1 ali (earth observer-1 advanced land imager)," *Info BPK Manad.*, vol. 2, no. 1, pp. 41–54, 2012.
- [8] R. Adiantari and R. Boedisantoso, "Kajian mengenai kemampuan ruang terbuka hijau (rth) dalam menyerap emisi karbon di kota surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2010.
- [9] G. Samudro and S. Mangkoedihardjo, "Water equivalent method for city phytosturcture of indonesia," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 261–267, 2006, doi: 10.1007/BF03325933.
- [10] H. Karyadi, "Pengukuran daya serap karbondioksida pada tanaman hutan kota," Institut Pertanian Bogor, 2005.
- [11] D. Read *et al.*, "The role of land carbon sinks in mitigating global climate change," *R. Soc.*, 2001, [Online]. Available: <http://www.royalsociety.org/document.asp?tip=1&id=1421>.
- [12] R. Sarwono, "Biochar sebagai penyimpan karbon , perbaikan sifat tanah , dan mencegah pemanasan global : tinjauan biochar as carbon sequestration and soil amendment , to avoid global warming : a review pusat penelitian kimia - lembaga ilmu pengetahuan indonesia namun w," *J.Kim. Ter. Indones*, vol. 18, no. June, pp. 79–90, 2016.
- [13] L. Mawardah *et al.*, "Penataan ruang terbuka hijau sebagai cara optimalisasi pembentukan karakter kota studi kasus ruang terbuka hijau di pusat kota pacitan," *J. Eco-Teknologi UWIKA*, vol. 1, no. 2, pp. 19–27, 2013.
- [14] D. I. Kota and M. Tahun, "Kebutuhan ruang terbuka hijau di kota makassar tahun 2017," Universitas Hasanuddin, 2017.
- [15] M. Mansur and B. A. Pratama, "Potensi serapan gas karbon dioksida (co2) pada jenis-jenis pohon pelindung jalan," *J. Biol. Indones.*, vol. 10, no. 2, pp. 149–158, 2014.
- [16] G. Gratimah, "Analisis kebutuhan hutan kota sebagai penyerap gas co2 antropogenik di pusat kota medan," Universitas Sumatera Utara, 2009.
- [17] N. E. Pratiwi, B. H. Simanjuntak, and D. Banjarnahor, "Pengaruh campuran media tanam terhadap pertumbuhan tanaman stroberi (*fragaria vesca l.*) sebagai tanaman hias taman vertikal," *Agric*, vol. 29, no. 1, p. 11, 2017, doi: 10.24246/agric.2017.v29.i1.p11-20.
- [18] E. A. Eumorfopoulou and K. J. Kontoleon, "Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes," *Build. Environ.*, vol. 44, no. 5, pp. 1024–1038, 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.07.004.
- [19] J. Yang, H. Liu, and J. Sun, "Evaluation and application of an online coupled modeling system to assess the interaction between urban vegetation and air quality," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 18, no. 3, pp. 693–710, 2018, doi: 10.4209/aaqr.2017.06.0199.
- [20] W. Sutanto, "Studi keberadaan roof garden terhadap kondisi iklim mikro di sekitar bangunan kasus di kondominium taman anggrek, grand tropic suite's hotel, dan gedung fakultas kedokteran universitas trisakti.," IPB (Bogor Agricultural University), 2009.
- [21] Departemen Pekerjaan Umum, *Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang*. Jakarta, Indonesia, 2007.