

Evaluasi dan Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Berbasis Serapan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Zona Barat Kota Surabaya

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

Abstrak—Kegiatan pembangunan yang diiringi dengan perkembangan teknologi pada sektor transportasi, permukiman, dan industri menyumbangkan emisi akibat penggunaan bahan bakar fosil berupa gas Karbon Dioksida (CO₂) yang menyebabkan dampak menurunnya kualitas udara dan lingkungan. Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai resor karbon (*carbon sink*) perlu dievaluasi mengenai ketercukupannya dalam penyerapan CO₂ serta perlu dilakukan perencanaan RTH untuk waktu yang akan datang agar dapat terwujudnya lingkungan yang *sustainable*. Analisis dilakukan berdasarkan hasil perhitungan mengenai jumlah emisi primer CO₂ dan kecukupan RTH dalam menyerap emisi CO₂ berdasarkan luasan RTH Publik di wilayah Zona Barat Kota Surabaya, kemudian dilakukan perencanaan mengenai evaluasi RTH untuk mencukupi kebutuhan daya serap emisi tersebut. Dari hasil penelitian, emisi CO₂ di Zona Barat Kota Surabaya dari sektor transportasi, permukiman, dan industri sebesar 3.864.836 ton CO₂ / tahun dan kemampuan daya serap RTH Publik pada daerah tersebut sebesar 69.004,54 ton CO₂ / tahun. Setelah dilakukan evaluasi dan upaya peningkatan daya serap CO₂ dengan penggantian dan penambahan vegetasi pohon pelindung serta penambahan luas RTH, didapatkan kenaikan daya serap RTH sebesar 415.014 ton CO₂ / tahun.

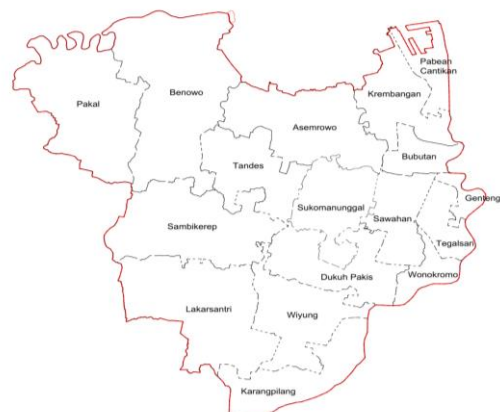
Kata Kunci—Emisi CO₂, Ruang Terbuka Hijau, Serapan Karbon, Surabaya, Vegetasi

I. PENDAHULUAN

PERGERAKAN pada bidang pembangunan di Kota Surabaya sangat masif. Hal tersebut mempengaruhi kepadatan penduduk dan laju urbanisasi, sehingga kegiatan pembangunan yang diiringi dengan perkembangan teknologi pada sektor transportasi, permukiman, dan industri di Kota Surabaya turut menyumbangkan emisi akibat penggunaan bahan bakar fosil berupa gas Karbon Dioksida (CO₂). Menurut DKRTH Kota Surabaya, RTH Publik Kota Surabaya sebesar 21,79% dari luas total Kota Surabaya, dimana angka tersebut sudah memenuhi standar minimal luas penyediaan RTH publik perkotaan sebesar 20% dari total wilayah kota tersebut, berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum no. 5 tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan. Namun, luasan RTH di perkotaan akan terus berkurang karena berubahnya lahan tersebut menjadi area terbangun. Dalam konsep pembangunan berkelanjutan, seharusnya dilaksanakan dengan pendekatan ekologi dan berwawasan lingkungan. Pembangunan seharusnya diserasikan dengan pengelolaan sumber daya alam serta pengembangan lingkungan hidup juga agar lingkungan hidup sekitar layak dihidupi (*liveable environment*) dan kesejahteraan masyarakat terjamin dan terpelihara

Tabel 1.
Luas Daerah Zona Barat Kota Surabaya

No.	Kecamatan	Luas (km ²)
1	Asemrowo	15,44
2	Benowo	23,73
3	Bubutan	3,86
4	Dukuh Pakis	9,94
5	Genteng	2,40
6	Karangpilang	9,23
7	Krebangan	8,34
8	Lakarsantri	18,99
9	Pabeancantikan	5,73
10	Pakal	22,07
11	Sambikerep	23,68
12	Sawahan	6,93
13	Sukomanunggal	9,23
14	Tandes	11,07
15	Tegalsari	4,29
16	Wiyung	12,46
17	Wonokromo	3,28
Luas total		190,67



Gambar 1. Zona Barat Kota Surabaya.

kesinambungannya bagi generasi mendatang [1]. Salah satu upaya untuk menjaga dan mengendalikan konsentrasi gas CO₂ adalah dengan menambah luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH). RTH merupakan salah satu syarat terbentuknya kota yang sehat yang bersifat esensial, karena RTH berperan sebagai paru-paru kota yang menghasilkan oksigen [2]. Kemampuan RTH perlu dievaluasi mengenai ketercukupannya dalam penyerapan CO₂ serta perlu dilakukan perencanaan RTH untuk waktu yang akan datang agar dapat berfungsi secara maksimal sehingga kualitas udara di perkotaan tersebut meningkat dan selalu terjaga dengan baik.

Kota Surabaya merupakan ibukota Provinsi Jawa Timur yang memiliki luas 326,81 km². Luas daerah zona barat Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 1. dan Gambar 1. Batas wilayah studi dalam perencanaan ini adalah zona Kota

Surabaya bagian Barat. Zona Barat Kota Surabaya yang dimaksudkan disini dilihat berdasarkan pembagian wilayah kota yang terbelah oleh tiga aliran sungai utama di Kota Surabaya, yakni Kali Surabaya, Kali Mas, serta Kali Wonokromo, yang membagi daerah Kota Surabaya menjadi tiga bagian: Bagian Barat, Timur Laut, serta Tenggara, untuk memudahkan pembagian analisis, dimana pengelolaan RTH Kota Surabaya yang berada di bawah naungan Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau (DKRTH) Kota Surabaya mencakup seluruh kota.

II. METODE ANALISIS

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan variabel yang diperlukan sebagai dasar pada tahap analisis dan pembahasan. Dalam penulisan tugas akhir ini, data yang dikumpulkan dan digunakan adalah data sekunder, yang meliputi:

1. Data RTH eksisting, didapatkan dari DKRTH Kota Surabaya dan DLH Kota Surabaya.
2. Peta Administratif Kota Surabaya, didapatkan dari BAPPEKO Kota Surabaya.
3. Peta RTRW Kota Surabaya yang digunakan untuk mengetahui letak rencana pembangunan RTH di Zona Barat Kota Surabaya, didapatkan dari BAPPEKO Kota Surabaya.
4. Jumlah Penduduk dan Kepala Keluarga (KK) di tiap kecamatan di wilayah Zona Barat Kota Surabaya dari Badan Pusat Statistik Kota Surabaya.
5. Data hasil survei *traffic counting* dari DISHUB Kota Surabaya.
6. Data konsumsi bahan bakar di kawasan perindustrian Karangpilang dan Margomulyo, berasal dari penelitian terdahulu.
7. Data konsumsi bahan bakar gas (LPG) di Kota Surabaya, didapatkan dari data sekunder oleh DLH Kota Surabaya.

B. Metode Analisis

Metode analisis ini mencakup dari ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, hasil dan pembahasan dan akan menghasilkan kesimpulan dan saran. Pada tahap hasil dan pembahasan terdapat beberapa hal yang dilakukan, sebagai berikut:

- 1) *Perhitungan Beban Emisi CO₂*
 - a. Emisi CO₂ Kegiatan Transportasi
 - b. Emisi CO₂ Kegiatan Permukiman
 - c. Emisi CO₂ Kegiatan Industri
- 2) *Perhitungan Proyeksi Jumlah Emisi CO₂*
 Untuk mengetahui beban emisi CO₂ di masa yang akan datang dan kebutuhan RTH untuk menyerap emisi CO₂ dapat diprakirakan, jumlah emisi CO₂ diproyeksikan hingga 25 tahun kedepan (tahun 2045). Jumlah emisi CO₂ dihitung berdasarkan data jumlah sumber emisi CO₂ periode sebelumnya dan menggunakan metode aritmatik, geometrik, dan *least square* untuk menentukan metode terpilih.
- 3) *Inventarisasi RTH Publik Eksisting*

Dilakukan penginventarisasian RTH Publik eksisting yang berada di Zona Barat Kota Surabaya, meliputi RTH Publik Taman dan Jalur Hijau, RTH Lapangan dan Stadion, RTH.Fasilitas Umum, RTH Hutan Kota, RTH

Tabel 2.
Faktor Konversi Jenis Kendaraan ke smp

No	Jenis Kendaraan	smp
1.	Kendaraan Ringan	1,00
2.	Kendaraan Berat	1,20
3.	Sepeda Motor	0,25

Tabel 3.
Nilai FE dan K Emisi CO₂ Transportasi

No.	Jenis Kendaraan	FE CO ₂ (g/L)	K (L/100km)
1	Sepeda Motor	2.597	2,66
2	Kendaraan Penumpang Bensin	2.597	11,79
3	Kendaraan Bahan Bakar Solar	2.924	11,36
4	Bus Besar	2.924	23,15
5	Truk Besar	2.924	15,82

Tabel 4.
Emisi CO₂ Sektor Transportasi di Zona Barat Kota Surabaya

Kecamatan	Emisi CO ₂ total (kg/jam)	Emisi CO ₂ total (ton/bulan)
Kecamatan Tegalsari	21.596,94	15.549,80
Kecamatan Genteng	5.353,64	1.918,74
Kecamatan Bubutan	26.085,45	18.781,53
Kecamatan Wonokromo	3.102,11	888,66
Kecamatan Wiyung	9.069,35	6.529,93
Kecamatan Sawahan	26.867,68	19.344,73
Kecamatan Karangpilang	15.434,68	11.112,97
Kecamatan Krembangan	21.083,18	15.179,89
Kecamatan Pabean Cantikan	9.729,19	3.043,06
Kecamatan Asemrowo	5.314,33	3.826,32
Kecamatan Pakal	3.698,65	2.663,03
Kecamatan Tandes	18.422,41	13.264,14
Kecamatan Sukomanunggal	22.099,73	15.911,80
Kecamatan Sambikerep	17.067,51	12.288,61
Kecamatan Lakarsantri	10.708,93	7.710,43
Kecamatan Dukuh Pakis	18.050,67	12.996,48
Kecamatan Benowo	7.077,43	5.095,75
Total	240.761,88	166.105,88
Total keseluruhan CO ₂ per tahun		1.993.270,41

Waduk/Boezem, RTH Pemakaman, serta RTH Kawasan Lindung.

- a. Perhitungan, Analisis, dan Pemetaan Daya Serap Emisi CO₂ oleh RTH Publik Eksisting.
- b. Evaluasi dan Perencanaan RTH di Zona Barat Kota Surabaya.

Evaluasi dilakukan dengan cara menentukan luas RTH publik yang harus ditambahkan untuk menyerap sisa emisi CO₂. Penghitungan kebutuhan luas RTH dilakukan mengacu pada hasil proyeksi emisi CO₂ pada 25 tahun mendatang (2045) dan dihitung berdasarkan sisa emisi CO₂ dan daya serap RTH terhadap emisi penambahan luas RTH di Kota Surabaya dan luas RTH yang harus ditambah oleh pemerintah untuk meningkatkan daya serap RTH yang direncanakan. Kemudian dilakukan perencanaan terkait evaluasi tersebut berdasarkan RTRW Kota Surabaya tahun 2018-2038 dan peraturan yang berlaku.

- c. Penyusunan SOP Pemeliharaan RTH
Standard Operational Procedure (SOP) pemeliharaan meliputi metode penanaman, penyiraman, pemupukan, dan pemangkasan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Beban Emisi CO₂

1) *Emisi CO₂ Kegiatan Transportasi*

Dalam menentukan nilai emisi CO₂ kegiatan transportasi, diperlukan perhitungan jumlah kendaraan rata-rata pada tiap jenis jalan yang berada di Zona Barat Kota Surabaya, contohnya jalan arteri primer, jalan arteri sekunder, jalan kolektor primer, jalan kolektor sekunder, dan jalan lokal.

Tabel 5.
Faktor Emisi Manusia dan Hewan Ternak

Penghasil Emisi Hasil Respirasi	Faktor Emisi
Manusia	3,20 kg CO ₂ /jiwa.hari
Sapi dan Kerbau	1,70 kg CO ₂ /ekor.hari
Kambing dan Domba	0,31 kg CO ₂ /ekor.hari
Unggas	0,16 kg CO ₂ /ekor.hari

Tabel 6.
Nilai NCV dan FE untuk kegiatan permukiman

Bahan Bakar	NCV (MJ/kg)	Faktor Emisi (g CO ₂ /MJ)
LPG	47,30	63,10

Tabel 7.
Perhitungan emisi CO₂ pada sektor kegiatan permukiman

Kecamatan	Respirasi Manusia	Hewan Ternak	LPG
Tegalsari	124.562,53	26,90	12.807,28
Genteng	42.867,50	15,05	4.407,55
Bubutan	124.274,03	24,21	12.777,62
Pabean Cantikan	47.835,60	35,93	4.918,37
Kremlangan	145.321,39	52,30	14.941,67
Sawahan	249.671,68	43,46	25.670,76
Wonokromo	132.525,33	20,57	13.626,00
Karangpilang	88.368,54	57,88	9.085,88
Dukuh Pakis	73.023,36	62,33	7.508,12
Wiyung	84.936,96	78,14	8.733,06
Tandes	110.738,08	69,42	11.385,88
Sukomanunggal	123.711,06	57,88	12.719,73
Asemrowo	56.932,99	96,82	5.853,74
Benowo	77.160,42	148,81	7.933,49
Lakarsantri	69.998,24	119,09	7.197,08
Pakal	65.937,10	138,40	6.779,53
Sambikerep	75.858,10	148,50	7.799,58
Total (ton CO ₂)	1.693.722,91	1.195,69	174.145,34
		1.869.063,96	

Tabel 8.
Nilai NCV dan CEF untuk Kegiatan Industri

Bahan Bakar	NCV	CEF (ton CO ₂ /TJ)
Gas Bumi (BGG)	0,0299 x 10 ⁶ TJ/m ³	56,10
Diesel	38 x 10 ⁶ TJ/liter	74,10
Industrial Fuel Oil	40 x 10 ⁶ TJ/liter	77,40
Batubara	18,9 x 10 ⁶ TJ/ton	96,10

Tabel 9.
Emisi CO₂ Hasil Kegiatan Industri

No.	Kawasan Industri	Jenis Industri	Emisi CO ₂ (ton CO ₂ / Tahun)
1	Karangpilang	Korek Api	153,86
2		Minyak Goreng	170,96
3		Sandal	26,67
4		Peralatan Dapur	36,45
5		Semen & Batu Tahan Api	615,44
6		Furnitur Kayu	6,84
7		Pipa Baja	243,75
8		Conveyor Belt	35,53
9		Baja	260,04
10		Genteng	1,69
11		Saos	0,40
12		Minyak Kelapa	37,68
13		Kertas	8,94
14		Karet Gelang	0,34
15		Keramik	117,71
		Total	1716,30
1	Margomulyo	Furnitur Kayu	22,91
2		Logam Konstruksi	547,06
3		Rokok	188,05
4		Biji Plastik	27,35
		Total	785,37
		Jumlah Total Emisi CO ₂	2.501,67

Jumlah tersebut kemudian di konversikan ke satuan mobil penumpang (smp) menggunakan Persamaan 1

$$n = m \times FK \tag{1}$$

Keterangan

n = jumlah kendaraan setelah dikonversi (smp/jam)

M = jumlah kendaraan (kendaraan/jam)

FK = Faktor Konversi (smp/kendaraan), dapat dilihat pada Tabel 2 [3]

Kemudian, perhitungan emisi akan dihitung dengan Persamaan 2 [3] berikut.

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times FE \times K \times L \tag{2}$$

Keterangan

n = Jumlah kendaraan setelah dikonversi (smp/jam)

FE = Faktor emisi (g/liter), dapat dilihat pada Tabel 3 [4].

K = Konsumsi bahan bakar (liter/100km), dapat dilihat pada Tabel 3 [5]

L = Panjang Jalan (km)

2) Emisi CO₂ Kegiatan Permukiman

Kegiatan permukiman menghasilkan emisi CO₂ dari respirasi manusia, hewan ternak, serta penggunaan bahan bakar LPG yang digunakan pada kegiatan rumah tangga. Emisi CO₂ sektor transportasi di zona barat Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan emisi CO₂ hasil respirasi manusia dan hewan ternak dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 [6].

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times FE \tag{3}$$

Keterangan:

n = jumlah penduduk / hewan ternak (jiwa / ekor)

FE = Faktor emisi, dapat dilihat pada Tabel 5.

Sedangkan untuk menghitung besarnya emisi CO₂ dari bahan bakar yang dihasilkan dari kegiatan permukiman dapat digunakan Persamaan 4 [4]

$$\text{Emisi CO}_2 = FE \times K \times NCV \tag{4}$$

Keterangan:

K = Jumlah konsumsi rata-rata bahan bakar LPG (Kg/bulan)

FE = Faktor emisi CO₂ bahan bakar (gCO₂/MJ)

NCV = *Net Calorific Value; Energy content* per unit massa / volume bahan bakar (MJ/kg), dapat dilihat pada Tabel 6 [4]

Hasil perhitungan emisi CO₂ pada sektor kegiatan permukiman dapat dilihat pada Tabel 7.

3) Emisi CO₂ Kegiatan Industri

Dalam menentukan emisi CO₂ hasil kegiatan industri di Zona Barat Kota Surabaya, digunakan data sekunder dengan jumlah konsumsi energi / penggunaan bahan bakar pada sektor perindustrian di Daerah Perindustrian Karangpilang [7] dan Margomulyo [6]. Persamaan 5 [4] berikut digunakan untuk menghitung emisi CO₂ primer kegiatan industry pada Zona Barat Kota Surabaya.

$$\text{Emisi CO}_2 = CEF \times NCV \times \Sigma FC \tag{5}$$

Keterangan:

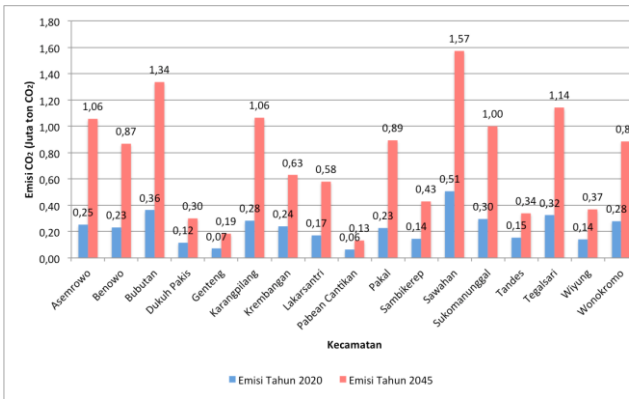
NCV = *Energy Content* per unit massa atau volume bahan bakar (TJ/kiloton fuel), terdapat pada Tabel 8 [4]

CEF = *Carbon Emission Factor* (ton CO₂/TJ) terdapat pada Tabel 8 [4]

ΣFC = jumlah bahan bakar fosil yang digunakan (massa/volume) [6], [7]

Hasil perhitungan emisi CO₂ hasil kegiatan industri di Kawasan Industri Karangpilang dan Margomulyo dapat dilihat pada Tabel 9.

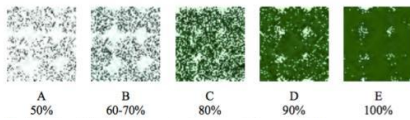
Hasil perhitungan emisi selengkapnya untuk setiap kecamatan di Zona Barat Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan emisi dari berbagai sektor kegiatan di Zona Barat Kota Surabaya disimpulkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Emisi CO₂ Zona Barat Kota Surabaya Tiap Kecamatan.



Gambar 3. Emisi CO₂ Zona Barat Kota Surabaya Tiap Sektor Kegiatan.



Gambar 4. Visualisasi Presentase Kerapatan Tajuk.

B. Perhitungan Proyeksi Jumlah Emisi CO₂

Perhitungan proyeksi jumlah emisi CO₂ menggunakan metode terpilih berdasarkan perhitungan koefisien korelatif. Koefisien korelatif dipilih yang nilainya paling mendekati 1, karena nilai tersebut menunjukkan hubungan linier antara variabel tahun dan variabel jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan pada tiap tahunnya [8]. Metode proyeksi terpilih adalah Metode Geometrik, yang ditunjukkan pada Persamaan 6.

$$P_n = P_o \times (1 + r)^{dn} \tag{6}$$

Keterangan:

- P_n = Proyeksi tahun ke-*n*
- P_o = Nilai awal jumlah emisi CO₂
- r = nilai koefisien korelasi
- dn = Jangka waktu proyeksi

Hasil proyeksi emisi CO₂ tiap daerah kecamatan di Zona Barat Kota Surabaya ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan emisi CO₂ pada kegiatan transportasi, permukiman, dan industri selama 25 tahun (2045) ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari hasil perhitungan tersebut, pada masa kini hingga 25 tahun ke depan emisi CO₂ di Zona Barat Kota Surabaya akan mengalami kenaikan pada tiap kecamatan nya dan tiap sektor kegiatan penghasil emisi nya sekitar 3,3 kali lipat lebih besar dari emisi CO₂ yang dihasilkan pada tahun 2020. Hal ini dikarenakan sektor transportasi, permukiman, dan perindustrian yang semakin berkembang dan berbanding lurus dengan banyaknya produksi emisi tersebut. Emisi CO₂ terbesar yang dihasilkan berasal dari sektor kegiatan transportasi. Hal ini dikarenakan pada kota-kota besar di Indonesia, sektor transportasi merupakan konsumen terbesar

Tabel 10. Luasan RTH Publik Eksisting di Zona Barat Kota Surabaya

No.	Kecamatan	Luas (ha)
1	Kecamatan Asemrowo	25,15
2	Kecamatan Benowo	45,34
3	Kecamatan Bubutan	23,09
4	Kecamatan Dukuh Pakis	101,12
5	Kecamatan Genteng	39,33
6	Kecamatan Karangpilang	30,08
7	Kecamatan Krebangan	87,98
8	Kecamatan Lakarsantri	40,02
9	Kecamatan Pabean Cantikan	16,08
10	Kecamatan Pakal	191,94
11	Kecamatan Sambikerep	43,02
12	Kecamatan Sawahan	88,99
13	Kecamatan Sukomanunggal	93,46
14	Kecamatan Tandes	71,85
15	Kecamatan Tegalsari	53,65
16	Kecamatan Wiyung	44,75
17	Kecamatan Wonokromo	112,27
Total		1108,13

produk minyak bumi yang juga penyumbang gas buang kendaraan bermotor yang cukup dominan, sebesar 60-70%, dikarenakan faktor perkembangan jumlah kendaraan bermotor yang signifikan (eksponensial), yang apabila tanpa adanya tindakan untuk mengurangi intensitas karbon tersebut akan berpengaruh terhadap perubahan iklim [9]. Emisi CO₂ terbesar berikutnya diikuti oleh hasil dari kegiatan sektor permukiman yang didominasi oleh hasil respirasi manusia, kemudian diikuti emisi CO₂ dari sektor perindustrian. Walaupun sektor industri berkontribusi rendah terhadap produksi emisi CO₂, namun apabila tidak ditangani dengan pemberlakuan berbagai kebijakan untuk mengendalikannya, pertumbuhan emisi tersebut dapat meningkat [10].

C. Inventarisasi RTH Publik Eksisting

Dalam menentukan jumlah RTH publik eksisting Zona Barat Kota Surabaya, data yang didapatkan berasal dari data sekunder dari berbagai macam sumber, yaitu data sekunder Rekap RTH Taman Aktif dan Pasif Tahun 2019, Data dari DLH Kota Surabaya, serta data dari BPS Kota Surabaya. Inventarisasi RTH Publik Eksisting di Zona Barat Kota Surabaya dapat dilihat pada Tabel 10.

D. Perhitungan, Analisis, dan Pemetaan Daya Serap Emisi CO₂ oleh RTH Publik Eksisting.

Perhitungan daya serap RTH menggunakan Persamaan 7 [3] sebagai berikut.

$$\text{Daya Serap} = LT \times \% \text{Kerapatan} \times S \tag{7}$$

Keterangan:

- Daya Serap = Kemampuan RTH menyerap CO₂
- LT = Luas tajuk pohon / luas area RTH (m²)
- %Kerapatan = Kerapatan tajuk pohon
- S = Laju serapan CO₂ (g CO₂/detik)

Kerapatan tajuk pohon ditentukan berdasarkan ketebalan tutupan daun pada pohon tersebut dalam satu area untuk RTH publik, yang divisualisasikan oleh Gambar 4 [3].

Hubungan antara luas tajuk pohon dan laju serapan CO₂ dengan permodelan menggunakan formulasi matematika [11], seperti pada Persamaan 8 berikut.

$$S = 0,2278 e^{(0,0048 \times I)} \tag{8}$$

Keterangan:

- S = Laju Serapan CO₂ (g/detik)
- I = Intensitas cahaya (watt/m²), dapat dilihat pada Tabel 11
- e = Bilangan pokok logaritma natural (ln)

Tabel 11.
Intensitas Cahaya Pada Iklim Tropis

Bulan	I watt/m ²	S µg/cm ² /menit	S g/cm ² /detik
Januari	409,34	1,625	2,708 x 10 ⁻⁸
Februari	467,06	2,143	3,573 x 10 ⁻⁸
Maret	425,83	1,758	2,931 x 10 ⁻⁸
April	424,86	1,750	2,917 x 10 ⁻⁸
Mei	389,46	1,477	2,461 x 10 ⁻⁸
Juni	389,46	1,477	2,461 x 10 ⁻⁸
Juli	384,12	1,439	2,399 x 10 ⁻⁸
Agustus	397,70	1,536	2,561 x 10 ⁻⁸
September	432,14	1,813	3,021 x 10 ⁻⁸
Oktober	420,01	1,710	2,851 x 10 ⁻⁸
November	423,41	1,738	2,897 x 10 ⁻⁸
Desember	402,07	1,569	2,615 x 10 ⁻⁸
Rata-rata			2,783 x 10 ⁻⁸

Tabel 12.
Laju Serapan Berbagai Tipe Tutupan Vegetasi

No.	Tipe Penutupan	g/ha/s	Laju Serapan CO ₂ kg/ha/hari	ton/ha/tahun
1	Pohon	18,04	1559,10	569,70
2	Semak Belukar	1,74	150,68	55,00
3	Padang Rumput	0,38	32,88	12,00
4	Sawah	0,38	32,99	12,00

Tabel 13.
Daya Serap RTH Publik Eksisting Zona Barat Kota Surabaya

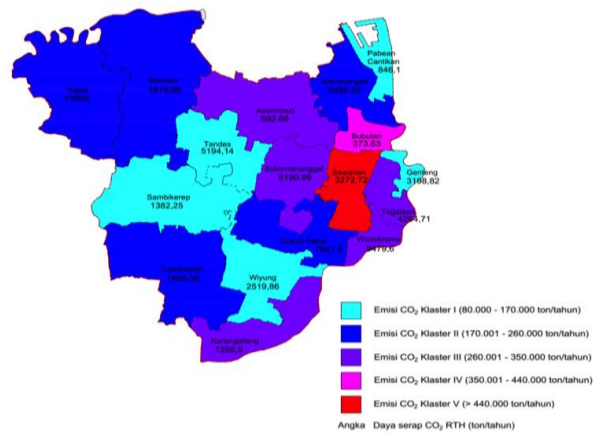
Kecamatan	Daya Serap CO ₂ (ton CO ₂)	Persen Serapan (%)
Asemrowo	693	0,21
Benowo	1.620	2,30
Bubutan	374	0,10
Dukuh Pakis	7.842	12,36
Genteng	3.199	1,34
Karangpilang	1.260	0,25
Krembangan	5.496	1,97
Lakarsantri	1.469	0,52
Pabean Cantikan	846	0,72
Pakal	13.902	9,95
Sambikerep	1.382	0,89
Sawahan	3.273	1,11
Sukomanunggal	6.191	2,44
Tandes	5.194	2,23
Tegalsari	4.265	2,51
Wiyung	2.520	1,10
Wonokromo	9.480	6,54
Total	69.005	46,55

0,0048 = Koefisien intensitas cahaya
 0,0048 = Koefisien intensitas cahaya
 0,2278 = Konstanta penjumlahan

Laju Serapan CO₂ pada masing – masing tipe tutupan vegetasi berbeda-beda. Laju Serapan (S) pada masing – masing tipe vegetasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 12 [3].

Hasil perhitungan daya serap RTH publik eksisting terhadap emisi pada tahun 2045 dapat dilihat pada Tabel 13.

Kemampuan daya serap RTH publik di Zona Barat Kota Surabaya terhadap emisi CO₂ adalah sebesar 69.004,54 ton CO₂ / tahun, dimana nilai tersebut mencakup total 46,55% dari emisi CO₂ yang dihasilkan pada tiap kecamatannya masing - masing. Daerah yang memiliki persen penyerapan CO₂ paling tinggi yaitu Kecamatan Pakal dengan nilai penyerapan 9,95% dari seluruh emisi CO₂ yang dihasilkan, sedangkan daerah yang memiliki persen penyerapan CO₂ paling rendah yaitu Kecamatan Bubutan dengan nilai penyerapan 0,1% dari seluruh emisi CO₂ yang dihasilkan. Daya serap dari RTH eksisting tersebut dapat disimpulkan belum mampu menyerap keseluruhan emisi CO₂ yang dihasilkan di Zona Barat Kota Surabaya. Pemetaan sebaran daya serap emisi CO₂ ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sebaran Daya Serap Emisi CO₂ di Zona Barat Kota Surabaya.

Tabel 14.
Luas Kebutuhan RTH Tambahan di Zona Barat Kota Surabaya pada Tahun 2045

Kecamatan	Luas Kebutuhan RTH (ha)
Kecamatan Asemrowo	2.004,22
Kecamatan Benowo	322,26
Kecamatan Bubutan	2.347,66
Kecamatan Dukuh Pakis	215,87
Kecamatan Genteng	1.099,20
Kecamatan Karangpilang	2.760,01
Kecamatan Krembangan	1.546,38
Kecamatan Lakarsantri	1.865,48
Kecamatan Pabean Cantikan	528,44
Kecamatan Pakal	622,49
Kecamatan Sambikerep	595,41
Kecamatan Sawahan	1.754,28
Kecamatan Sukomanunggal	1.842,35
Kecamatan Tandes	1.516,00
Kecamatan Tegalsari	1.010,43
Kecamatan Wiyung	1.564,27
Kecamatan Wonokromo	739,82
Total	22.334,57

Tabel 15.
Daya Serap Rencana Vegetasi Pengganti

Nama Lokal	Nama Ilmiah	Daya Serap	
		g CO ₂ / pohon / jam	ton CO ₂ / pohon / tahun
Pohon Buni	<i>Antidesma bunius</i>	13.136,05	31,31
Pohon Kenitu	<i>Chrysophyllum cainito</i>	2.702,04	23,67
Pohon Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	2.113,76	5,04
Pohon Trembesi	<i>Samanea amana</i>	3.247,50	28,44
Pohon Pucuk Merah	<i>Syzygium oleina</i>	155,58	1,36

E. Evaluasi dan Perencanaan RTH di Zona Barat Kota Surabaya

Setelah ditentukan daya serap area RTH tersebut, dapat ditentukan pula sisa emisi CO₂ yang belum terserap, dengan cara perhitungan menggunakan Persamaan 9 [12] tersebut.

$$\text{Sisa Emisi CO}_2 = A - B \tag{9}$$

Keterangan:

A = Total emisi CO₂ aktual (g/jam)

B = Total daya serap CO₂ oleh RTH (g/jam)

Apabila total emisi CO₂ aktual lebih besar dari kemampuan daya serap RTH ekisting dalam menyerap emisi CO₂ kebutuhan akan luasan RTH tambahan dapat dihitung dengan pendekatan perbandingan antara sisa emisi CO₂ yang dihasilkan dengan daya serap CO₂ tersebut [14] seperti pada

Persamaan 10 [14] berikut.

$$Luas\ Kebutuhan\ RTH = \frac{Sisa\ Emisi\ CO_2}{Daya\ Serap\ RTH} \quad (10)$$

Keterangan:

Sisa Emisi CO₂ = Emisi CO₂ yang belum mampu terserap oleh RTH (ton CO₂/tahun)

Daya Serap RTH = Kemampuan RTH eksisting dalam menyerap Emisi CO₂ (ton CO₂/tahun/ha)

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 14. RTH Publik eksisting di Zona Barat Kota Surabaya belum mencukupi dalam penyerapan total emisi CO₂ yang dihasilkan dan membutuhkan luas kebutuhan RTH tambahan untuk menunjang penyerapan total emisi CO₂ sebesar 22.334,57 ha untuk 25 tahun mendatang. Optimalisasi atau usaha pengembangan RTH dapat dilaksanakan dengan cara Intensifikasi dan cara Ekstensifikasi. Cara Intensifikasi adalah usaha penanaman tanaman dengan memperbaiki dan meningkatkan kualitas mutu RTH tersebut, sedangkan cara ekstensifikasi adalah upaya pengembangan RTH dengan menambah luasannya [13].

1) *Intensifikasi RTH*

Upaya intensifikasi RTH dilakukan dengan penambahan daya serap RTH dilakukan dengan mengganti dan menambahkan jenis vegetasi yang digunakan pada RTH eksisting dengan jenis tumbuhan yang memiliki daya serap tinggi. Pada perencanaan ini, penggantian vegetasi di implementasikan terkhusus pada jalur hijau dan sempadan sungai sedangkan penambahan pohon pada RTH diterapkan pada pulau jalan, agar RTH lebih efektif dalam menyerap emisi CO₂, terutama emisi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi. Jenis tumbuhan yang digunakan adalah jenis tanaman (pohon) pelindung yang memiliki daya serap tinggi terhadap emisi CO₂, yang dapat dilihat pada Tabel 15.

Perencanaan penggantian vegetasi dan penambahan pohon pada jalur hijau, sempadan sungai, dan pulau jalan dilakukan berdasarkan rencana RTH dari RTRW Kota Surabaya tahun 2018-2038. Perencanaan penggantian dan penambahan vegetasi pada RTH taman pasif ini adalah sebagai berikut

a. RTH Jalur Hijau Besar (Tipe 1)

Pada rencana penggantian vegetasi dan penambahan pohon pada RTH jalur hijau direncanakan penanaman pohon pelindung berupa 60% Pohon Buni (*Antidesma bunius*), 30% Pohon Kenitu (*Chrysophyllum cainito*), dan 10% Pohon Tanjung (*Mimusops elengi*), serta penutup lahan berupa rumput, dan semak / perdu dengan porsi 60% rumput dan 40% semak / perdu. Pepohonan masing – masing ditanam dengan jarak 5 m dan asumsi diameter batang pohon 0,5 m.

b. RTH Jalur Hijau Kecil dan Sempadan Sungai (Tipe 2)

Rencana penggantian vegetasi dan penambahan pohon RTH Jalur Hijau Kecil dan Sempadan Sungai sama seperti rencana pada RTH Jalur Hijau Besar yaitu menggunakan pohon pelindung berupa 60% Pohon Buni (*Antidesma bunius*), 30% Pohon Kenitu (*Chrysophyllum cainito*), dan 10% Pohon Tanjung (*Mimusops elengi*), namun tidak mengganti atau menambahkan penutup lahan seperti rumput dan semak/perdu. Khusus untuk RTH Jalur Hijau pada pada Jl. Gunungsari dan Jl. Kutai hanya menggunakan Pohon Pucuk Merah (*Syzygium oleina*) karena luas jalur hijau tersebut sangat kecil dan terletak pada median jalan. Pepohonan masing – masing ditanam dengan jarak 5 m dan asumsi diameter batang pohon 0,5 m.

Tabel 16. Hasil Perhitungan Daya Serap RTH Rencana

No	Kecamatan	Nama RTH	Daya Serap CO ₂ (ton CO ₂)
1	Asemrowo	Pulau Jalan Tol Dupak	69.226,74
2		JH Jl. Raya pantura	8.296,39
3	Benowo	JH Median Jl. Raya Sememi	4.304,14
4		JH Tol Surabaya - Gresik	26.491,84
5	Bubutan	JH Jl. Demak	11.501,06
6		JH Jl. Gunungsari	323,62
7	Dukuh Pakis	Pulau Sempadan Sungai Jl. Gunungsari	1.490,19
8	Genteng	JH Median Jl. Genteng kali	2.737,20
9		JH Tol Surabaya - Mojokerto	19.385,45
10	Karangpilang	Pulau Jalan Tol Surabaya - Mojokerto	6.530,77
11	Krempangan	JH Jl. Tanjung Sadari	8.593,89
12	Lakarsantri	JH Jl. Bangkingan	3.368,46
13		Pulau Jalan Sisingamangaraja – Jl. Jakarta	475,18
14	Pabean Cantikan	Rot. Petekan	212,28
15		Stren Kali Kalimas Barat	7.451,35
16	Pakal	JH Jl. Jakarta	1.022,05
17		JH Jl. Jawar Surabaya	22.566,77
18	Sambikerep	JH Jl. Raya Sambikerep	6.012,37
19	Sawahan	JH Jl. Banyu Urip	11.345,53
20		Pulau Jalan Tol Banyu Urip	10.498,35
21	Suko-manunggal	JH Jl. Sukomanunggal	8.888,51
22		JH Jl. Manukan Tama	6.015,48
23	Tandes	JH Pintu Tol Tandes Timur - Jl. Raya Pantura	13.934,49
24	Tegalsari	JH Jl. Kedungdoro	4.858,84
25	Wiyung	JH Jl. Wiyung	7.687,26
26	Wonokromo	JH Jl. Kutai	110,52
Total			267.739,5

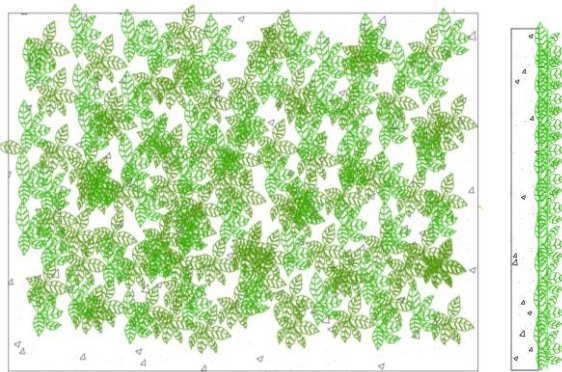
c. RTH Pulau Jalan

Pada rencana penggantian vegetasi dan penambahan pohon pada RTH pulau jalan, direncanakan RTH memiliki porsi pepohonan 70% dengan penutup lahan berupa 60% rumput dan 40% semak dan perdu. Hal ini dimaksudkan agar menambah keefektifan RTH dalam menyerap emisi CO₂. Porsi Pohon yang digunakan adalah 60% Pohon Buni (*Antidesma bunius*), 20% Pohon Kenitu (*Chrysophyllum cainito*), dan 20% Pohon Trembesi (*Samanea Saman*). Pepohonan masing – masing ditanam dengan jarak 5 m dan asumsi diameter batang pohon 0,5 m. Hasil perhitungan daya serap RTH rencana dapat dilihat pada Tabel 16.

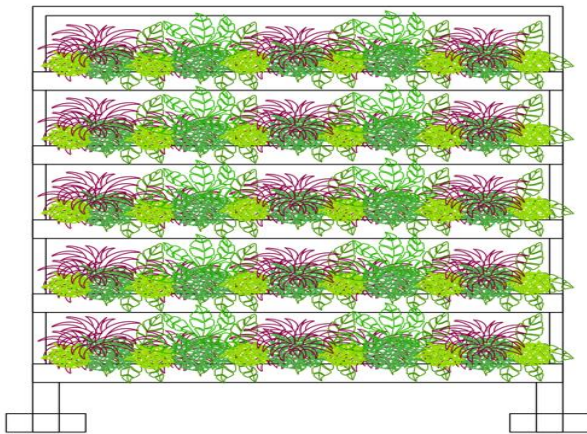
2) *Ekstensifikasi RTH*

Dalam rencana menambah daya serap RTH untuk mencukupi penyerapan emisi CO₂ yang dihasilkan, dapat dilakukan pula cara ekstensifikasi dengan menambahkan luasan RTH. Namun, pada kondisi eksisting dan pada tahun 2045, Untuk menambahkan RTH selalu nilai tersebut tidak memungkinkan karena berdasarkan RTRW Kota Surabaya Tahun 2018-2038 tidak memiliki luasan yang cukup sebesar nilai tersebut untuk lahan ruang terbuka hijau, maka alternatif lainnya adalah menambahkan luasan RTH dengan implementasi metode *Vertical Garden* dan *Roof Garden*.

Vertical Garden atau Taman Vertikal adalah sistem melampirkan vegetasi pada dinding bangunan atau fasad, baik sebagian maupun seluruhnya [14]. Beberapa manfaat yang diperoleh dari mengaplikasikan taman vertikal ini adalah: (a) Meningkatkan kualitas udara, disebabkan oleh penyerapan karbon dioksida dan penghasilan oksigen oleh tanaman. (b) Memberikan pengaruh ekologi, taman vertikal dapat berperan sebagai sumber makanan untuk serangga dan disukai oleh burung dan kelelawar. (c) Memberikan pengaruh



Gambar 6. Pola Penanaman Fasad Hijau.



Gambar 7. Pola penerapan taman vertikal menggunakan wadah.

Tabel 17.

Daya Serap Pasca Rencana Optimalisasi RTH

Kecamatan	Total Daya Serap CO ₂ (ton CO ₂)		Persen Serapan CO ₂ (%)	
	2020	2045	2020	2045
Asemrowo	693	84.564	0,21	7,40
Benowo	1.620	42.148	2,30	22,76
Bubutan	374	13.466	0,10	1,01
Dukuh Pakis	7.842	18.143	12,36	13,87
Genteng	3.199	6.920	1,34	1,10
Karangpilang	1.260	30.962	0,25	1,97
Krembangan	5.496	17.511	1,97	1,98
Lakarsantri	1.469	12.626	0,52	1,19
Pabean Cantikan	846	12.357	0,72	4,09
Pakal	13.902	45.520	9,95	12,35
Sambikerep	1.382	17.107	0,89	5,02
Sawahan	3.273	17.460	1,11	1,74
Sukomanunggal	6.191	29.363	2,44	2,78
Tandes	5.194	29.730	2,23	3,42
Tegalsari	4.265	10.883	2,51	1,88
Wiyung	2.520	15.317	1,10	1,71
Wonokromo	9.480	10.935	6,54	2,54
Total	69.005	415.014	46,55	86,80

pada suhu lingkungan, mencegah radiasi matahari dan mengurangi kecepatan angin sehingga terjadi penurunan suhu udara.

Kelebihan dari penerapan taman vertikal adalah: (a)Pengaplikasian nya tidak memakan banyak lahan. (b)Ramah lingkungan. (c)Efektif di terapkan di kota padat penduduk.

Dalam penerapannya, Taman Vertikal dapat dikelola dengan beberapa cara berikut:

1) Fasad dinding hijau dengan pola aplikasi tanaman rambat

Metode tersebut dapat diaplikasikan pada tembok dinding dan ditanami berbagai tanaman rambat yang memiliki daya

serap terhadap CO₂ seperti pada Gambar 6. contohnya Daun Ivy (*Hedera helix*) yang dapat menyerap 2.351 kg CO₂ per tahun pada lahan dinding seluas 1.000 m² [14]. Apabila metode tersebut diterapkan pada tembok sempadan rel kereta api yang terbentang sepanjang Jl. Cepu hingga Banjar Sugihan yang memiliki luas 19.325 m², tanaman rambat tersebut dapat menyerap emisi CO₂ hingga 45.433,08 ton CO₂ tiap tahunnya.

2) Tanaman yang ditanam pada wadah

Metode penanaman tanaman dengan menggunakan wadah juga dapat diaplikasikan pada rencana taman vertical seperti pada Gambar 7. Rencana taman tersebut dapat diterapkan di median jalan sebagai pengganti jalur hijau kecil, atau diletakkan pada jembatan. Wadah penanam ditempatkan pada fasad hijau. Seluas 98 m² vertical planting dapat menyerap hingga 1.640,27 kg CO₂ per tahunnya atau sebesar 16,7 kg CO₂ / m² per tahunnya [15], maka apabila metode tersebut diterapkan pada sepanjang Jalan Tambak Langon (1.650 m) serta Jalan Tembok Dukuh (826,8 m), dapat diperhitungkan jumlah emisi yang dapat diserap tiap tahunnya sebagai berikut:

Dimensi rencana vertical planting

- Area Penanaman = 2 m x 2 m = 4 m²
- Tinggi Unit = 2,3 m
- Jarak penanaman antar unit = 5 m
- Banyak unit vertical planting diterapkan

1. Jalan Tambak Langon = $\frac{1.650\text{ m}}{(5\text{ m}+2\text{ m})} = 236\text{ unit}$

Daya Serap = 236 unit x 4 m² x 16,7 kg CO₂ / m² = 15.797 kg CO₂ = 15,79 ton CO₂ / tahun

2. Jalan Tembok Dukuh = $\frac{826,8\text{ m}}{(5\text{ m}+2\text{ m})} = 119\text{ unit}$

Daya Serap = 119 unit x 4 m² x 16,7 kg CO₂ / m² = 7.965 kg CO₂ = 7,96 ton CO₂ / tahun

Maka, total kenaikan daya serap yang diperoleh apabila menerapkan metode vertical planting adalah sebesar 23.762 kg CO₂ / tahun atau 23,76 ton CO₂ / tahun.

Roof Garden Pengimplementasian Roof Garden (taman atap) dapat berpotensi sebagai salah satu RTH pada bangunan yang berfungsi untuk meningkatkan luasan RTH kota. Roof Garden adalah ruang bervegetasi yang terletak di atas level bangunan, dek atap, atau teras bangunan [14]. Taman atap Memberikan manfaat bagi lingkungan [16], seperti mereduksi suhu udara, dapat menjadi pelindung bangunan yang menjadi insulator panas dan mengurangi radiasi sinar matahari terhadap bangunan secara efektif, dapat berperan sebagai lapisan penahan air dan dapat dimanfaatkan untuk menyimpan air hujan dan dapat di daur ulang, meredam suara bising, dan menyaring polusi udara. Taman atap dapat menyerap sebesar 33,2 kg CO₂ per meter persegi tiap tahunnya [17].

Metode Taman Atap dapat diterapkan pada bagian atap atau bagian teras pada gedung – gedung instansi pemerintahan sebagai bentuk ekstensifikasi RTH publik yang dikelola oleh pemerintah. Perhitungan luas RTH tersebut dapat dilakukan berdasarkan jumlah penduduk seperti pada Persamaan 11 [18] menggunakan data populasi pegawai negeri sipil di Zona Barat Kota Surabaya yang diperoleh dengan mengalikan jumlah tersebut dengan perbandingan luas area Kota Surabaya dengan Zona Barat Kota Surabaya, dengan asumsi sebaran pegawai negeri sipil, persebaran

gedung instansi pemerintah, dan daya serap pada penerapan metode taman atap tersebut merata di seluruh Kota Surabaya.

$$GA = 29P^{0.7} - 3,2P \quad (11)$$

Keterangan:

GA = Green Space Area (km²)

P = Jumlah penduduk (dalam satuan Juta jiwa)

Setelah dilakukan optimalisasi, dapat dihitung total daya serap RTH pasca optimalisasi RTH tersebut. Daya serap RTH pasca rencana optimalisasi RTH dapat dilihat pada Tabel 17.

Upaya optimalisasi dengan metode intensifikasi dan ekstensifikasi RTH menghasilkan kenaikan daya serap emisi CO₂ menjadi sejumlah 415.014 ton CO₂. Daya serap yang dihasilkan tersebut dapat menyerap emisi CO₂ sebesar total 86,80% dari emisi CO₂ yang dihasilkan pada tahun 2045 per daerah masing – masing kecamatan di Zona Barat Kota Surabaya. Nilai emisi dan daya serap CO₂ mengalami kenaikan, namun kenaikan nilai daya serap CO₂ pada tahun 2045 berbanding jauh dengan emisi CO₂ pada 2045, sehingga dapat dikatakan bahwa efisiensi penyerapan RTH tersebut berkurang. Meskipun daya serap oleh RTH mempunyai nilai yang kecil, hal ini tak lantas membuat upaya optimalisasi RTH sia-sia karena daya serap RTH tersebut tetap mengalami kenaikan, selain itu pada konsep daur global CO₂ tidak seluruhnya emisi CO₂ diserap oleh vegetasi, pada kenyataannya emisi tersebut akan terdispersi oleh angin. Pada prosentase kesetimbangan CO₂ sebesar 0,05% emisi tersebut akan diserap oleh tumbuhan, 1,75% akan tetap berada di atmosfer, dan 98,2% akan larut di dalam lautan.

F. Pemeliharaan RTH

Dalam upaya optimalisasi RTH dengan cara intensifikasi, RTH eksisting harus dipelihara dengan baik. Ketentuan pemeliharaan RTH berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5 Tahun 2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan RTH, yaitu pemupukan, penyiraman, dan pemangkasan.

1) Pemupukan

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.

3) Pemangkasan

Tujuan pemangkasan tanaman adalah untuk menjaga keamanan dan kesehatan tanaman.

4) Pengendalian Hama dan penyakit Tanaman

Pengendalian hama dan penyakit tanaman dapat dilakukan dengan cara karantina, mekanis, fisik, teknik budidaya, biologi dan kimiawi.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi, permukiman, dan industri di Zona Barat Surabaya sejumlah 3.864.836,04 ton CO₂ / tahun. Hasil proyeksi dari emisi CO₂ untuk 25 tahun ke depan (2045) adalah 12.793.007,4 ton CO₂. Kemampuan daya serap RTH publik eksisting di Zona Barat Surabaya adalah 69.004,54 ton CO₂ / tahun, dimana nilai tersebut mencakup 46,55% dari emisi CO₂ yang dihasilkan total tiap kecamatannya. Hasil optimalisasi RTH dengan melakukan intensifikasi dan ekstensifikasi dapat meningkatkan daya penyerapan menjadi sebesar 415.014 ton CO₂ atau sebesar 86,80% dari emisi CO₂ di masing masing kecamatan pada Zona Barat Kota Surabaya tahun 2045.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Salim, *Pembangunan Berwawasan Lingkungan*. Lembaga Penelitian, Pendidikan dan Penerangan Ekonomi dan Sosial, 1986.
- [2] S. R. Sari, D. Iswanto, and D. Indrosaptono, "Peningkatan peran serta masyarakat dalam pengelolaan ruang terbuka kota yang sehat studi kasus: Kawasan Kota Lama Semarang," *MODUL*, vol. 16, no. 2, pp. 81–85, 2016.
- [3] I. W. Murti, "Inventarisasi dan penentuan kemampuan serapan emisi co2 oleh ruang terbuka hijau di kabupaten sidoarjo, jawa timur," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [4] Simon Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe, "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), USA, 2006.
- [5] M. Y. Jinca, "Pencemaran udara karbon monoksida dan nitrogenoksida akibat kendaraan bermotor pada ruas jalan padat lalu lintas di Kota Makassar," *Simp. Surabaya*, 2009.
- [6] N. Rachmawati, "Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi CO₂ di Perkotaan Menggunakan Program STELLA (Studi Kasus: Surabaya Barat)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [7] R. E. Handriyono and M. N. Kusuma, "Kajian beban emisi SO₂ dan NO_x dari kegiatan industri di Kawasan Industri SIER Surabaya," *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 3, no. 2, 2017.
- [8] Sugiyono, *Metodologi Penelitian Bisnis*. Jakarta: Gramedia, 2007.
- [9] N. Nurdjanah, "Emisi CO₂ akibat kendaraan bermotor di Kota Denpasar," *J. Penelit. Transp. Darat*, vol. 16, no. 4, pp. 189–202, 2014.
- [10] D. Labiba and W. Pradoto, "Sebaran emisi CO₂ dan implikasinya terhadap penataan ruang area industri di Kabupaten Kendal," *J. Pengemb. Kota*, vol. 6, no. 2, pp. 164–173, 2018.
- [11] T. Pentury, "Konstruksi Model Matematika Tangkapan CO₂ pada Tanaman Hutan Kota," Universitas Airlangga, 2003.
- [12] R. Adiastari and R. Boedisantoso, "Kajian mengenai kemampuan ruang terbuka hijau (rth) dalam menyerap emisi karbon di kota surabaya," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2010.
- [13] D. I. Kota and M. Tahun, "Kebutuhan ruang terbuka hijau di kota makassar tahun 2017," Universitas Hasanuddin, 2017.
- [14] M. Syafiq, "Perancangan Taman Vertikal pada Lingkungan Koridor Padat Kota dengan Pendekatan Konsep Sustainable Urban Landscape," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [15] M. Marchi, R. M. Pulselli, N. Marchettini, F. M. Pulselli, and S. Bastianoni, "Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system," *Ecol. Modell.*, vol. 306, pp. 46–56, 2015.
- [16] F. Bianchini and K. Hewage, "How 'green' are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials," *Build. Environ.*, vol. 48, pp. 57–65, 2012.
- [17] J. Li et al., "Effect of green roof on ambient CO₂ concentration," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 12, pp. 2644–2651, 2010.
- [18] G. Samudro and S. Mangkoedihardjo, "Water equivalent method for city phytostructure of Indonesia," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 261–267, 2006, doi: 10.1007/BF03325933.