

Pola Spasial Produksi dan Serapan Emisi CO₂ Primer pada Sektor Perumahan di Kecamatan Sukomanunggal

Baskara Adiena Hutomo dan Cahyono Susetyo

Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Arsitektur, Desain, dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: csusetyo@gmail.com

Abstrak— Banyak dari kegiatan rumah tangga yang bisa menghasilkan emisi CO₂, ditambah lagi tidak aktifnya beberapa stasiun Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) menjadikan kurangnya data spasial terkait paparan dan serapan emisi karbon (CO₂). Oleh karena itu diperlukan mempolakan data spasial terkait produksi dan serapan emisi CO₂ yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pola spasial dari produksi dan serapan emisi gas CO₂ di sektor perumahan yang terdapat di Kecamatan Sukomanunggal. Tahapan dari penelitian ini terdiri dari (1) Mengidentifikasi variabel-variabel yang mempengaruhi produksi dan serapan emisi CO₂ pada suatu unit rumah di lahan permukiman di Kecamatan Sukomanunggal dengan menggunakan metode CFA (Confirmatory Factor Analysis), (2) Mengestimasi jumlah produksi dan serapan emisi CO₂ pada sektor perumahan di Kecamatan Sukomanunggal dengan perhitungan Faktor Emisi, (3) Mempolakan secara spasial produksi dan serapan emisi CO₂ primer pada sektor perumahan di Kecamatan Sukomanunggal dengan metode Interpolasi. Penelitian ini terletak di Kecamatan Sukomanunggal, pemilihan Kecamatan Sukomanunggal sebagai wilayah studi dikarenakannya dominannya lahan permukiman di Surabaya Barat yang dimana Kecamatan Sukomanunggal merupakan kecamatan di wilayah Surabaya Barat.

Dari hasil penelitian ini, diperoleh bahwa produksi emisi CO₂ banyak dihasilkan dari Rumah bertipe Mewah. Namun serapan terbesar juga dihasilkan di wilayah perumahan bertipe Mewah. Sehingga produksi Emisi (CO₂) dengan serapan yang kecil terjadi pada perumahan bertipe sederhana yang berkarakteristik permukiman padat. Serapan dari Ruang Terbuka Hijau Privat masih memberi kontribusi kecil terhadap serapan Emisi CO₂ tersebut.

Kata Kunci—Pola Spasial, Emisi, CO₂, Perumahan, Produksi dan serapan.

I. PENDAHULUAN

KUALITAS udara merupakan salah satu indikator dalam menyatakan kondisi lingkungan perkotaan. Kualitas udara erat hubungannya dengan kehidupan manusia, meliputi pertumbuhan penduduk, kesejahteraan penduduk, dan perubahan teknologi[1]. Ketidaktepatan rencana dan ketidaktertiban pemanfaatan ruang dapat berpengaruh kepada penurunan kualitas lingkungan hidup, sehingga lingkungan menjadi berkembang secara ekonomi tetapi menurun secara ekologi.

Rumah tangga merupakan salah satu penyumbang emisi karbon nasional. Tingkat emisi karbon rumah tangga dapat dipengaruhi oleh karakteristik dan jumlah penggunaan dari bahan bakar rumah tangga. Alhasil, produksi emisi rumah tangga dipengaruhi karakteristik kebiasaan penggunaan

bahan bakar rumah tangga itu sendiri. Emisi yang dihasilkan merupakan salah satu bentuk polusi udara dan polusi udara merupakan risiko kesehatan lingkungan yang utama. Pada tahun 2014, 9 dari 10 orang yang tinggal di kota menghirup udara yang tidak sesuai dengan standar keselamatan yang ditetapkan oleh WHO. Sehingga ini sesuai dengan tujuan dari Sustainable Development Goal No. 11 yang dimana tujuannya adalah membuat kota dan pemukiman manusia inklusif, aman, tangguh dan berkelanjutan. Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) diterbitkan sebagai Perpres No. 61/2011 menjabarkan target penurunan emisi GRK ke dalam 5 bidang/ sektor utama, yaitu: (i) Kehutanan dan Lahan Gambut, (ii) Pertanian; (iii) Energi dan Transportasi; (iv) Industri, serta (v) Pengelolaan Limbah, sehingga pada penelitian ini, masuk kepada target di bidang nomor (iii). Presiden Susilo Bambang Yudhoyono dalam pidatonya di depan para pemimpin negara pada pertemuan G-20 di Pittsburgh, Amerika Serikat, 25 September 2009 menyatakan bahwa Indonesia secara sukarela berkomitmen untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 26 persen pada tahun 2020 dari tingkat Business as Usual (BAU) dengan usaha sendiri dan mencapai 41 persen apabila mendapat dukungan internasional.

Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, inventarisasi GRK (Gas Rumah Kaca) Kota Surabaya tahun 2016 pada sektor energi menjadi penyumbang emisi GRK (Gas Rumah Kaca) terbesar dari total emisi GRK (Gas Rumah Kaca). Adapun kondisi total Emisi CO₂ di Kota Surabaya yakni sebesar 17.655,60 Gg/tahun, yang dimana pada sektor energi yang terdiri dari Pembakaran Sumber Tidak Bergerak dan Bergerak adalah sebesar 9.815,91 Gg/Tahun.

Surabaya Barat merupakan distrik dari Kota Surabaya yang memiliki 31% lahan permukiman, lalu Surabaya Selatan yang terdiri dari 25%, Surabaya Pusat 6%, Surabaya Utara 10%, dan Surabaya Timur 28%. Kecamatan Sukomanunggal merupakan salah satu Kecamatan yang berada di Surabaya Barat, sehingga wilayah tersebut merupakan wilayah dengan permukiman yang banyak. Dengan banyaknya permukiman, lokasi ini cocok dijadikan wilayah penelitian karena cocok untuk menangkap variasi jenis produksi dan serapan emisi CO₂ primer pada sektor perumahan yang terdapat pada lokasi tersebut.

Adapun terkait data mengenai kadar emisi sendiri masih kurang di Kota Surabaya ini, menurut Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) di Kota Surabaya hanya memiliki 3 stasiun aktif untuk mendeteksi tingkat pencemaran itu sendiri, yakni stasiun yang berada di Kebonsari, Wonorejo,

dan Taman Prestasi Kantor Gubernur. Dan salah satu stasiun yang tidak aktif adalah stasiun yang berada di Kecamatan Sukomanunggal dengan keterangan stasiun yang bernama SUF-3. Kurangnya data spasial terkait produksi emisi menjadi salah satu urgensi yang perlu diatasi.

Analisis spasial gas emisi diperlukan untuk menangkap karakteristik yang bervariasi[2]. Dalam inventarisasi data spasial, akan mempermudah menghubungkan data yang ada dengan kondisi finansial suatu daerah, dan kondisi area yang terpengaruh[3]. "In order to solve the problem of Green House Gas emission reduction the effective inventory tools in all sectors of human activity are needed. Residential sector is one of the most considerable sector for Green House Gas emissions reduction"[4]. Oleh karena itu pendataan pola spasial produksi dan serapan emisi CO₂ primer ini bisa menjadi salah satu jawabannya.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, terdapat tiga tahap utama yang dilakukan untuk mencapai *output* yang diinginkan. (1) Mengidentifikasi variabel-variabel yang mempengaruhi produksi dan serapan emisi CO₂ pada suatu unit rumah di lahan permukiman di Kecamatan Sukomanunggal dengan menggunakan metode *CFA (Confirmatory Factor Analysis)*, (2) Mengestimasi jumlah produksi dan serapan emisi CO₂ primer pada sektor perumahan di Kecamatan Sukomanunggal dengan perhitungan Faktor Emisi, (3) Mempolakan secara spasial produksi dan serapan emisi CO₂ primer pada sektor perumahan di Kecamatan Sukomanunggal dengan metode Interpolasi. Dengan populasi jumlah KK (Kartu Keluarga) di seluruh Kecamatan Sukomanunggal yang dimasukkan kedalam persamaan *Slovin* dengan tingkat toleransi *error* sebesar 10%, diperoleh sampel yang harus diambil minimal sebanyak 98 sampel.

A. Mengidentifikasi Variabel yang Mempengaruhi Produksi dan Serapan Emisi (CO₂) Primer pada Sektor Perumahan di Kecamatan Sukomanunggal, Surabaya

Guna menjawab sasaran pertama dalam penelitian ini, digunakan alat analisis berupa confirmatory factor analysis. Alat analisis ini digunakan untuk mereduksi variabel-variabel kandidat yang tidak digunakan dalam penelitian. Variabel yang digunakan dalam tahapan analisis ini berasal dari pengkajian teori. Pihak yang menjadi sampel dari alat analisis ini adalah masyarakat yang bertempat tinggal di rumah dan memiliki bahan bakar memasak dirumahnya yang dimana termasuk dalam kriteria dari purposive sampling yang telah ditentukan oleh peneliti.

B. Mengestimasi Jumlah Produksi dan Serapan Emisi CO₂ Primer pada Sektor Perumahan di Kecamatan Sukomanunggal, Surabaya

Perhitungan jumlah produksi emisi CO₂, rumus yang digunakan adalah rumus dari IPCC, yang dimana rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Pey = FCy \times EF \times NCV \tag{1}$$

Keterangan :

Pey = Total emisi CO₂ (kg)

FCy = Jumlah Pemakaian (kg)

Tabel 1.

Nilai Faktor Emisi dan *Net Calorific Value (NCV)* berdasarkan Jenis Produk Bahan Bakar

No.	Produk	Faktor Emisi	NCV
1	LPG	0,063 Kg/MJ	47,3 MJ.kg-1
2	Kayu Bakar	0,112 Kg/Mj	15,4 MJ.kg-1
3	Bensin	0,069 Kg/Mj	43,4 MJ.kg-1
4	Minyak Tanah	0,071 Kg/Mj	43 MJ.kg-1
5	Arang	0,112 Kg/Mj	29,5 MJ.kg-1
6	Solar	0,074 Kg/Mj	43 MJ.kg-1
7	Gas Alam	0,058 Kg/Tj	45,2 MJ.kg-1

Tabel 2.

Daya serap Ruang Terbuka Hijau (RTH) berdasarkan tipenya

No.	Tipe Lahan	Daya serap gas CO ₂ (kg/ha/jam)	Daya serap gas CO ₂ (ton/ha/tahun)
1	Pohon	129,92	569,07
2	Semak Belukar	12,56	55
3	Padang Rumput	2,74	12
4	Sawah	2,74	12

Tabel 3.

Daya serap Pohon berdasarkan jenis pohonnya

No.	Nama Pohon	Nama Latin	Jumlah Serapan (kg/tahun.pohon)	Sumber
1	Pohon Mangga	Mangifera indica	443.94624	Hastuti, (2012)
2	Pohon Jambu Biji	Syzigium malaccense	380.97696	Hastuti, (2012)
3	Pohon Rambutan	Nephelium lappaceum	0.546816	Purwaningsih, 2007
4	Pohon Belimbing	Averrhoa bilimbi	54.08352	Roshinta, 2016
5	Palem	Arecaceae	52.52	Suryaningsih, 2015
6	Kamboja	Plumeria acuminata	220	Suryaningsih, 2015
7	Pohon Kelengkeng	Dimocarpus L	24.7776	Sa'edah, 2018
8	Pohon Tabebuia	Tabebuia rosea	206.7648	Roshinta, 2016
9	Jambu	Eugenia aquea	24.09408	Sa'edah, 2018

EF = Faktor Emisi

NCV = Net Calorific value

Rumus diatas merupakan rumus untuk perhitungan produksi Emisi CO₂ Primer pada konsumsi bahan bakar. dapun, hal lain yang dijadikan input dalam analisis ini adalah nilai NCV dan Faktor Emisi dari tiap bahan bakar yang dimana dapat dilihat pada tabel 1.

Lalu untuk perhitungan Emisi CO₂ yang berasal dari respirasi manusia, digunakan rumus ini :

$$\text{Total emisi CO}_2 \text{ (kg/tahun)} = n \times EF \tag{2}$$

Keterangan:

n : jumlah penduduk (jiwa)

EF : faktor emisi (asumsi per tahun)

Respirasi manusia faktor emisi diperoleh dari penghasilan karbon dioksida 39,6 g dalam satu jam atau setara dengan 0,9504 kg dalam satu hari dan 0,347 ton/tahun[5]. Sehingga pada tahap ini, faktor emisi disamakan.

Lalu untuk menghitung daya serap Ruang Terbuka Hijau (RTH) di tiap unit rumah, acuan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2[6] dan tabel 3.

Kemampuan tanaman dalam menyerap gas karbon dioksida bermacam-macam[6]. Ketentuan daya serap

berdasarkan jenis tanaman ini bisa digunakan dalam menentukan banyaknya serapan yang bisa dilakukan oleh RTH Privat dan RTH Publik. Pada RTH Privat prosedur yang dilakukan adalah dengan mengambil sampel dari tiap grid mengenai luas dan jenis taman privatnya, yang dimana akan diasumsikan sama pada persil rumah lain dalam grid tersebut. Namun untuk RTH Publik, data yang diambil langsung dari Grid yang dimana sudah ada ketentuan berapa hektar RTH Publik dalam satu grid, sehingga tinggal dikonversi menggunakan ketentuan Tabel 2 saja.

C. Mempelokan secara Spasial Produksi dan Serapan Emisi CO₂ Primer pada Sektor Perumahan di Kecamatan Sukomanunggal, Surabaya

Untuk mempolokan hasil dari analisis perhitungan emisi CO₂ Primer pada Sektor Perumahan, analisis yang digunakan adalah dengan menggunakan media GIS (Geographic Information System). GIS merupakan sebuah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi geografis. Sistem ini dirancang untuk mendata fenomena-fenomena geografis yang seringkali output akhirnya adalah sebuah pemetaan[7]. Adapun pada penelitian ini, yang dapat dilakukan untuk mencapai sasaran ketiga ada beberapa tahap, berikut adalah tapannya :

1) Membagi wilayah penelitian kedalam grid

Pada tahap ini, pemetaan produksi dan serapan Emisi CO₂ Primer pada sektor Perumahan menggunakan pemetaan berbasis grid. Pemetaan emisi merupakan inventarisasi data yang harus disajikan dalam perpetaan grid[8]. Hasil studi dari KEMENLH ada dua kondisi wilayah yang menjadi acuan dalam tahapan inventarisasi emisi CO₂.

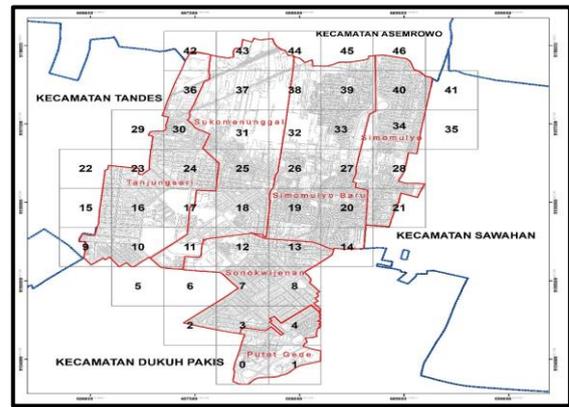
- a. Wilayah dengan luas lebih dari 300 km² menggunakan grid berukuran 1 x 1 km
- b. Wilayah dengan luas kurang dari 300 km² menggunakan grid dengan ukuran 0,5 x 0,5 km

Pada penelitian ini, grid yang digunakan adalah grid berukuran 0,5 km x 0,5 km, yang dimana dapat dilihat pada Gambar 1. Didalam grid menurut KEMENLH, akan diasumsikan ukuran grid yang lebih kecil yang mewakili luas rumah rata rata responden yang dimana akan menjadi penentu nilai grid yang lebih besar. Tahap ini menggunakan tools Create Fishnet dalam media GIS-nya. Dalam tools Create Fishnet adalah untuk membagi wilayah kedalam Grid yang sesuai dengan kebutuhan, sehingga pada penelitian ini ukuran grid yang digunakan adalah 500 meter x 500 meter.

2) Memetakan berdasarkan hasil perhitungan produksi Emisi CO₂ dan juga serapan dari RTH.

Pada tahap ini, nilai dari tiap grid diisi sesuai dengan hasil perhitungan rata-rata emisi CO₂ di Sektor Perumahan. dari satu grid memiliki jumlah total estimasi produksi dan serapan Emisi CO₂ dari seluruh persil bangunan permukiman yang terdapat didalam grid. Sampel yang diambil dari tiap grid merupakan asumsi bagi seluruh persil rumah yang ada didalam grid sesuai dengan tipe rumahnya, sehingga diperoleh data satu grid yang diambil dari data seluruh unit rumah didalam grid tersebut. Untuk ilustrasi asumsi, bisa dilihat pada Gambar 2.

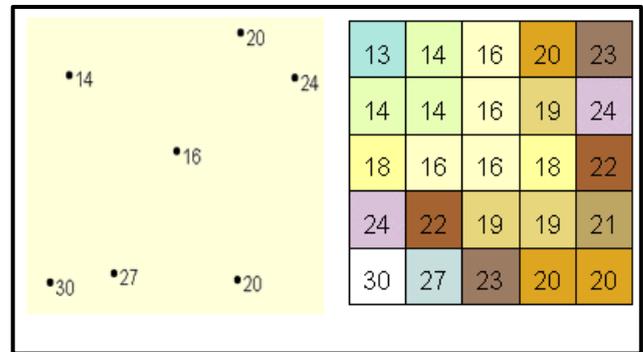
Untuk nilai daya serap tersendiri tergantung kepada jenis dan luas dari RTH Privat tersebut, dan diasumsikan juga



Gambar 1. Peta Kecamatan Sukomanunggal dalam bentuk Grid dengan menggunakan software ArcMap 10.4



Gambar 2. Ilustrasi Sampling



Gambar 3. Ilustrasi Konsep Interpolation dalam software ArcMap 10.4

keseluruh persil dalam satu grid. Sehingga nilai produksi dan serapan emisi CO₂ dari tiap grid dijumlahkan dari seluruh persil yang ada didalam grid, lalu titik tengah dari grid dijadikan titik (point) untuk proses berikutnya. Titik yang berisi nilai ini nantinya akan dianalisa dengan tools Interpolation. Yang dimana fungsi tools ini adalah mendapatkan data di beberapa titik yang tidak ada berdasarkan beberapa data yang telah diketahui di beberapa titik.

Adapun ilustrasi dari konsep dasar Interpolasi dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun dengan banyaknya jenis interpolasi yang digunakan, ada 3 jenis interpolasi yang dijadikan acuan, yakni IDW (Inverse Distance Weighting), Kriging, dan RBF (Radial Basis Function). Nantinya dari ketiga metode Interpolasi tersebut, akan dibandingkan kedekatan nilai

Tabel 5.
Hasil Estimasi Jumlah Produksi dan Serapan Emisi CO₂ berdasarkan Grid Peta

Grid	Produksi Emisi CO ₂ (ton per tahun)	Serapan RTH Privat (ton per tahun)	Serapan RTH Publik (ton per tahun)
0	910.109746	8.962998	124.551409
1	139.704357		140.95556
2	443.595122	1.339334	51.693845
3	1201.455343	105.659205	279.318577
4	2327.903442	205.280799	405.816669
5			1.444637
6	27.611301	2.346944	88.949476
7	1905.156061	0.806481	275.885746
8	1265.488015	110.121879	328.709051
9	552.904283	87.757304	199.232167
10	840.750948	135.893609	588.683947
11	364.45716	56.820809	835.893767
12	976.217979		439.101609
13	2418.855518	55.644593	311.712263
14	1095.547086		192.987164
15	572.671188		64.790838
16	1032.00372	36.507096	452.168122
17	294.620334		941.602282
18	1706.67889		326.740869
19	3966.517209	51.476863	296.841215
20	5381.514424		287.30353
21	1528.404176		148.576913
22	166.208964	26.094921	25.709715
23	734.588965	155.565876	314.245524
24	1293.03688		312.069903
25	3419.754496		316.765238
26	1546.37586		397.120487
27	2647.488273	295.071886	266.390557
28	3449.854854	63.928259	293.155326
29	194.041552	28.114074	41.730414
30	2730.061703	55.412966	348.248671
31	447.142362		718.32123
32	325.482999	24.860989	946.090513
33	2498.913289	196.224238	257.126352
34	2562.870899	50.165925	191.017583
35			
36	382.144867	0.259226	483.945976
37	516.274061	1.935732	505.310058
38	1066.931968		658.251264
39	3549.872377	583.187995	255.210264
40	2212.402143	621.965777	237.935943
41	274.685224		6.867307
42	13.624354	0.019202	297.632773
43	384.450402	0.40084	1040.385689
44	354.230058		223.499923
45	253.444486	16.426011	138.407964
46	608.963473	17.75785	58.794661

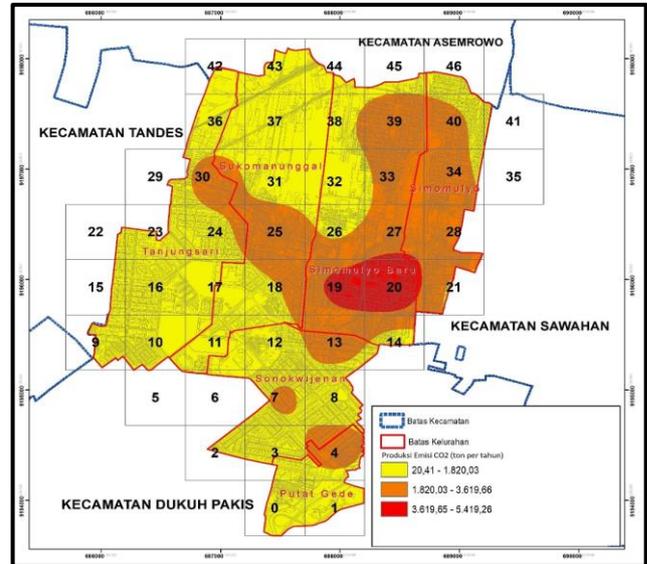
analisa dari Interpolasi. Adapun pada Produksi Emisi CO₂, memiliki nilai minimum sebesar 13,62 ton emisi per tahun dan nilai maksimum sebesar 5381,51 ton emisi per tahun. Untuk Serapan Emisi CO₂ dari RTH Privat memiliki nilai minimum 0,019 ton serapan emisi per tahun dan nilai maksimum 621,97 ton serapan emisi per tahun. Dan yang terakhir pada serapan RTH Publik memiliki nilai minimum 1,44 ton serapan emisi per tahun dan nilai maksimum sebesar 1040,39 ton serapan emisi per tahun.

D. Mempolakan secara Spasial Produksi dan Serapan Emisi CO₂ Primer pada Sektor Perumahan di Kecamatan Sukomanunggal, Surabaya

Dengan adanya data per grid. Maka dilakukan analisa Interpolasi guna mengetahui radius dari kadar emisi dari hasil output tahap sebelumnya. Hasil dari ketiga jenis interpolasi dari ketiga indikator, nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan manual IPCC dan dilihat angka *Root Mean Square* paling kecil. Berikut adalah hasil analisa interpolasi

Tabel 6.
Tabel Nilai Maksimum – Minimum dan R Mean Square Produksi Emisi CO₂ berdasarkan sumber perolehan nilai

Nilai	Jenis			Perhitungan IPCC
	Interpolasi	IDW (ton/tahun)	Kriging (ton/tahun)	
Minimum		17,76	240,31	20,41
Maksimum		5379,83	3240,87	5419,26
<i>R Mean Square</i>		1064,85	1003,83	1004,99



Gambar 6. Hasil Analisa Interpolasi RBF pada Produksi Emisi CO₂ dengan menggunakan software ArcMap 10.4

dari ketiga indikator :

4) Produksi Emisi CO₂

Berdasarkan hasil analisis, kemiripan antara nilai Minimum – Maksimum ada pada metode analisis IDW, namun tingkat *R Mean Square* yang paling kecil adalah metode analisis Kriging. Sehingga yang memiliki kemiripan dari Nilai Minimum – Maksimum dan *R Mean Square*, adalah analisis interpolasi dengan metode RBF. Ini dapat dilihat di Tabel 6.

Dari hasil analisa interpolasi RBF, dapat dilihat bahwa produksi emisi terbesar terdapat pada Grid 19 dan Grid 20. Dengan karakteristik dari RTH privat yang terdapat pada daerah ini masuk pada *range* yang mampu menyerap 0,00925 – 206,94 ton per tahun, dari RTH Publik pada *range* mampu menyerap 41,62 – 379,35 ton per tahun. Namun produksi emisi pada grid tersebut adalah 3619,65 – 5419,26. Sehingga terdapat perbedaan yang signifikan. Pada grid ini memiliki karakteristik yakni sebagai permukiman padat yang dimana memiliki jumlah unit rumah sebanyak 770 unit pada Grid 19 dan 792 unit pada Grid 20 yang dimana masih minim RTH Publik dan RTH Privat. Selain itu pada wilayah ini hampir semua jenis bahan bakar rumah tangga digunakan, dan juga banyaknya kepemilikan kendaraan yang lebih dari 1. Sehingga penumpukan produksi emisi CO₂ terletak pada Grid ini. Untuk hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 6.

1) Serapan Emisi CO₂ dari RTH Privat

Berdasarkan hasil analisis nilai minimum – maksimum yang mendekati dengan nilai kemiripan perhitungan IPCC adalah IDW. Lalu untuk analisis dengan nilai *R Mean Square*

Tabel 7.

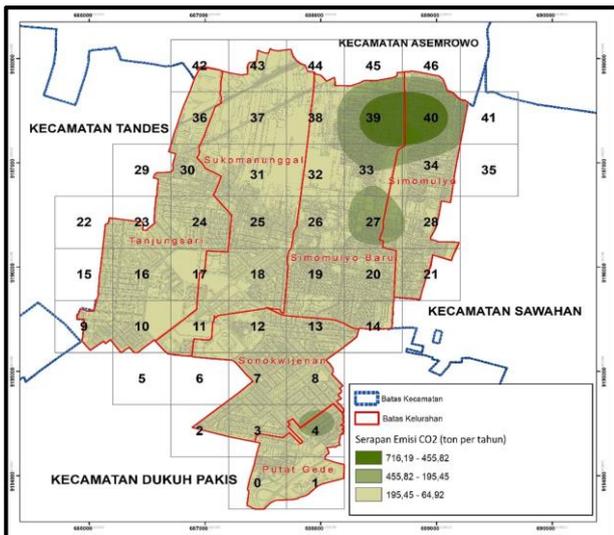
Tabel Nilai Maksimum – Minimum dan R Mean Square Serapan Emisi CO₂ dari RTH Privat berdasarkan sumber perolehan nilai

Nilai	Jenis Interpolasi	IDW (ton/tahun)	Kriging (ton/tahun)	Radial Basis Function (ton/tahun)	Perhitungan IPCC
Minimum		0,00925	0,23	64,92	0.019202
Maksimum		620,8	455,49	716,19	621.9658
R Mean Square		126,94	127,56	114,73	-

Tabel 8

Tabel Nilai Maksimum – Minimum dan R Mean Square Serapan Emisi CO₂ dari RTH Publik berdasarkan sumber perolehan nilai

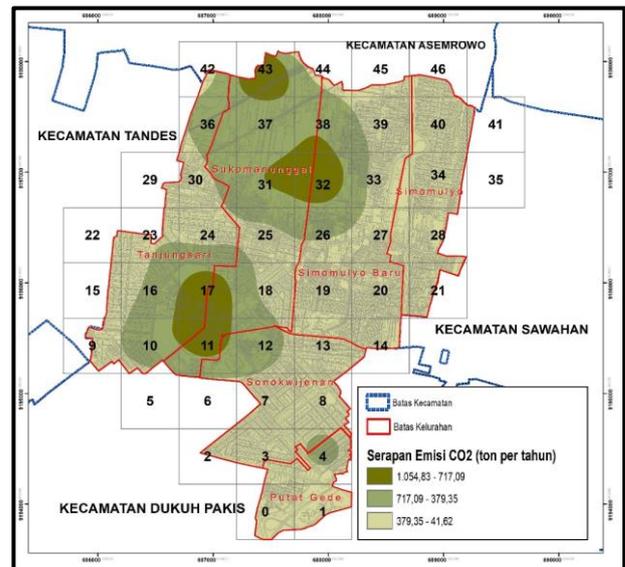
Nilai	Jenis Interpolasi	IDW (ton/tahun)	Kriging (ton/tahun)	Radial Basis Function (ton/tahun)	Perhitungan IPCC
Minimum		0,00925	0,23	64,92	0.019202
Maksimum		620,8	455,49	716,19	621.9658
R Mean Square		126,94	127,56	114,73	-



Gambar 7. Hasil Analisa Interpolasi RBF pada Serapan Emisi CO₂ dari RTH Privat dengan menggunakan software ArcMap 10.4

terkecil adalah analisis RBF. Lalu kriging memiliki kedua nilai yang tidak optimal dalam kemiripan Nilai Minimum – Maksimum dan nilai R Mean Square-nya. Sehingga pada tahap ini, peta yang dipilih tetaplah dengan metode RBF. Ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada hasil analisa, serapan terbesar terdapat pada Grid 39 dan Grid 40. Pada grid tersebut berkarakteristik sebagai perumahan dengan tipe menengah yang memiliki beberapa pekarangan pada rumah rumahnya yang dimana memiliki daya serap 455,82 – 716,19 ton emisi per tahun, namun produksi emisi pada wilayah Grid tersebut adalah 1820,03 – 3619,65 ton emisi per tahun. Jumlah unit rumah menengah pada Grid 39 adalah sebanyak 748 dan 643 unit pada Grid 40. Sehingga kontribusi RTH Privat terhadap serapan emisi masih terbilang kecil dibandingkan dengan jumlah produksi



Gambar 8. Hasil Analisa Interpolasi RBF pada Serapan Emisi CO₂ dari RTH Publik dengan menggunakan software ArcMap 10.4

emisi pada wilayah tersebut. Untuk hasil analisa RBF pada data serapan RTH Privat dapat dilihat pada Gambar 7.

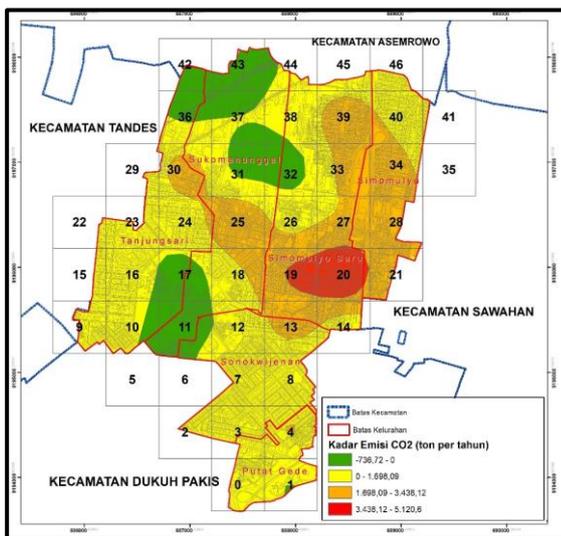
2) Serapan Emisi CO₂ dari RTH Publik

Berdasarkan hasil analisis, dapat dilihat bahwa kemiripan antara nilai Minimum – Maksimum ada pada metode analisis IDW, namun tingkat R Mean Square yang paling kecil adalah metode analisis Kriging. Sehingga yang memiliki kemiripan dari Nilai Minimum – Maksimum dan R Mean Square, adalah analisis interpolasi dengan metode RBF. Ini dapat dilihat pada Tabel 8.

Serapan terbesar terdapat pada lahan RTH Publik sebesar 35 hektar yang dimana mampu menyerap emisi sebesar 1777,496 ton per tahun. Yang dimana pada daerah tersebut memiliki produksi emisi CO₂ sebesar 659,08 ton per tahun. Ini terletak pada Grid 11 dan Grid 17. Karakteristik pada grid ini adalah perumahan dengan dominan rumah menengah dengan RTH publik yang mencukupi untuk menyerap emisi di sekitarnya. Adapun jumlah unit rumah menengah pada Grid 17 adalah sebanyak 50 unit rumah menengah dan pada Grid 11 ada sebanyak 79 unit rumah menengah. Berikut adalah data serapan RTH Publik yang dianalisa dengan interpolasi RBF yang dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari hasil tersebut, maka ketiga peta akan diinput kedalam tools raster calculator untuk mendapatkan analisa kebutuhan ruang hijaunya. Adapun hasil yang ditemukan dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari peta yang ada, dapat dilihat bahwa produksi emisi CO₂ terbesar terdapat di grid 19 dan grid 20. Lalu untuk daerah yang memiliki surplus Ruang Terbuka Hijau adalah pada grid 17, grid 11, grid 31, grid 32, grid 56, grid 37, grid 42, dan grid 43. Yang dimana daerah daerah tersebut memiliki Ruang Terbuka Hijau yang melebihi permukiman. Adapun emisi terbesar yang dihasilkan tanpa mempertimbangkan RTH yakni memiliki skala 3592 ton



Gambar 9. Hasil Analisa Raster Calculator pada ketiga indikator peta RBF dengan menggunakan software ArcMap 10.4

hingga 5379 ton per tahun. Pada hasil analisis ini daerah yang memiliki produksi emisi CO₂ terbanyak adalah daerah yang memiliki kepadatan bangunan rumah yang sangat padat. Meskipun daerah tersebut dominan dengan rumah bertipe sederhana, justru emisi yang dihasilkan adalah yang paling banyak. Ini dikarenakan jumlah Ruang Terbuka Hijau Publik yang minim di daerah tersebut, yang dimana adalah berjumlah 11,08 hektar, dengan komposisi RTH Publik tersebut yang masuk kedalam kategori yang mampu menyerap 64,92 – 195,45 ton per tahun. Sehingga masih diperlukan pengurangan emisi sebesar 300 - 448 hektar rerumputan atau 6,3 – 9,5 hektar pepohonan.

Namun berbanding terbalik pada perumahan yang dominan dengan rumah bertipe mewah. Pada perumahan ini terdapat pada grid No 11 dan 17. Pada grid ini, RTH Publik memiliki kontribusi paling besar dalam serapan emisi CO₂. Pada perumahan ini terdapat RTH Publik sebesar 35 hektar. Dan juga dengan komposisi tersebut, RTH Publik tersebut mampu menyerap emisi sebesar 1777,496 ton per tahun. Yang dimana pada daerah tersebut memiliki produksi emisi CO₂ sebesar 659,08 ton per tahun. Sehingga terjadi surplus RTH.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini, terdapat empat kesimpulan yang dapat diperoleh dari, yakni adalah :

- Pada hasil analisis sasaran pertama, dapat diketahui bahwa variabel Tipe Rumah, Respirasi Manusia, Konsumsi LPG, Konsumsi Gas Alam, Konsumsi Kayu Bakar, Konsumsi Arang, Konsumsi Bensin untuk Kendaraan Pribadi, Konsumsi Solar, Konsumsi Minyak Tanah, Konsumsi Bensin untuk Genset, RTH Privat, dan RTH Publik memiliki pengaruh terhadap Produksi dan Serapan Emisi CO₂ Primer pada Sektor Permukiman di Kecamatan Sukomanunggal
- Pada Pola Spasial yang dihasilkan dari data *output* sasaran tiga, diketahui bahwa total produksi tertinggi adalah daerah permukiman dengan

dominan tipe rumah sederhana yang memiliki tingkat RTH yang minim. Ini terletak pada Grid 19 dan Grid 20. Dengan karakteristik dari RTH privat yang terdapat pada daerah ini masuk pada *range* yang mampu menyerap 0,00925 – 206,94 ton per tahun, dari RTH Publik pada *range* mampu menyerap 41,62 – 379,35 ton per tahun. Namun produksi emisi pada grid tersebut adalah 3619,65 – 5419,26.

- Pola Serapan RTH Privat dimana Maksimal RTH Privat menyerap sebesar 455,82 – 716,19 ton emisi per tahun. Sehingga bisa dilihat kontribusi RTH Privat dalam penyerapan tergolong kecil. Ini terletak pada Grid 39 dan Grid 40. Grid ini memiliki karakteristik sebagai perumahan menengah dengan rumah rumah yang memiliki taman di halamannya.
- Serapan terbesar terdapat pada lahan RTH Publik sebesar 35 hektar yang dimana mampu menyerap emisi sebesar 1777,496 ton per tahun. Yang dimana pada daerah tersebut memiliki produksi emisi CO₂ sebesar 659,08 ton per tahun. Ini terletak pada Grid 11 dan Grid 17. Grid ini memiliki karakteristik sebagai perumahan bertipe menengah yang memiliki banyak taman publik sehingga mampu menyerap produksi emisi yang dihasilkan dari rumah rumah yang terdapat pada sekitarnya.

B. Saran

Berdasarkan hasil temuan dari penelitian ini, maka peneliti dapat memberi rekomendasi sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lanjutan untuk membahas tentang produksi emisi CO₂ dari *landuse* lainnya.
2. Hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai *input* dalam penentuan lokasi penambahan RTH baru. Adapun dengan penelitian ini, bisa menjadi pertimbangan dalam realisasi kebijakan *roof garden* dan realisasi syarat minimal RTH Privat di tiap rumah sesuai dengan PERMEN PU No. 05/PRT/M/2008 guna mengurangi kadar Emisi CO₂ yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Buchholz and others, *Principles of environmental management: The greening of business.*, no. Ed. 2. Prentice-Hall Inc., 1998.
- [2] J. R. VandeWeghe and C. Kennedy, "A spatial analysis of residential greenhouse gas emissions in the Toronto census metropolitan area," *J. Ind. Ecol.*, vol. 11, no. 2, pp. 133–144, 2007.
- [3] M. Lesiv, R. Bun, N. Shpak, O. Danylo, and P. Topylko, "Spatial analysis of GHG emissions in eastern polish regions: energy production and residential sector," *ECONTECHMOD An Int. Q. J. Econ. Technol. Model. Process.*, vol. 1, pp. 17–23, 2012.
- [4] O. Danylo and B. Lyubinsky, "Spatial modeling of greenhouse gas emissions from burning biomass in the residential sector in Volyn region," 2013.
- [5] A. T. Sutanhaji, F. Anugroho, and P. G. Ramadhina, "Pemetaan Distribusi Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kota Blitar," *J. Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, 2018.
- [6] R. S. Tinambunan, "Analisis kebutuhan ruang terbuka hijau di Kota Pekanbaru," *Pascasarjana. Bogor Inst. Pertan. Bogor*, 2006.
- [7] M. J. Bunch, T. V. Kumaran, and R. Joseph, "Using Geographic Information Systems (GIS) for spatial planning and environmental

- management in India: critical considerations," *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, 2012.
- [8] K. L. Hidup, "Pedoman teknis penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan," *Jakarta Asdep Pengendali. Pencemaran Udar. Sumber Berger. Deputi Bid. Pengendali. Pencemaran Lingkung. Kementeri. Lingkung. Hidup Pencemaran Udar. di Daerah. Jakarta*, 2013.