

**ANALISIS ESTIMASI KEMAMPUAN DAYA SERAP EMISI KARBON
DIOKSIDA (CO₂) BERDASARKAN BIOMASSA HIJAU
MELALUI PEMANFAATAN CITRA ALOS AVNIR-2
(KASUS DI KOTA SURAKARTA)**

PUBLIKASI ILMIAH

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1
Fakultas Geografi



Diajukan Oleh

Nur Azis Widodo

NIM : E100120006

Kepada

**FAKULTAS GEOGRAFI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
SURAKARTA**

2014

HALAMAN PENGESAHAN
PUBLIKASI ILMIAH

ANALISIS ESTIMASI KEMAMPUAN DAYA SERAP EMISI KARBON
DIOKSIDA (CO₂) BERDASARKAN BIOMASSA HIJAU
MELALUI PEMANFAATAN CITRA ALOS AVNIR-2
(KASUS DI KOTA SURAKARTA)

NUR AZIS WIDODO

NIM : E100120006

Telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat oleh
Team Pembimbing :

Pembimbing I : Drs. H. Yuli Priyana, M.Si.

Pembimbing II : Jumadi, S.Si., M.Sc.

Tanda Tangan

(.....)
(.....)

Surakarta, Februari 2014

Dekan Fakultas Geografi


Drs. Priyono, M.Si.

**ANALISIS ESTIMASI KEMAMPUAN DAYA SERAP EMISI KARBON
DIOKSIDA (CO₂) BERDASARKAN BIOMASSA HIJAU
MELALUI PEMANFAATAN CITRA ALOS AVNIR-2
(KASUS DI KOTA SURAKARTA)**

***Analysis Estimation of Absorption Ability Carbon Dioxide Emissions (CO₂)
Based on the Green Biomass Through the Use of ALOS AVNIR-2 Imagery
(Case in Surakarta City)***

by

Nur Azis Widodo¹, Yuli Priyana² dan Jumadi³

¹Mahasiswa Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta

^{2, 3}Dosen Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Surakarta 57102

e-mail : nuraziswido@gmail.com

ABSTRACT

This research was conducted in the city of Surakarta. The objectives of this research were (1) to assess the ability of ALOS AVNIR-2 image for mapping vegetation index using vegetation index transformation (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI, (2) estimating the spatial distribution of green biomass by calculating the linear regression equation between vegetation index (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI and content ground biomass, (3) estimating the absorption ability of carbon dioxide emissions (CO₂) by green biomass through conversion value of green biomass using photosynthesis equation and (4) analyze the relationship between green biomass and the ability of absorption of carbon dioxide emissions (CO₂). The method used in this study is the use of remote sensing NDVI vegetation index transformation with image analysis on a per pixel level. Geographic information system is used to assist the processing and presentation of data, especially in the form of a map. The calculation is done with the content of the biomass field approach by George W. Cox (1976) in Siwi (2012) and the assumptions used by Owen (1974) in Yamamoto (1983) in Siwi (2012). The sampling technique used in this study is purposive sampling method based on three classes of vegetation density. Content of green biomass estimation is done using a mathematical equation model of the statistical analysis of linear regression between NDVI values of vegetation indices and biomass content of the field while the ability to estimate the absorption of carbon dioxide emissions is done by converting the content of green biomass by photosynthesis equation. The results of the research that has been conducted shows that the image of ALOS AVNIR-2 can be used for mapping the vegetation index NDVI class with a classification accuracy of 88.5%. Spatial distribution of green biomass estimation results based on the regression equation $Y = 57.001 X - 7.946$ indicates that in Surakarta obtained green biomass content of 197,973.10 kg. Based on the results of conversion using the equation of photosynthesis is known that the absorption ability of carbon dioxide emissions in Surakarta was 291,020.46 kg. Based on the results of correlation analysis showed that green biomass and absorption ability of carbon dioxide emission level of closeness have a very strong relationship with a correlation coefficient of $r = 1$ a positive correlation with the direction and the direction in which the amount of green biomass will be followed by the amount of absorption ability of carbon emissions dioxide produced.

Keywords: Image ALOS AVNIR-2, Green Biomass, Ability Absorption of Carbon Dioxide Emissions (CO₂)

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Surakarta. Tujuan penelitian ini adalah (1) mengkaji kemampuan Citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan indeks vegetasi menggunakan transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI, (2) mengestimasi distribusi agihan biomassa hijau berdasarkan perhitungan persamaan regresi linier antara nilai indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI dan kandungan biomassa lapangan, (3) mengestimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) berdasarkan biomassa hijau melalui konversi nilai biomassa hijau menggunakan persamaan reaksi fotosintesis serta (4) menganalisis keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penginderaan jauh menggunakan transformasi indeks vegetasi NDVI dengan analisis citra pada tingkat per piksel. Sistem informasi geografis digunakan untuk membantu pengolahan dan penyajian data terutama dalam bentuk peta. Perhitungan kandungan biomassa lapangan dilakukan dengan pendekatan oleh George W. Cox (1976) dalam Siwi (2012) dan asumsi yang digunakan oleh Owen (1974) dalam Yamamoto (1983) dalam Siwi (2012). Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan metode pengambilan sampel secara purposif berdasarkan tiga kelas kerapatan vegetasi. Estimasi kandungan biomassa hijau dilakukan dengan menggunakan model persamaan matematis hasil analisis statistik regresi linier antara nilai indeks vegetasi NDVI dan kandungan biomassa lapangan sedangkan untuk estimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida dilakukan dengan konversi kandungan biomassa hijau berdasarkan persamaan reaksi fotosintesis. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa Citra ALOS AVNIR-2 dapat digunakan untuk pemetaan kelas indeks vegetasi NDVI dengan ketelitian klasifikasi sebesar 88,5 %. Hasil estimasi agihan biomassa hijau berdasarkan persamaan regresi $Y = 57,001X - 7,946$ menunjukkan bahwa di Kota Surakarta diperoleh kandungan biomassa hijau sebesar 197.973,10 kg. Berdasarkan hasil konversi menggunakan persamaan reaksi fotosintesis diketahui bahwa kemampuan daya serap emisi karbon dioksida di Kota Surakarta sebesar 291.020,46 kg. Berdasarkan hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida mempunyai tingkat keeratan hubungan yang sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi $r = 1$ dengan arah korelasi yang positif dan searah dimana besarnya biomassa hijau akan diikuti pula dengan besarnya kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan.

Kata kunci : Citra ALOS AVNIR-2, Biomassa Hijau, Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

PENDAHULUAN

Terjadinya perubahan iklim di Indonesia tidak terlepas dari pengaruh semua kegiatan manusia baik di bidang ekonomi, industri, transportasi serta dukungan dari beberapa unsur alami. Hal ini menunjukkan bahwa dari berbagai kegiatan yang dilakukan tersebut maka akan membawa dampak pada kondisi iklim yang ada baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak tersebut tidak lain adalah dihasilkannya beberapa macam gas utama yang disebut

dengan istilah gas rumah kaca (BMKG, 2012). Berkaitan dengan perubahan iklim maka yang menjadi pemicu munculnya peristiwa tersebut adalah terbentuknya gas rumah kaca. Menurut Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) terdapat 6 jenis gas yang dikelompokkan sebagai gas rumah kaca (GRK) yang diantaranya ialah Karbon Dioksida (CO₂), Dinitroksida (N₂O),

Metana (CH₄), Sulfurheksafluorida (SF₆), Perfluorokarbon (PFCs) dan Hidrofluorokarbon (HFCs) (Trismidianto dkk, 2008). Upaya penanggulangan untuk mencegah meluasnya dampak dari pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim yaitu salah satunya dengan dihasilkannya suatu kesepakatan bersama secara internasional yang tertuang dalam Protokol Kyoto. Berdasarkan hasil kesepakatan tersebut disebutkan bahwa negara-negara industri di beberapa negara maju diwajibkan untuk melakukan proses penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) dengan rata-rata sebesar 5,2 % dari tingkat emisi tahun 1990 pada periode tahun 2008-2012. Selain Protokol Kyoto, upaya penurunan emisi lainnya dapat ditempuh diantaranya melalui proses perdagangan karbon, implementasi bersama dan mekanisme pembangunan bersih yang bersifat ramah lingkungan. Menurut Informasi yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dalam *Indonesia Second National Communication* Tahun 2010 menyebutkan bahwa pada tahun 2000, total emisi gas rumah kaca untuk tiga gas rumah kaca utama yaitu CO₂, CH₄ dan N₂O tanpa penggunaan lahan dan perubahan tata guna lahan dan kehutanan yang mencapai 556.728,78 Gg CO₂e. Dengan adanya inklusi (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) LULUCF, total berat bersih emisi gas rumah kaca dari Indonesia meningkat secara signifikan sekitar 1.377.982,95 Gg CO₂e. Adanya gas rumah kaca dapat dijumpai di daerah perkotaan yang mana memungkinkan terjadinya perubahan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan. Selain itu, gas rumah kaca yang merupakan jenis gas polutan dapat dikurangi jumlahnya dengan memanfaatkan fungsi ruang terbuka hijau (RTH) yang berada di

daerah kota. Pembangunan di daerah perkotaan sekarang ini cenderung mengarah pada pengurangan keberadaan ruang terbuka hijau. Lahan-lahan yang tersedia justru banyak diubah fungsinya menjadi permukiman, pusat perdagangan dan pertokoan, tempat rekreasi, pusat industri dan lain sebagainya. Akibatnya yang terjadi adalah wilayah perkotaan yang mengalami kemajuan secara perekonomian akan tetapi mengalami kemunduran secara ekologi. Kondisi tersebut akan berimbas pada tidak seimbangnya ekosistem wilayah perkotaan. Akibatnya ialah munculnya berbagai macam permasalahan lingkungan diantaranya ialah pencemaran udara seperti meningkatnya gas-gas rumah kaca di udara, terciptanya suasana yang gersang, timbulnya kebisingan serta meningkatnya suhu udara perkotaan. Menurut Sumarwoto (2002) dalam Siwi (2012) menjelaskan bahwa terdesaknya kawasan hijau alamiah yang berada di tengah perkembangan kota yang pesat akan berdampak pada berubahnya unsur lingkungan yang biasa disebut dengan iklim mikro. Pesatnya pertumbuhan ekonomi perkotaan umumnya juga disertai dengan semakin padatnya lalu lintas di bidang transportasi. Hal ini mendorong banyaknya mobilitas kendaraan yang melintas baik dari yang menuju dalam maupun luar kota. Terdapatnya aktivitas kendaraan yang padat secara bersamaan juga turut memproduksi emisi gas buang sehingga menambah buruk kondisi kualitas udara serta berdampak pada menurunnya kualitas lingkungan perkotaan dan juga rasa kenyamanan manusia yang tinggal di daerah tersebut. Surakarta merupakan salah satu kota besar di Jawa Tengah yang sedang berkembang menuju kota yang lebih maju dan modern. Perkembangan kota tersebut menunjukkan tingginya pertumbuhan fisik kota dan juga fasilitas-

fasilitas perkotaan yang terus dibangun. Di sisi lain, ketersediaan lahan yang ada menjadi semakin terbatas seiring dengan besarnya alih fungsi lahan yang terjadi, khususnya konversi dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian terutama untuk lahan permukiman serta perdagangan dan jasa. Penggunaan lahan permukiman di Kota Surakarta selama kurun waktu lima tahun terakhir mulai dari tahun 2007 hingga tahun 2011 berdasarkan data Surakarta Dalam Angka 2011 mengalami peningkatan luas menjadi sebesar 124,77 ha. Menurut Kepala Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup (PKLH) Badan Lingkungan Hidup (BLH) Pemerintah Kota Surakarta menyebutkan bahwa luas RTH yang sebelumnya hanya mencapai 11,9%, tetapi setelah ada penambahan ruang dari bantaran sungai, yang kemudian dapat mencapai 12,2%. Sementara itu, menurut perundangan yang berlaku, kebutuhan ruang terbuka hijau harus mencakup 30% dari luas daerah yang ada. Karbon dioksida (CO_2) merupakan salah satu emisi gas buang yang berbahaya bagi manusia dan juga lingkungan. Keberadaan jumlah gas tersebut terutama di daerah kota tidak sedikit. Oleh karena itu, untuk menekan jumlah gas polutan tersebut yaitu dengan memanfaatkan fungsi dari ruang terbuka hijau secara optimal. Setiap jenis dari ruang terbuka hijau memiliki kemampuan menyerap karbon dioksida yang berbeda-beda dan kemampuan daya serap karbon dioksida juga dapat diketahui dengan metode yang tidak sama. Data penginderaan jauh sampai sekarang ini telah banyak dimanfaatkan oleh berbagai pihak yang mana salah satunya dapat digunakan untuk memantau kondisi sumber daya alam di bumi. Pemanfaatan data tersebut sebelumnya telah dilakukan oleh (Rushayati, dkk, 2011) untuk

pengembangan ruang terbuka hijau di Kota Bandung dengan estimasi melalui transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI dan estimasi berdasarkan suhu permukaan dengan menggunakan Citra Landsat ETM+. Penelitian yang mengkaji tentang pengembangan ruang terbuka hijau di Kota Surakarta sendiri sebelumnya telah dilakukan oleh Ohira (2012) dengan menggunakan Citra ALOS AVNIR-2. Teknik analisis yang digunakan yaitu melalui klasifikasi multispektral dengan metode terbimbing yaitu maximum likelihood untuk mendapatkan luasan ruang terbuka hijau. Penelitian tersebut yang menjadi berbeda karena dalam perhitungan kebutuhan gas selain karbon dioksida (CO_2) yaitu oksigen (O_2) melalui pendekatan metode Gerrarkis adalah untuk menghitung kebutuhan ruang terbuka hijau. Citra ALOS AVNIR-2 merupakan salah satu produk dari data penginderaan jauh hasil dari perekaman satelit yang mana dapat diaplikasikan untuk memantau kondisi sumber daya alam. Berbekal dengan empat saluran dan kemampuan resolusi spasial sebesar 10 meter maka dapat menjadi salah satu alternatif pilihan. Alternatif tersebut ialah dengan memanfaatkan kemampuan citra tersebut dalam mendeteksi keberadaan biomassa hijau berdasarkan transformasi indeks vegetasi. Biomassa merupakan bagian dari tumbuhan yang mana memiliki kemampuan untuk menyerap gas berbahaya khususnya karbon dioksida (CO_2). Melalui konsep proses persamaan reaksi kimia fotosintesis pada vegetasi maka dapat dikonversi menjadi kandungan biomassa untuk kemudian diperoleh kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO_2) berdasarkan massa karbon dioksida (CO_2). Berdasarkan uraian yang telah disampaikan tersebut maka penulis mengambil penelitian

dengan judul “Analisis Estimasi Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Berdasarkan Biomassa Hijau Melalui Pemanfaatan Citra ALOS AVNIR-2, Kasus Di Kota Surakarta”. Penelitian ini bertujuan (1) Mengkaji kemampuan Citra ALOS AVNIR-2 untuk pemetaan indeks vegetasi menggunakan transformasi indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI, (2) Mengestimasi distribusi agihan biomassa hijau berdasarkan perhitungan persamaan regresi linier antara nilai indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI dan kandungan biomassa lapangan, (3) Mengestimasi kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) berdasarkan biomassa hijau melalui konversi nilai biomassa hijau menggunakan persamaan reaksi fotosintesis, (4) Menganalisis keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penginderaan jauh menggunakan transformasi indeks vegetasi NDVI dengan analisis citra pada tingkat per piksel berdasarkan citra satelit resolusi menengah. Sistem informasi geografis digunakan untuk membantu pengolahan dan penyajian data terutama dalam bentuk peta. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra ALOS AVNIR-2 Perekaman 22 Juli Tahun 2010. Peta Rupabumi Indonesia (RBI) lembar 1408-343 Surakarta Tahun 2001 Skala 1 : 25.000. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera digital, GPS, klinometer dan pita ukur. Perangkat lunak pendukung yang digunakan dalam penelitian ini adalah ArcGIS 10.1 yang merupakan perangkat lunak berbasis Sistem Informasi Geografis, ENVI 5.0 untuk pengolahan citra digital dan IBM SPSS 21 untuk keperluan analisis statistik. Metode sampling yang digunakan

dalam penelitian ini adalah *purposive sampling* berdasarkan tingkat strata kelas kerapatan vegetasi. Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis keruangan yang berkaitan dengan agihan distribusi spasial tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan tiga kelas kerapatan yang tersebar di daerah penelitian, analisis tentang agihan biomassa hijau dan agihan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂). Analisis kuantitatif yang digunakan berupa analisis statistik regresi linier antara nilai indeks kecerahan NDVI sebagai variabel X (bebas) dan kandungan biomassa lapangan atau biomassa sampel sebagai variabel Y (terikat) yang dipakai untuk mengestimasi biomassa hijau sedangkan analisis korelasi linier dengan metode *Pearson Correlation* digunakan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂).

1. Transformasi Indeks Vegetasi NDVI

Salah satu bentuk transformasi spektral yang dapat digunakan untuk menonjolkan tingkat kehijauan vegetasi ialah transformasi indeks vegetasi NDVI. Untuk dapat menggunakan metode indeks vegetasi tersebut maka diperlukan band inframerah dan band merah yang terdapat pada Citra ALOS AVNIR-2. Proses transformasi indeks vegetasi NDVI dilakukan dengan menggunakan bantuan tools BandMath pada perangkat lunak ENVI 5.0. Adapun persamaan transformasi indeks vegetasi NDVI menurut Tucker (1979) dalam Danoedoro (2012) adalah sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Keterangan :

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR : Saluran Inframerah dekat

Red : Saluran merah

Nilai hasil transformasi indeks vegetasi NDVI secara umum berkisar antara -1 sampai dengan +1 dimana semakin mendekati nilai 1 maka menunjukkan bahwa tingkat kehijauan vegetasinya tinggi dan sebaliknya jika semakin menjauhi nilai 1 dan semakin negatif nilai tersebut menunjukkan semakin rendah tingkat kehijauan vegetasi yang dihasilkan.

2. Klasifikasi Tingkat Kerapatan Vegetasi

Nilai indeks vegetasi NDVI perlu dilakukan klasifikasi agar diperoleh kelas kerapatan vegetasi berdasarkan rentang nilai NDVI yang dihasilkan. Dalam hal ini kelas kerapatan vegetasi diklasifikasikan ke dalam tiga kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Ukuran kerapatan vegetasi yang terkait dengan pembagian interval di setiap kelas kerapatan dari hasil transformasi indeks vegetasi NDVI dalam hal ini mengacu pada klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi yang dikeluarkan oleh Departemen Kehutanan tahun 2003. Oleh karena itu, dalam penelitian ini tidak dilakukan klasifikasi kerapatan vegetasi berdasarkan nilai ambang batas atau *threshold* nilai maksimum dan nilai minimum pada citra yang telah diolah. Berpedoman pada klasifikasi kerapatan vegetasi yang telah baku tersebut maka untuk melakukan verifikasi di lapangan terkait dengan perbedaan di setiap kelas kerapatan vegetasi yaitu rendah, sedang dan tinggi dapat menjadi relatif berdasarkan pengalaman peneliti ketika berlangsungnya observasi di lapangan dengan tetap melihat nilai indeks vegetasi NDVI dari klasifikasi yang telah baku tersebut. Berikut disajikan informasi mengenai klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan rentang nilai NDVI dari Departemen Kehutanan

tahun 2003 yang dapat dilihat pada Tabel 1.12.

Tabel 1.12. Klasifikasi Kelas Kerapatan Vegetasi

No	Rentang Nilai NDVI	Kelas Kerapatan Vegetasi
1	> 0,42 - 1	Tinggi
2	> 0,32 - 0,42	Sedang
3	0,100 - 0,32	Rendah

Sumber : Departemen Kehutanan (2003) dengan penyesuaian dalam Maryantika, dkk

Hal yang menjadi dasar dilakukannya proses klasifikasi nilai NDVI dalam penelitian ini adalah dengan mengacu pada klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi dari Departemen Kehutanan tahun 2003 dengan sedikit penyesuaian pada rentang nilai NDVI dimana yang ditampilkan hanya nilai NDVI yang bervegetasi saja sedangkan nilai NDVI yang tidak bervegetasi tidak dimasukkan dalam rentang nilai klasifikasi indeks vegetasi NDVI. Proses penyesuaian kelas interval kerapatan vegetasi dan jumlah kelas kerapatan dilakukan dengan melakukan proses editing pada *raster color slice* memanfaatkan *software* ENVI 5.0.

3. Penentuan Sampel

Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan cermat dan akurat dimana menurut Yunus (2010) juga disebut dengan *purposive sampling*. Sampel yang telah dipilih dianggap secara relevan dapat mewakili karakter dari seluruh populasi yang terdapat heterogenitas terkait dengan obyek vegetasi. Selain itu, pengambilan sampel berstrata didasarkan pada tiga kelas kerapatan vegetasi yang berbeda yaitu rendah, sedang dan tinggi.

4. Perhitungan Biomassa Lapangan

Perhitungan biomassa lapangan dilakukan berdasarkan hasil plot pada daerah sampel yang sebelumnya telah ditentukan.

Biomassa lapangan dihitung dengan menggunakan pendekatan yang disebutkan oleh George W. Cox (1976) dalam Siwi (2012) dengan perubahan. Komponen biomassa lapangan yang diukur meliputi ketebalan tajuk, kerapatan tajuk, persentase tutupan tajuk dan persentase tutupan vegetasi bawah. Berdasarkan asumsi yang digunakan yaitu bahwa standar biomassa yang ditujukan untuk vegetasi atas setara dengan kandungan biomassa hijau areal pepohonan dan semak belukar yaitu sebesar 6,0 kg/m². Sementara itu, untuk vegetasi bawah setara dengan persawahan, standar biomasanya diasumsikan sebesar 1,5 kg/m² ((Owen, 1974 dalam Yamamoto, 1983) dalam Siwi, 2012). Bentuk persamaan matematis untuk perhitungan biomassa lapangan yaitu sebagai berikut :

$$BM = \{[Te \times Re \times Cp \times 6,0 \text{ kg/m}^2] + (Cr \times 1,50)\}$$

Dimana,

BM = kandungan biomassa hijau (kg/m²)

Te = ketebalan tajuk (m)

Re = kerapatan tajuk (%/m)

Cp = persentase tutupan tajuk (%)

Cr = persentase tutupan vegetasi bawah (%)

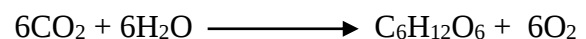
Sumber : Siwi (2012)

5. Estimasi Kemampuan Daya Serap Emisi Karbon Dioksida

Estimasi kemampuan daya serap CO₂ didasarkan atas konversi dari biomassa bersih sehingga dapat digunakan untuk menghitung massa CO₂. Sebelum melakukan perhitungan penyerapan CO₂ maka terlebih dahulu harus dicari massa molekul relatif dari CO₂ (Mr CO₂). Perolehan dari massa karbon dioksida dihasilkan dari konversi massa karbohidrat. Hal ini ditambah dengan pernyataan yang

dikemukakan oleh Harjadi (1979) dalam Gratimah (2009) bahwa atom karbon yang terdapat pada karbon dioksida berbanding lurus dengan atom karbon yang terdapat pada glukosa (C₆H₁₂O₆). Adapun untuk menghitung massa karbon dioksida yaitu dengan mengalikan antara massa C₆H₁₂O₆ dengan 1,47. Rumus untuk menghitung massa karbon dioksida (CO₂) dihasilkan dari persamaan reaksi fotosintesis sebagai berikut :

Energi Matahari



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut diketahui bahwa 1 mol C₆H₁₂O₆ memiliki kesetaraan dengan 6 mol CO₂, dengan demikian maka cara perhitungannya yaitu:

$$\text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = \frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{\text{Mr C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}$$

$$\text{Massa CO}_2 = \frac{6 \times \text{Mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{\text{Mr CO}_2}$$

$$= 6 \times \text{Mr CO}_2 \times \left[\frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{\text{Mr C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} \right]$$

$$= 6 \times 44 \times \left[\frac{\text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{180} \right]$$

$$= 1,47 \times \text{massa C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

$$\text{Massa Mr CO}_2 = \frac{\text{Kandungan Biomassa}}{(1/1,47)}$$

Dimana,

Massa CO₂ = jumlah berat CO₂ (kg)

1,47 = angka tetapan yang diperoleh dari persamaan reaksi fotosintesis

Kandungan Biomassa = Massa C₆H₁₂O₆

Mr = massa molekul relatif

Ar = atom relatif

Ar C = 12,

Ar H = 1,

Ar O = 16

Mr C₆H₁₂O₆ = (6 x Ar C) + (12 x Ar H)

+ (6 x Ar O)

$$= (6 \times 12) + (12 \times 1) + (6 \times 16)$$

$$\begin{aligned}
 16) & \\
 &= 72 + 12 + 96 \\
 &= 180 \\
 \text{Mr CO}_2 &= (1 \times \text{Ar C}) + (2 \times \text{Ar O}) \\
 &= (1 \times 12) + (2 \times 16) \\
 &= 12 + 32 \\
 &= 44
 \end{aligned}$$

Sumber : Siwi (2012)

6. Analisis Data

Analisis spasial dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis yang digunakan untuk menyajikan agihan kelas indeks vegetasi NDVI berdasarkan transformasi indeks vegetasi NDVI. Selain itu, dapat juga digunakan untuk menyajikan informasi spasial yang terkait dengan agihan kandungan biomassa hijau dan agihan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) berdasarkan indeks vegetasi NDVI.

Analisis regresi linier sederhana merupakan model persamaan matematika yang digunakan dalam penelitian untuk mengestimasi biomassa hijau berdasarkan indeks vegetasi NDVI dan pengukuran biomassa lapangan. Dalam hal ini, biomassa berfungsi sebagai variabel terikat Y yang merupakan variabel yang akan diestimasi nilainya. Sementara itu, NDVI berperan sebagai variabel bebas X yang mana merupakan variabel prediktor.

Proses analisis regresi ini dilakukan dengan bantuan IBM SPSS 21 yang merupakan perangkat lunak dengan kemampuan analisis statistik yang cukup tinggi. Analisis regresi dilakukan dengan mengacu pada jumlah sampel pengukuran biomassa lapangan. Persamaan model regresi linier indeks vegetasi NDVI (X) dan biomassa (Y) adalah sebagai berikut :

$$Y = aX + b$$

Dimana :

Y = Variabel terikat (Biomassa)
 X = Variabel bebas (NDVI)
 a = Penduga bagi intersap α
 b = Penduga bagi intersap β
 α, β = Parameter yang nilainya tidak diketahui sehingga diduga menggunakan statistik sampel

Sumber : Siwi (2012)

Analisis korelasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara variabel biomassa hijau (X) dengan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂) yang merupakan variabel Y. Dilakukannya analisis korelasi tersebut dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh variabel biomassa hijau terhadap variabel kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂). Analisis korelasi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak IBM SPSS 21. Koefisien korelasi product moment (*Pearson's Coefficient of Correlation*) merupakan jenis analisis korelasi yang digunakan dimana bentuk persamaan rumusnya adalah sebagai berikut :

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Dimana :

R = Koefisien Korelasi Pearson
 X = Skor variabel biomassa hijau
 Y = Skor variabel kemampuan daya serap emisi karbon dioksida (CO₂)

N = Ukuran Sampel

Sumber : Siwi (2012)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan vegetasi dihasilkan dari pengkelasan hasil transformasi indeks vegetasi NDVI. Rapat tidaknya vegetasi dapat dipengaruhi oleh banyak sedikitnya

jumlah vegetasi dalam suatu area baik berupa jumlah pohon atau belukar maupun vegetasi bawah seperti semak dan rumput. Selain itu, tingkat kerapatan vegetasi juga dapat dilihat dari jarak antar pohon dalam area tertentu serta banyak sedikitnya vegetasi yang menutupi suatu area tertentu sehingga dapat dikatakan rapat atau jarang. Berkaitan dengan kerapatan vegetasi, maka akan sangat berbeda apabila ditinjau dari perbedaan wilayah dalam hal ini antara daerah kota dan daerah hutan. Perbedaan wilayah yang dimaksud ialah berdasarkan variasi dari topografi yang berada di daerah kota maupun di kawasan hutan. Pada umumnya kawasan hutan berada pada daerah topografi yang relatif curam hingga terjal sedangkan di daerah kota biasanya berada di daerah yang relatif datar. Hal ini tentu berbeda jika melihat dari sudut pandang kewilayahan terkait dengan kerapatan vegetasi. Daerah kota walaupun mempunyai variasi vegetasi yang bermacam-macam akan sangat berbeda dalam hal proses identifikasi tingkat kerapatan dan penggunaan klasifikasi tingkat kerapatan yang sesuai untuk daerah kota. Dalam penelitian ini, metadata citra yang digunakan terkait dengan waktu perekaman juga mempunyai pengaruh yang besar dalam menentukan tingkat kerapatan vegetasi. Citra ALOS AVNIR-2 yang digunakan merupakan perekaman bulan Juli dimana bulan tersebut masuk musim kemarau. Hal ini dapat diartikan bahwa tingkat kehijauan daun vegetasi di daerah penelitian tersebut akan berbeda ketika memasuki musim penghujan. Maksudnya ialah kandungan air pada daun di musim tersebut akan berkurang sehingga pantulan yang berasal dari daun pun juga menjadi tidak terlalu kuat. Penggunaan transformasi indeks vegetasi NDVI untuk memperoleh klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi

memang dapat dilakukan tetapi harus disertai dengan cek lapangan. Cek lapangan dilakukan karena tiga kelas kerapatan vegetasi yang dihasilkan masih berupa hasil kerapatan secara tentatif sehingga jika hanya mengandalkan hasil dari pengkelasan nilai NDVI saja tidak cukup. Faktor lainnya bahwa kelas kerapatan vegetasi yang diperoleh dari hasil klasifikasi nilai NDVI tidak sepenuhnya merepresentasikan tingkat kerapatan yang sebenarnya di lapangan. Tingkat kerapatan di daerah penelitian berdasarkan klasifikasi yang telah dilakukan hanya ditentukan sebanyak tiga kelas. Dari hasil pengkelasan tingkat kerapatan vegetasi berdasarkan nilai NDVI maka dapat diperoleh informasi bahwa secara spasial distribusi atau agihan yang menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi kelas rendah hingga sedang dapat dilihat hampir semua menyebar di pusat kota. Hal ini sejalan dengan realita yang ada di lapangan karena memang di daerah tersebut dan sekitarnya banyak didominasi oleh bangunan. Namun disisi lain untuk kelas kerapatan yang dikategorikan tinggi tidak dapat dijumpai di pusat kota dan sekitarnya. Kelas kerapatan tinggi justru dapat ditemukan di daerah yang agak jauh dari pusat kota khususnya di Kecamatan Jebres. Ditinjau dari aspek topografi memang diketahui bahwa di daerah tersebut mempunyai kemiringan yang tergolong landai. Selain itu, masih cukup banyak ruang-ruang hijau yang mudah dijumpai terlebih lagi dapat ditemukan beberapa pepohonan yang tingginya di atas empat meter sehingga hal inilah yang menguatkan pada kelas kerapatan yang tinggi. Biomassa pada dasarnya mempunyai definisi yang beraneka ragam dan tergantung pada aplikasi dan penggunaannya. Berkaitan dengan hal tersebut maka dalam penelitian ini yang dimaksud dengan biomassa yaitu

berhubungan dengan semua material yang merupakan bagian dari tumbuhan yang hidup. Setiap jenis dari tumbuh-tumbuhan yang hidup mempunyai kandungan biomassa yang berbeda-beda terkait dengan energi yang dihasilkan. Penggunaan komponen biomassa dalam penelitian ini terdiri dari kerapatan tajuk, ketebalan tajuk, persentase tutupan tajuk dan persentase vegetasi bawah. Kerapatan tajuk merupakan bagian dari vegetasi yang mencerminkan rimbun tidaknya suatu jenis pohon tertentu dalam suatu area tertentu. Umumnya jika satu atau beberapa pohon mempunyai tutupan tajuk atau kanopi yang lebar maka dapat diduga bahwa usia pohon-pohon tersebut lebih dari tiga tahun atau bahkan bisa lebih. Dengan demikian, usia tanaman atau pohon merupakan salah satu faktor yang juga menentukan tingkat kerapatan tajuk. Faktor lainnya yang juga dapat mempengaruhi kerapatan tajuk adalah kecepatan pertumbuhan tanaman. Suatu pohon atau tanaman tertentu jika mempunyai tingkat pertumbuhan yang bagus maka akan berpengaruh terhadap tingkat kerapatan tajuknya. Proses pertumbuhan tanaman yang baik akan meningkatkan kemampuan untuk menghasilkan jumlah tajuk. Cepat tidaknya pertumbuhan suatu tanaman atau pohon juga didukung oleh kecukupan penerimaan cahaya matahari. Apabila diperhatikan bahwa jika tanaman dalam masa pertumbuhannya berada pada daerah yang kurang akan cahaya matahari yang diterima maka akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis yang kemudian menjadi terganggu. Akibatnya ialah proses pertumbuhan tanaman menjadi terhambat sehingga tajuk yang dihasilkan juga tidak lebat atau tidak rimbun. Ketebalan tajuk adalah bagian dari tanaman atau pohon yang dapat diidentifikasi berdasarkan

banyak sedikitnya jumlah daun yang ada. Daun sendiri merupakan bagian dari tanaman atau pohon yang memiliki kontribusi dalam menghasilkan biomassa. Hal ini karena daun merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis sehingga juga akan menentukan besar kecilnya biomassa. Biomassa dalam pengukuran secara teknis di lapangan memang dikategorikan kegiatan yang selain sulit dan mahal juga menghabiskan banyak waktu dan tenaga. Keberadaan biomassa sendiri sangat penting karena mempunyai peran dalam menyerap emisi karbon dioksida (CO_2) yang merupakan salah satu gas yang memicu terjadinya pemanasan global. Kandungan biomassa hijau yang diestimasi yaitu hanya pada ruang terbuka hijau yang dari hasil pemrosesan citra mempunyai nilai indeks vegetasi yang mencerminkan kenampakan vegetasi. Nilai hasil transformasi Indeks vegetasi NDVI merupakan salah satu data yang digunakan dalam mengestimasi kandungan biomassa hijau. Perhitungan estimasi biomassa hijau berdasarkan 52 lokasi sampel dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang dikemukakan oleh Cox (1976) dalam Siwi (2012) yang mana juga diterapkan dalam penelitian ini. Asumsi yang digunakan beliau adalah bahwa standar biomassa yang nilainya 6 kg/m^2 digunakan untuk vegetasi atas yang mempunyai kesetaraan dengan kandungan biomassa hijau areal pepohonan dan semak belukar. Selain itu, untuk vegetasi bawah standar biomasanya sebesar $1,5 \text{ kg/m}^2$ yang mempunyai kesetaraan dengan persawahan. Dalam kajian penelitian ini digunakan sebuah model persamaan untuk menduga atau mengestimasi biomassa hijau. Penggunaan model persamaan tersebut juga terdapat keterkaitan dengan Citra ALOS AVNIR-2 yang digunakan. Keterkaitan

yang dimaksud adalah bahwa estimasi biomassa hijau dilakukan berdasarkan per piksel dari hasil transformasi indeks vegetasi NDVI pada Citra ALOS AVNIR-2. Diketahui bahwa dalam pemrosesan transformasi spektral yaitu transformasi indeks vegetasi NDVI diperoleh nilai ambang batas di daerah penelitian yaitu 0,100 sampai dengan 0,533. Dari hasil tersebut diasumsikan bahwa nilai piksel yang digunakan untuk mengestimasi biomassa hijau adalah nilai piksel di atas 0,100 sedangkan nilai piksel dibawah 0,100 tidak digunakan dalam perhitungan estimasi biomassa hijau karena dianggap bukan vegetasi. Berdasarkan hasil analisis regresi dengan menggunakan aplikasi program SPSS diketahui bahwa model persamaan matematis untuk mengestimasi biomassa hijau dalam penelitian ini adalah $Y = 57,001X - 7.946$. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai-nilai piksel indeks vegetasi NDVI yang mencerminkan vegetasi di Kota Surakarta kemudian dijumlahkan sehingga akan diperoleh informasi biomassa hijau pada setiap kelurahan dan setiap kecamatan di daerah penelitian. Secara spasial keberadaan biomassa hijau di Kota Surakarta sebagian besar terkonsentrasi di dua kecamatan yaitu Kecamatan Banjarsari dan Kecamatan Jebres. Selain itu, keberadaan biomassa hijau yang tidak terlalu menonjol dari peta terlihat tersebar di tiga kecamatan lainnya yaitu di Kecamatan Laweyan, Kecamatan Serengan dan Kecamatan Pasar Kliwon. Kemampuan daya serap emisi karbon dioksida dalam penelitian ini dikaji berdasarkan tingkat kelurahan dan tingkat kecamatan. Kemampuan daya serap emisi karbon dioksida di Kota Surakarta secara keseluruhan terbagi ke dalam tiga kelas. Untuk kelas yang pertama yaitu termasuk kelas sedang yaitu sebesar >71127 kg.

Kelas kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang kedua yaitu $35564 - 71127$ kg yang termasuk kelas rendah. Kelas kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang ketiga termasuk dalam kelas sangat rendah yaitu ≤ 35564 kg. Dengan adanya daya serap emisi karbon dioksida dari keberadaan biomassa hijau di daerah penelitian maka setidaknya mempunyai kontribusi dalam penurunan emisi karbon dioksida di wilayah kota. Selain itu, perubahan iklim mikro di Kota Surakarta juga dapat diminimalisir sehingga suhu udara di wilayah tersebut juga dapat menjadi berkurang walaupun tidak terlalu signifikan pengaruhnya. Hal tersebut juga dapat memberikan rasa yang lebih nyaman bagi penduduk yang tinggal di daerah perkotaan. Kecamatan Jebres merupakan wilayah yang mempunyai kemampuan daya serap emisi karbon dioksida tertinggi dengan daya serap emisi karbon dioksida sebesar $163.770,97$ kg. Hal yang menjadikan wilayah tersebut mempunyai daya serap emisi karbon dioksida karena potensi kandungan biomassa hijau yang dihasilkan juga tinggi. Selain itu, tipe penggunaan lahan yang terdapat di wilayah tersebut yaitu berupa lahan kosong yang banyak ditanami rumput atau tanaman sejenisnya, tegalan juga masih banyak ditemukan di wilayah tersebut. Selain itu, adanya taman kota merupakan salah satu dari perwujudan ruang terbuka hijau yang juga terdapat di wilayah tersebut. Beberapa tipe penggunaan lahan yang ada di Kecamatan Jebres mempunyai potensi kandungan biomassa hijau yang tinggi sehingga juga daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan juga akan besar. Kecamatan Banjarsari merupakan salah satu wilayah di Kota Surakarta yang mempunyai kemampuan daya serap emisi karbon dioksida sebesar $70.815,16$ kg.

Jumlah emisi karbon dioksida tersebut merupakan emisi tertinggi kedua yang dapat diserap setelah Kecamatan Jebres. Beberapa tipe penggunaan lahan yang menjadi faktor pendukung besarnya kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan yaitu tanah kosong, tegalan, persawahan, tanah pemakaman atau kuburan, lapangan olah raga dan taman kota. Berdasarkan tipe penggunaan lahan yang ada tersebut juga terdapat potensi kandungan biomassa hijau yang cukup tinggi. Biomassa hijau merupakan energi yang sumbernya diperoleh dari vegetasi atau tumbuhan yang masih hidup. Tumbuhan dikatakan masih hidup apabila di dalam tubuh tumbuhan itu sendiri terdapat suatu aktivitas kegiatan untuk menunjang atau menopang pertumbuhannya serta untuk memenuhi kelangsungan hidupnya. Pada umumnya semua tumbuhan mempunyai akar dimana salah satu bagian dari tumbuhan tersebut mempunyai peran dalam penyerapan unsur hara yang bermanfaat bagi tumbuhan yang diperoleh dari tanah. Akar sendiri merupakan bagian dari biomassa bawah permukaan tumbuhan. Akan tetapi, yang menjadi kajian utama bukan terletak pada akar tumbuhan melainkan bagian dari tumbuhan lainnya yaitu daun. Daun merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Daun memegang peranan yang sentral dalam tumbuhan karena hanya di tempat tersebut aktivitas fotosintesis dapat berlangsung. Aktivitas fotosintesis dapat berlangsung hanya pada daun yang mempunyai klorofil atau zat hijau daun sehingga apabila daun yang telah kehilangan zat hijau daun maka sudah tidak dapat melangsungkan kegiatan fotosintesis. Fotosintesis dalam prosesnya juga dibantu dengan energi cahaya matahari. Banyaknya kandungan zat hijau pada daun saja tidak

cukup apabila tidak ditunjang dengan ketersediaan kecukupan kandungan air pada daun karena hal tersebut juga berpengaruh pada kesehatan daun. Daun yang sehat dan cukup kandungan air tentunya dapat melangsungkan aktivitas kegiatan fotosintesis dengan baik dan optimal. Kemampuan vegetasi atau tumbuhan dalam menyerap emisi karbon dioksida ada kaitannya dengan berlangsungnya aktivitas kegiatan fotosintesis. Kaitannya ialah bahwa dalam proses fotosintesis diperlukan karbon dioksida dan air yang merupakan bahan utama dari proses fotosintesis. Hasil dari proses persamaan reaksi fotosintesis adalah glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan oksigen. Glukosa dalam hal ini diasumsikan sebagai energi yang juga merupakan biomassa hijau. Perolehan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida dihitung berdasarkan massa karbon dioksida dengan mengkonversikan kandungan biomassa hijau yang dihasilkan dari aktivitas kegiatan fotosintesis. Oleh karena itu, besar kecilnya kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi karbon dioksida juga ditentukan oleh besar kecilnya kandungan biomassa hijau yang dihasilkan. Untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida maka dilakukan analisis secara statistik. Analisis statistik tersebut dilakukan berdasarkan data yang diambil dari hasil perhitungan dengan jumlah sampel sebanyak 52 buah. Keeratan hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida dapat dijelaskan dengan nilai $r = 1$. Hal ini dapat diartikan bahwa hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida adalah sangat kuat dengan arah yang positif. Arah positif tersebut dapat diartikan bahwa besarnya nilai biomassa hijau akan diikuti pula

dengan besarnya kemampuan daya serap emisi karbon dioksida. Dengan demikian, berkaitan dengan hipotesis yang diajukan maka H_0 ditolak karena berdasarkan korelasi yang dihasilkan tersebut maka dapat diperoleh jawaban bahwa memang terdapat hubungan antara biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : (1) Citra ALOS AVNIR-2 dapat digunakan untuk kajian pemetaan indeks vegetasi di daerah penelitian berdasarkan transformasi indeks vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dengan memanfaatkan band 3 (merah) dan band 4 (inframerah), (2) hasil estimasi distribusi agihan kandungan biomassa hijau di Kota Surakarta antara lain tersebar di lima kecamatan yaitu Kecamatan Jebres mempunyai kandungan biomassa hijau sebesar 111.408,82 kg, Kecamatan Banjarsari mempunyai kandungan biomassa hijau sebesar 48.173,82 kg, Kecamatan Laweyan mempunyai kandungan biomassa hijau sebesar 19.719,38 kg, Kecamatan Pasar Kliwon mempunyai kandungan biomassa hijau sebesar 14.631,28 kg dan Kecamatan Serengan mempunyai kandungan biomassa hijau sebesar 4.040,04 kg. Kandungan biomassa hijau tertinggi terdapat di Kecamatan Jebres sedangkan kandungan biomassa terendah terdapat di Kecamatan Serengan, (3) kemampuan daya serap emisi karbon dioksida berdasarkan biomassa hijau di Kota Surakarta tertinggi sebesar 163.770,97 kg berada di Kecamatan Jebres sedangkan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida terendah berada di Kecamatan Serengan sebesar 5.938,86 kg.

Untuk Kecamatan Banjarsari, kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan sebesar 70.815,16 kg. Untuk Kecamatan Laweyan, kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan sebesar 28.987,50 kg sedangkan Kecamatan Pasar Kliwon diperoleh kemampuan daya serap emisi karbon dioksida sebesar 21.507,98 kg, (4) biomassa hijau dan kemampuan daya serap emisi karbon dioksida mempunyai tingkat keeratan hubungan yang sangat kuat yang ditunjukkan dengan nilai korelasi r sebesar 1 dan arah hubungan antara dua variabel tersebut adalah positif yang berarti bahwa semakin besar biomassa hijau akan diikuti pula dengan besarnya kemampuan daya serap emisi karbon dioksida yang dihasilkan. Saran yang disampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : (1) hendaknya untuk penelitian yang selanjutnya dengan tema yang sama diharuskan menggunakan peralatan yang lebih canggih dengan biaya yang jauh lebih memadai serta dengan didukung hasil uji laboratorium yang baik untuk menghitung kemampuan daya serap karbon dioksida berdasarkan sampel per satuan luas daun pada jenis vegetasi tertentu dengan hasil yang lebih detil dan akurat, (2) hendaknya diperlukan optimalisasi program yang lebih baik lagi untuk penambahan jenis tanaman yang khusus dengan kemampuan daya menyerap karbon dioksida yang tinggi dimana lebih diprioritaskan pada daerah-daerah perkotaan baik berupa spot atau zonasi yang dinilai rentan terjadi pencemaran udara dengan tingkat polusi yang tinggi dan (3) sebaiknya untuk estimasi biomassa hijau digunakan data citra yang multitemporal sehingga dapat digunakan untuk memantau tingkat perubahan ketersediaan ruang terbuka hijau dan tingkat perubahan kemampuan daya

serap emisi karbon dioksida dalam periode waktu tertentu dengan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika). 2012. Buku Informasi Perubahan Iklim dan Kualitas Udara Di Indonesia. Jakarta : BMKG.
- Danoedoro, Projo. 2012. Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta : Andi.
- Gratimah, Rd. Gutti. 2009. Analisis Kebutuhan Hutan Kota Sebagai Penyerap Gas CO₂ Antropogenik Di Pusat Kota Medan. *Thesis*. Sumatera Utara : FMIPA Universitas Sumatera Utara.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). 2010. *Indonesia Second National Communication*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup.
- Maryantika, dkk._____. Analisis Perubahan Vegetasi Ditinjau Dari Tingkat Ketinggian Kemiringan Lereng Lahan Menggunakan Citra Satelit Landsat Dan Spot 4 (Studi Kasus Kabupaten Pasuruan). *Paper*. FTSP. Surabaya : ITS.
- Ohira, 2012. Analisis Citra ALOS AVNIR-2 Dan Sistem Informasi Geografis Untuk Pengembangan Ruang Terbuka Hijau (Kasus Studi : Kota Surakarta dan Sekitarnya). *Tesis*. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.
- Rushayati, dkk. 2011. Pengembangan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Distribusi Suhu Permukaan Di Kabupaten Bandung. *Jurnal Forum Geografi* No. 25/I/Juli 2011 ISSN 0852 – 2682. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Siwi, S. Estuti. 2012. Kemampuan Ruang Hijau Dalam Menyerap CO₂ Di Kota Depok. *Tesis*. Jakarta : FMIPA Universitas Indonesia.
- Trismidianto, dkk. 2008. Studi Penentuan Konsentrasi CO₂ dan Gas Rumah Kaca (GRK) Lainnya di Wilayah Indonesia www.dirgantara-lapan.or.id diakses pada tanggal 9 Februari 2013.
- Yunus, Hadi Sabari. 2010. Metodologi Penelitian Wilayah Kontemporer. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.