

ANALYSIS OF TREE VEGETATION AND CO₂ UPTAKE AT GREEN BELT PEKANBARU CITY FOR DEVELOP MODULE CONCEPT OF EFFORT PREVENTION AIR POLLUTION ON BIOLOGY CONTENT IN SENIOR HIGH SCHOOL GRADE X

Shara Aljogja Sandra¹, Sri Wulandari², Nursal³

*e-mail: sharaasandra@gmail.com, +6285265337120, wulandari_sri67@yahoo.co.id,
nurs_al@yahoo.com

Study Program of Biology Education, Faculty of Teacher Training and Education
University of Riau

***Abstract:** Aims of this research is determine the vegetation of trees and CO₂ uptake in Pekanbaru City Green Belt and to develop module concept of air pollution control efforts on biology content in senior high school grade X in November 2015 to January 2016. The method used is purposive sampling method at 23 locations of green belt, while the module development is done using ADDIE models. Parameters used include tree vegetation, crown cover and CO₂ uptake. Tree vegetation in the Green Belt Pekanbaru City has 21 family, 49 species and 11.588 trees. Green Belt Pekanbaru City had a density of 416.040 trees/ha, the frequency of 5.266, the dominance of 165.711 m²/ha, the diversity index 1,404 (medium category). The kind that has the highest important value index is Swietenia macrophyla amounted to 94.468%. Crown cover obtained for 10.098 ha, while the CO₂ uptake of 354.682 tons/ha. The results of the research can be developed in to a module by showing a very valid category (4.24) and the limited test results by leaners show good category (83.96).*

Key Words: Green belt, module, CO₂ uptake, tree vegetation

ANALISIS VEGETASI POHON DAN SERAPAN CO₂ DI JALUR HIJAU KOTA PEKANBARU UNTUK PENGEMBANGAN MODUL KONSEP UPAYA PENANGGULANGAN PENCEMARAN UDARA PADA MATA PELAJARAN BIOLOGI DI SMA KELAS X

Shara Aljogja Sandra¹, Sri Wulandari², Nursal³

*e-mail: sharaasandra@gmail.com, +6285265337120, wulandari_sri67@yahoo.co.id,
nurs_al@yahoo.com

Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA FKIP
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui vegetasi pohon dan serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru serta mengembangkan modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara pada mata pelajaran biologi di SMA kelas X pada bulan November 2015 hingga Januari 2016. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *purposive sampling* dengan menetapkan 23 lokasi jalur hijau, sedangkan pengembangan modul dilakukan dengan menggunakan model ADDIE. Parameter yang digunakan meliputi vegetasi pohon, luas tutupan tajuk dan serapan CO₂. Vegetasi pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru memiliki 21 suku, 49 jenis dan 11.588 individu. Jalur Hijau Kota Pekanbaru memiliki rerata kerapatan sebesar 416,040 pohon/ha, rerata frekuensi sebesar 5,266, rerata dominansi sebesar 165,711 m²/ha, rerata indeks keanekaragaman 1,404 (kategori sedang) dengan jenis yang memiliki indeks nilai penting tertinggi adalah Mahoni (*Swietenia macrophylla*) sebesar 94,468%. Luas tutupan tajuk yang diperoleh sebesar 10,098 ha, sedangkan serapan CO₂ sebesar 354,682 ton/ha. Hasil penelitian dapat dikembangkan menjadi modul dengan menunjukkan kategori sangat valid (4,24) dan hasil uji coba terbatas oleh peserta didik menunjukkan kategori baik (83,96).

Kata kunci: Jalur hijau, modul, serapan CO₂, vegetasi pohon

PENDAHULUAN

Kota Pekanbaru merupakan ibu kota Provinsi Riau dengan luas wilayah sekitar 632,26 km². Pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pertumbuhan pembangunan infrastruktur kota berkembang pesat. Pembagian ruang kota disusun agar dapat mengakomodasi setiap aktivitas masyarakat perkotaan. Pemerintah berinisiatif menjadikan Pekanbaru sebagai kota teladan bagi kota-kota kecil di Provinsi Riau (Badan Pusat Statistik Pekanbaru, 2015).

Pesatnya pembangunan dan perkembangan kota dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan hidup diantaranya meningkatnya akumulasi bahan pencemar di udara yang bersumber dari berbagai aktivitas perkotaan seperti transportasi, industri, pembuangan sampah dan sumber-sumber lainnya (Nursal, dkk., 2005). Emisi CO₂ merupakan salah satu akumulasi bahan pencemar di udara yang sangat diperhatikan karena merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK) yang dapat menyebabkan pemanasan global. Berdasarkan Badan Lingkungan Hidup Kota Pekanbaru (2014), jumlah emisi gas rumah kaca di Kota Pekanbaru pada tahun 2012 sebesar 68.191,251 Gg CO₂eq (0,068 Gt CO₂eq) yang terdiri dari sektor pengadaan dan penggunaan energi sebesar 56.470 Gg CO₂eq; sektor peternakan sebesar 11,13 Gg CO₂eq; sektor lahan sebesar 10.887,476 Gg CO₂eq; sektor pertanian sebesar 36,64 Gg CO₂eq; dan sektor limbah sebesar 786,005 Gg CO₂eq.

Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya upaya-upaya untuk menurunkan emisi CO₂ di atmosfer. Upaya penurunan emisi dan polusi udara di kawasan perkotaan adalah meningkatkan penyerapan CO₂ dan atau menurunkan emisi CO₂. Salah satu upaya untuk meningkatkan penyerapan CO₂ adalah menyediakan kawasan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Jalur hijau di sekitar jalan lalu lintas dalam kota merupakan salah satu bentuk RTH yang cukup efektif karena berperan langsung dalam mengurangi emisi CO₂ yang ditimbulkan oleh aktivitas masyarakat perkotaan. Pengurangan emisi CO₂ di udara oleh jalur hijau terjadi karena adanya penyerapan CO₂ melalui proses fotosintesis pohon dan diubah menjadi C-organik dalam bentuk biomassa. Informasi tentang serapan CO₂ suatu vegetasi pohon di jalur hijau dapat diperoleh dengan menduga vegetasi tersebut.

Pemilihan jenis pohon sebagai upaya mengurangi emisi CO₂ perlu didasarkan pada kemampuan pohon dalam menyerap CO₂ dan lingkungan tempat pohon tersebut ditanam. Selain itu, komposisi jalur hijau yang tersedia, baik jenis, fungsi, jumlah tipe tutupan maupun sebaran tanaman sangat berpengaruh terhadap penyerapan emisi CO₂.

Selain membangun kawasan Ruang Terbuka Hijau (RTH), upaya penurunan emisi CO₂ penyebab pencemaran udara dapat dilakukan dari aspek pendidikan. Pendidikan merupakan salah satu aspek pengelolaan lingkungan yang diharapkan mampu menjadi faktor pengendali dalam menanggulangi terjadinya kerusakan lingkungan khususnya pencemaran udara.

Pada aspek pendidikan, upaya penanggulangan pencemaran udara ini telah dijadikan sebagai konsep materi biologi dan dipelajari di jenjang SMA kelas X semester II pada KD. 3.10 menganalisis data perubahan lingkungan dan dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan. Pada proses pembelajaran khususnya pada konsep ini umumnya masih menggunakan bahan ajar berupa buku teks. Hasil observasi dan wawancara dengan guru-guru di beberapa sekolah menunjukkan bahwa selama proses pembelajaran, bahan ajar yang digunakan hanya berupa buku teks dengan materi yang disampaikan hanya secara global dan tidak dilengkapi dengan contoh-contoh yang berada di sekitar lingkungan peserta didik. Hal ini menyebabkan peserta didik kurang

memahami materi-materi yang dipelajari khususnya pada konsep upaya penanggulangan pencemaran udara. Dilihat dari buku teks yang digunakan, penyampaian konsep upaya penanggulangan pencemaran udara masih sangat minim dan kurang variasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan bahan ajar pada konsep upaya penanggulangan pencemaran udara agar dapat menambahkan referensi yang relevan, spesifik kontekstual dan bervariasi.

Berdasarkan hal tersebut, terdapat rumusan masalah yaitu, (1) bagaimana vegetasi pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru, (2) bagaimana serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru, (3) bagaimana pemanfaatan hasil penelitian untuk pengembangan modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui vegetasi pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru, mengetahui serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru, dan mengembangkan modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara berdasarkan hasil penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Pekanbaru khususnya di seluruh Jalur Hijau Kota Pekanbaru pada bulan November 2015 hingga Januari 2016 yang ditentukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu berdasarkan ketersediaan jalur hijau di Kota Pekanbaru. Jalur hijau yang dipilih sebagai lokasi penelitian meliputi: Jl. Soekarno Hatta (Lokasi I), Jl. Riau Ujung (Lokasi II), Jl. SM. Amin (Lokasi III), Jl. Naga Sakti (Lokasi IV), Jl. Nangka Ujung (Lokasi V), Jl. Arifin Ahmad (Lokasi VI), Jl. Tuanku Tambusai (Lokasi VII), Jl. Cut Nyak Dien (Lokasi VIII), Jl. Riau (Lokasi IX), Jl. Yos Sodarso (Lokasi X), Jl. Umban Sari (Lokasi XI), Jl. Pramuka-Pramuka Ujung (Lokasi XII), Jl. Sudirman (Lokasi XIII), Jl. Meranti (Lokasi XIV), Jl. Siak II (Lokasi XV), Jl. Tanjung Datuk (Lokasi XVI), Jl. Sutan Syarif Qasim (Lokasi XVII), Jl. Hangtuah (Lokasi XVIII), Jl. Soetomo (Lokasi XIX), Jl. Diponegoro XI (Lokasi XX), Jl. Gajah Mada (Lokasi XXI), Jl. Parit Indah (Lokasi XXII), dan Jl. Diponegoro (Lokasi XXIII). Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera digital, meteran kain, *tally counter* dan klinometer. Parameter yang digunakan meliputi vegetasi pohon, luas tutupan tajuk dan serapan CO₂.

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan metode survei, pengumpulan data lapangan menggunakan metode transek (jalur). Masing-masing jalan dianggap satu jalur yang dibagi menjadi beberapa substransek sepanjang 500 m. Pohon yang diukur mencakup semua individu pohon yang tumbuh di tepi jalan dan median jalan baik untuk kategori pohon dewasa (diameter >10cm) maupun pohon yang lebih kecil (sapling, diameter 2,5-10cm) yang terdapat pada masing-masing substransek diukur keliling batang setinggi dada dan tinggi pohon.

Data vegetasi pohon dianalisis secara kuantitatif menurut Mueller-Dombois dan Ellenberg (1974) untuk mengetahui kerapatan, kerapatan relatif, frekuensi, frekuensi relatif, dominansi, dominansi relatif, indeks keanekaragaman, indeks nilai penting dan luas tutupan tajuk pada masing-masing lokasi. Selanjutnya, data dianalisis untuk mengetahui serapan CO₂ dengan menghitung biomassa pohon terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan allometrik (Maurin, dkk., 2012 dan Handi, 2012) sebagai berikut:

$$Y = 0,0509 \times \rho \times DBH^2 \times T$$

Keterangan :

Y = biomassa total (kg)

ρ = berat jenis kayu ($\text{gr/cm}^3 = 0,68 \text{ gr/cm}^3$)

DBH = diameter setinggi dada (m)

T = tinggi tanaman (m)

Jika semua data biomassa tegakan yang diperoleh pada suatu lahan di jumlahkan maka akan didapatkan total biomassa per lahan (kg/luasan lahan), yang selanjutnya dapat dihitung biomassa per hektar dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n W_{pi}}{A} \times 10.000$$

Keterangan :

W = total biomassa pohon (ton/ha)

n = jumlah pohon

W_{pi} = biomassa pohon (ton)

A = luas area (m^2)

Cadangan karbon (*C-stock*) dihitung dengan menggunakan pendekatan biomassa, karbondioksida yang diserap tanaman melalui proses fotosintesis disimpan dalam bentuk biomassa. Cadangan karbon yang tersimpan dalam bentuk biomassa dapat diketahui dengan mengalikan biomassa dengan fraksi karbon dari biomassa tersebut, yang secara umum sebesar 0,50 (IPPC, 2006; Balitbang Kehutanan, 2010; Ari, 2013)

$$C = W \times 0,5$$

Keterangan :

C = Cadangan karbon tersimpan (ton/ha)

W = Biomassa (ton/ha)

0,5 = Proporsi karbon

Perhitungan serapan CO_2 dapat dilakukan dengan menggunakan hasil perhitungan cadangan karbon (*C-stock*). Adapun rumus perhitungan serapan CO_2 menurut IPCC (2006) adalah sebagai berikut.

$$EC = 3,67 \times C$$

Keterangan :

EC = Serapan CO_2 (ton CO_2 /ha)

3,67= Nilai molekul relatif (MR) dari CO_2 terhadap karbon : $44/12$ (ton CO_2 /ton C)

C = Cadangan karbon tersimpan (ton C/ha)

Berdasarkan hasil penelitian analisis vegetasi dan serapan CO_2 , maka selanjutnya akan dilakukan pengembangan menjadi bahan ajar berupa modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara pada mata pelajaran biologi di SMA kelas X. Pengembangan modul dilakukan dengan menggunakan model ADDIE yaitu pada tahap *Analysis*, *Design*, dan *Development*. Modul yang dikembangkan kemudian divalidasi dan dilakukan uji coba terbatas. Validasi dilakukan oleh 2 ahli materi, 1 ahli kependidikan dan 2 tenaga kependidikan (guru) dengan instrumen berupa lembar validasi, sedangkan uji coba terbatas dilakukan dengan menggunakan instrumen berupa lembar angket uji coba terbatas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Vegetasi Pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

Secara keseluruhan, ditemukan 21 suku, 49 jenis dan 11.588 individu di Jalur Hijau Kota Pekanbaru. Hasil analisis vegetasi pohon di 23 lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis vegetasi pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

No.	Lokasi	Parameter				
		Jumlah Jenis	Kerapatan (pohon/Ha)	Frekuensi	Dominansi (m ² /ha)	Indeks Keanekaragaman
1	I	23	160,953	8,588	7,472	2,339
2	II	8	461,433	5,333	28,273	1,254
3	III	15	391,477	4,818	226,056	1,135
4	IV	3	1.070,270	2,800	66,265	0,790
5	V	11	765,920	6,600	408,577	1,327
6	VI	19	395,652	10,000	168,466	1,884
7	VII	8	685,259	4,429	100,224	0,806
8	VIII	16	604,286	4,750	207,982	1,610
9	IX	9	176,531	4,400	40,983	1,582
10	X	15	173,939	4,182	44,665	1,644
11	XI	9	344,737	5,000	148,372	1,367
12	XII	14	151,587	6,500	46,458	1,949
13	XIII	17	439,221	3,615	272,897	1,683
14	XIV	7	1.162,162	7,000	713,809	0,940
15	XV	11	110,484	4,333	47,186	1,474
16	XVI	10	400,000	5,333	167,828	1,600
17	XVII	9	171,014	5,000	74,259	1,513
18	XVIII	10	129,703	4,200	67,183	1,755
19	XIX	10	209,091	5,000	155,073	1,343
20	XX	4	212,000	4,000	137,938	1,169
21	XXI	1	595,000	1,000	439,471	0,000
22	XXII	9	304,110	4,571	158,152	1,288
23	XXIII	12	454,082	9,667	83,764	1,850
Rerata		10,87	416,040	5,266	165,711	1,404

Berdasarkan Tabel 1., dapat dilihat bahwa jumlah jenis pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru bervariasi antara 1 sampai 23 jenis pada masing-masing lokasi. Jumlah jenis yang paling banyak terdapat di Jalan Soekarno Hatta dan yang paling sedikit di Jalan Gajah Mada. Kerapatan pada masing-masing lokasi berkisar antara 110,484 sampai 1.162,162 pohon/ha. Kerapatan tertinggi terdapat di Jl. Meranti dan kerapatan terendah terdapat di Jl. Siak II. Berdasarkan rerata kerapatan Jalur Hijau Kota Pekanbaru yang diperoleh yaitu 416,040 pohon/ha termasuk golongan baik. Menurut Indriyanto (2008), kerapatan yang lebih dari 60% atau 240 pohon/ha merupakan kerapatan yang tergolong baik.

Penyebaran setiap jenis dapat digambarkan oleh nilai frekuensi. Frekuensi merupakan sebaran suatu jenis yang terdapat di suatu kawasan. Tinggi rendahnya nilai frekuensi jenis menunjukkan tingkat penyebaran suatu jenis terhadap jenis lainnya. Nilai frekuensi tertinggi terdapat di Lokasi VI (Jl. Arifin Ahmad) sebesar 10,000,

sedangkan nilai frekuensi terendah terdapat di Lokasi XXI (Jl. Gajah Mada) sebesar 1,000. Rerata nilai frekuensi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru sebesar 5,266.

Dominansi merupakan penguasaan dari suatu jenis perunit area atau dalam suatu daerah. Nilai dominansi tertinggi terdapat di Lokasi XIV (Jl. Meranti) sebesar 713,809 m/ha, sedangkan nilai dominansi terendah terdapat di Lokasi I (Jl. Soekarno Hatta) sebesar 7,472 m/ha. Rerata nilai dominansi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru sebesar 165,711 m/ha.

Indeks keanekaragaman masing-masing lokasi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru memiliki nilai yang berbeda-beda mulai yang terendah sampai yang tertinggi. Indeks keanekaragaman tertinggi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru terdapat pada Lokasi I (Jl. Soekarno Hatta) sebesar 2,339. Tingginya indeks keanekaragaman pada Lokasi I dikarenakan jumlah jenis yang paling banyak dibandingkan dengan lokasi lainnya, sedangkan di Lokasi XXI (Jl. Gajah Mada) tidak memiliki nilai indeks keanekaragaman. Tidak adanya nilai indeks keanekaragaman di Lokasi XXI disebabkan karena di lokasi ini hanya memiliki 1 jenis pohon yang dapat ditemukan yaitu Mahoni (*Swietenia macrophylla*). Rerata indeks keanekaragaman pohon di Jalur Hijau Kota Pekanbaru adalah 1,404 yang menunjukkan bahwa tingkat keanekaragaman jenisnya termasuk dalam kategori sedang. Menurut Shannon Wiener (dalam Odum, 1996), jika nilai indeks keanekaragaman lebih kecil dari 1 berarti keanekaragaman jenis rendah, jika diantara 1-3 berarti keanekaragaman jenis sedang, jika lebih besar dari 3 berarti keanekaragaman jenis tinggi.

Hasil analisis vegetasi yang menunjukkan jenis-jenis pohon dengan Indeks Nilai Penting (INP) besar, dikategorikan sebagai pohon penyusun utama di Jalur Hijau Kota Pekanbaru. Secara keseluruhan, jenis yang terdapat di Jalur Hijau Kota Pekanbaru, jenis yang memiliki Indeks Nilai Penting tertinggi adalah Mahoni (*Swietenia macrophylla*) sebesar 94,469% dengan kategori INP tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa Mahoni (*Swietenia macrophylla*) merupakan jenis penyusun utama di Jalur Hijau Kota Pekanbaru. Selain itu, jenis ini juga memiliki peranan yang paling penting dan mempunyai daya adaptasi, daya kompetisi serta kemampuan reproduksi yang lebih baik dibandingkan jenis lainnya.

Tutupan Tajuk di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

Luas keseluruhan Jalur Hijau penelitian di Kota Pekanbaru sebesar 34,682 ha dengan luas tutupan tajuk (*crown cover*) sebesar 10,098 ha. Hal ini menunjukkan bahwa sebesar 29,12% dari luas keseluruhan Jalur Hijau Kota Pekanbaru yang ditutupi oleh vegetasi pohon. Persentase tutupan tajuk tertinggi terdapat di Lokasi XIV (Jl. Meranti) sebesar 104,05%, sedangkan persentase tutupan tajuk terendah terdapat di Lokasi IX (Jl. Riau) sebesar 10,31%. Persentase tutupan tajuk tertinggi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru berturut-turut berasal dari jenis Mahoni (*Swietenia macrophylla*) sebesar 41,122%, Angsana (*Ptetocarpus indicus*) sebesar 24,857%, dan Ketapang (*Terminalia catappa*) sebesar 9,040%.

Semakin tinggi nilai luas tutupan tajuk akan mempengaruhi serapan CO₂. Hal ini dikarenakan semakin luas tutupan tajuk maka jumlah daun pada tanaman tersebut semakin banyak sehingga proses fotosintesis akan semakin meningkat. Oleh karena itu, tingginya proses fotosintesis akan meningkatkan serapan CO₂ pada tanaman. Menurut Ceulmens dan Sauger (1991), fotosintesis tanaman bervariasi tidak hanya karena

pengaruh lingkungan tetapi juga karena pengaruh umur dan posisi daun pada kanopi. Umur daun berkaitan dengan kandungan klorofil dan plastisitas pembukaan stomata yang mana kedua faktor ini menentukan besarnya fotosintesis.

Serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

Serapan CO₂ ditentukan dengan melakukan pendugaan biomassa dan cadangan karbon terlebih dahulu. Cadangan karbon merupakan 50% dari biomassa pohon yang dihitung. Hasil perhitungan serapan CO₂ pada vegetasi pohon di masing-masing lokasi Jalur Hijau Kota Pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

No	Lokasi	Total Biomassa (ton/ha)	Total Cadangan Karbon (ton/ha)	Total Serapan CO ₂ (ton/ha)
1	I	3,235	1,618	5,936
2	II	16,455	8,227	30,194
3	III	10,465	5,233	19,203
4	IV	1,837	0,918	3,370
5	V	19,388	9,694	35,576
6	VI	11,233	5,616	20,612
7	VII	2,975	1,488	5,460
8	VIII	10,110	5,055	18,551
9	IX	1,248	0,624	2,290
10	X	3,212	1,606	5,893
11	XI	8,728	4,364	16,015
12	XII	2,428	1,214	4,455
13	XIII	13,313	6,656	24,429
14	XIV	28,194	14,097	51,736
15	XV	2,393	1,196	4,391
16	XVI	7,663	3,831	14,061
17	XVII	3,050	1,525	5,596
18	XVIII	3,111	1,555	5,708
19	XIX	7,041	3,520	12,920
20	XX	6,077	3,038	11,151
21	XXI	20,130	10,065	36,939
22	XXII	7,358	3,679	13,502
23	XXIII	3,426	1,713	6,287
Total		193,066	96,533	354,276

Berdasarkan Tabel 2., serapan CO₂ paling tinggi ditemukan di Lokasi XIV (Jl. Meranti) yaitu sebesar 51,736 ton/ha, sedangkan yang paling rendah ditemukan di Lokasi IX (Jl. Riau) yaitu sebesar 2,290 ton/ha. Lokasi XIV memiliki potensi paling tinggi dalam menyerap CO₂ karena vegetasi pohon pada lokasi ini memiliki perawakan yang sangat besar. Selain itu, lokasi tersebut juga memiliki persentase tutupan tajuk dan kerapatan tertinggi dibandingkan dengan lokasi lainnya sehingga dapat meningkatkan serapan CO₂. Rahayu, dkk (2007) menyatakan bahwa cadangan karbon dan serapan CO₂ pada suatu sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh jenis vegetasinya. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan jenis yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai jenis dengan nilai kerapatan kayu rendah.

Lokasi IX (Jl. Riau) memiliki potensi paling kecil dalam menyerap CO₂ karena vegetasi pohon di lokasi tersebut umumnya memiliki perawakan cukup kecil dan kerapatan yang relatif jarang. Selain itu, tutupan tajuk di Lokasi IX (Jl. Riau) termasuk

paling rendah sehingga mempengaruhi kecilnya potensi serapan CO₂. Hairiah dan Rahayu (2007) menyatakan bahwa jumlah karbon tersimpan dan serapan CO₂ antar lahan tersebut berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta pengelolaannya.

Selain jenis vegetasi, serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru juga dipengaruhi oleh diameter batang pohon. Semakin besar kelas diameter pohon maka semakin besar rata-rata serapan CO₂ di Jalur Hijau Kota Pekanbaru. Oleh karena itu, rata-rata serapan CO₂ per pohon berbanding lurus dengan ukuran diameternya. Menurut Purwasih, dkk., (2012), semakin besar diameter maka semakin besar nilai biomassa yang terdapat dalam suatu tanaman.

Berdasarkan jumlah serapan CO₂, maka kelas diameter yang memiliki serapan CO₂ tertinggi adalah kelas diameter diantara 30 cm – 39,9 cm sebesar 41,778 ton/ha dan 153,325 ton/ha, sedangkan jumlah serapan CO₂ terendah berasal dari pohon yang memiliki kelas diameter dibawah 10 cm yaitu sebesar 0,553 ton/ha. Tingginya jumlah serapan CO₂ pada kelas diameter diantara 30 cm – 39,9 cm dikarenakan pengaruh jumlah individu. Hal ini juga terjadi pada kelas diameter diatas 40 cm. Sedikitnya jumlah individu pada kelas diameter diatas 40 cm ini menyebabkan jumlah serapan CO₂ lebih rendah dibandingkan kelas diameter 20 cm – 39,9 cm.

Pada lokasi penelitian, terdapat jenis-jenis pohon yang memiliki nilai serapan CO₂ yang berbeda-beda. Lima jenis yang memiliki serapan CO₂ tertinggi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis pohon yang memiliki serapan CO₂ tertinggi di Jalur Hijau Kota Pekanbaru

No	Suku	Nama ilmiah	Nama lokal	Jumlah individu	Serapan CO ₂ (ton/ha)
1	Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i>	Mahoni	4.017	171,406
2	Fabaceae	<i>Ptetocarpus indicus</i>	Angsana	2.341	90,075
3	Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Ketapang	606	27,476
4	Fabaceae	<i>Acacia sp</i>	Akasia	312	16,788
5	Fabaceae	<i>Albizia saman</i>	Trembesi	275	11,247
6	Lain-lain			4.007	40,013
Total				11.558	354,276

Berdasarkan Tabel 3., jenis yang memiliki kemampuan serapan CO₂ yang baik di Jalur Hijau Kota Pekanbaru adalah Mahoni (*Swietenia macrophylla*). Hal ini didukung oleh hasil analisis vegetasi pohon Mahoni yang menunjukkan bahwa jenis tersebut merupakan jenis yang berperan penting di Jalur Hijau Kota Pekanbaru. Ditinjau dari jumlah individu, kerapatan, frekuensi dan dominansi, Mahoni memiliki nilai paling tinggi dibandingkan dengan jenis lain. Selain itu, Mahoni juga termasuk jenis yang memiliki tutupan tajuk terluas di Jalur Hijau Kota Pekanbaru.

Biomassa pohon pada lokasi penelitian adalah 193,066 ton/ha, cadangan karbon sebesar 96,533 ton/ha dan serapan CO₂ sebesar 354,276 ton/ha. Sehingga Jalur Hijau Kota Pekanbaru yang memiliki luas 34,682 ha didapat jumlah CO₂ yang diserap adalah sebesar 12.287 ton. Nilai serapan CO₂ menyatakan banyaknya CO₂ diudara yang diserap oleh tanaman dalam bentuk biomassa melalui proses fotosintesis. Jumlah CO₂ yang semakin meningkat di atmosfer pada saat ini harus diimbangi dengan jumlah serapannya oleh tanaman guna menghindari pencemaran udara. Dengan demikian, dapat diramalkan beberapa banyak tanaman harus ditanam pada suatu lahan untuk mengimbangi jumlah CO₂ yang terbebas di atmosfer.

Menurut Bagus (2014), keberadaan jalur hijau memiliki peran penting untuk menjaga kestabilan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Dengan demikian, adanya luasan jalur hijau yang terjaga dan dikelola dengan baik akan mampu mencegah berbagai kerusakan alam yang sering dihubungkan dengan fenomena lingkungan seperti pencemaran udara dan perubahan iklim.

Pengembangan Modul Konsep Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara pada Mata Pelajaran Biologi di SMA Kelas X

Hasil penelitian yang didapatkan dikembangkan menjadi bahan ajar berupa unit modul pembelajaran. Langkah pengembangan unit pembelajaran dilakukan menggunakan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation* dan *Evaluation*). Namun dalam pengembangan modul ini hanya dilakukan pada tahap *analysis, design* dan *development*.

Modul yang dikembangkan selanjutnya dilakukan validasi. Aspek penilaian modul meliputi aspek isi, aspek bahasa, aspek sajian, aspek kesesuaian dan aspek kegrafisan. Hasil validasi tertinggi hingga terendah berturut-turut adalah aspek kesesuaian dengan rerata 4,40 (sangat valid), aspek isi dengan rerata 4,36 (sangat valid), aspek kegrafisan dengan rerata 4,25 (sangat valid), aspek sajian dengan rerata 4,16 (valid), dan aspek bahasa dengan rerata 4,05 (valid).

Secara umum, dari 5 aspek penilaian pada modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara, maka modul ini memiliki rerata 4,24 dengan kategori sangat valid sehingga modul pembelajaran ini dapat digunakan oleh peserta didik dalam pembelajaran konsep upaya penanggulangan pencemaran udara dengan sedikit revisi. Adapun saran-saran yang diberikan validator terhadap unit modul pembelajaran ini adalah perbaikan peta konsep, penyesuaian isi materi dengan tingkat kognitif peserta didik SMA kelas X, perbaikan soal-soal latihan, dan penggunaan bahasa yang efektif dan efisien agar mudah dipahami oleh peserta didik.

Berdasarkan saran-saran yang telah diberikan oleh validator, maka perlu dilakukan revisi atau perbaikan terhadap unit modul pembelajaran ini. Unit modul pembelajaran ini merupakan hasil perbaikan berdasarkan saran-saran tersebut untuk digunakan dalam pembelajaran konsep upaya penanggulangan pencemaran udara. Adanya unit modul pembelajaran ini, diharapkan dapat memberikan kemudahan bagi peserta didik dalam memahami konsep upaya penanggulangan pencemaran udara. Selain itu, juga dapat menambah wawasan peserta didik mengenai upaya penanggulangan pencemaran udara dengan ketersediaan jalur hijau sehingga dapat menimbulkan kesadaran untuk tetap melestarikan jalur hijau sekitar.

Uji Coba Terbatas Modul Konsep Upaya Penanggulangan Pencemaran Udara pada Mata Pelajaran Biologi di SMA Kelas X

Modul yang telah divalidasi oleh validator, selanjutnya dilakukan uji coba terbatas untuk melihat keterpakaian modul yang telah dikembangkan tersebut. Uji coba terbatas pada penelitian ini dilaksanakan pada peserta didik MAN 1 Pekanbaru kelas X berjumlah 10 orang. Pemilihan responden dilakukan secara acak. Respon peserta didik terhadap penggunaan modul konsep penanggulangan pencemaran udara dapat diketahui

dengan memberikan angket uji coba terbatas Terdapat 12 pernyataan dalam angket tersebut.

Komponen uji coba terbatas yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada komponen mengenai modul menggunakan bahasa yang sesuai dengan EYD dan komponen mengenai modul menggunakan bahasa yang komunikatif, efektif dan mudah dipahami sebesar 92,50 dengan kategori sangat baik. Tingginya nilai pada komponen tersebut dapat membantu peserta didik dalam memahami konsep upaya penanggulangan pencemaran udara melalui modul dari segi bahasa yang digunakan. Komponen uji coba terbatas yang memiliki nilai terendah terdapat pada komponen mengenai modul dapat meningkatkan motivasi peserta didik untuk mempelajarinya sebesar 77,50 dengan kategori baik. Rendahnya peran modul dalam meningkatkan motivasi peserta didik dapat disebabkan karena rendahnya minat peserta didik dalam proses pembelajaran. Oleh karena itu, perlu adanya peranan guru untuk meningkatkan minat dan motivasi peserta didik agar tujuan pembelajaran dapat tercapai dan modul dapat digunakan secara optimal.

Secara keseluruhan, hasil uji coba terbatas modul oleh peserta didik SMA kelas X menunjukkan nilai rerata 83,96 dengan kategori baik. Berdasarkan hasil tersebut, modul konsep upaya penanggulangan pencemaran yang telah dikembangkan ini dapat digunakan pada proses pembelajaran. Modul yang telah diuji cobakan ini telah direvisi sesuai dengan saran dan kekurangan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Vegetasi pohon di 23 lokasi Jalur Hijau Kota Pekanbaru memiliki 21 suku, 49 jenis dan 11.588 individu. Jalur Hijau Kota Pekanbaru memiliki rerata kerapatan sebesar 416,040 pohon/ha, rerata frekuensi sebesar 5,266, rerata dominansi sebesar 165,711 m²/ha dan rerata indeks keanekaragaman 1,404 (kategori sedang). Jenis yang memiliki indeks nilai penting tertinggi adalah Mahoni (*Swietenia macrophylla*) sebesar 94,468%. Luas tutupan tajuk pada 23 lokasi penelitian di Jalur Hijau Kota Pekanbaru sebesar 10,098 ha.
2. Pada 23 lokasi penelitian di Jalur Hijau Kota Pekanbaru ditemukan serapan CO₂ sebesar 354,276 ton/ha. Luas keseluruhan 23 lokasi penelitian di Jalur Hijau Kota Pekanbaru adalah 34,682 ha, sehingga diperoleh jumlah serapan CO₂ sebesar 12.287,00 ton
3. Modul pembelajaran biologi konsep upaya penanggulangan pencemaran lingkungan dapat dijadikan sebagai bahan ajar tambahan dengan hasil validasi yang menunjukkan kategori sangat valid (4,24) dan hasil uji coba terbatas yang menunjukkan kategori baik (83,96).

Saran

Modul konsep upaya penanggulangan pencemaran udara yang dihasilkan dari penelitian ini selanjutnya direkomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada tahap implementasi dan evaluasi modul dalam pembelajaran biologi di SMA kelas X.

DAFTAR PUSTAKA

- Ari Wibowo. 2013. *Menghitung Cadangan Karbon dan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Kehutanan*. Pusat Litbang Perubahan Iklim dan Kebijakan Yogyakarta.
- Badan Lingkungan Hidup Kota Pekanbaru. 2014. *Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Pekanbaru*. Pekanbaru
- Badan Pusat Statistik Pekanbaru. 2015.
- Bagus Setiawan. 2014. Inventarisasi Pohon Pelindung dan Potensinya sebagai Penyerap Karbon Dioksida (CO₂) serta Penyimpan Karbon di Jalan Raya Kota Malang. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Malang.
- Balitbang Kehutanan. 2010. Pedoman Pengukuran Karbon Mendukung Penerapan REDD+ di Indonesia. Kementerian Kehutanan Indonesia.
- Ceulmens, R.J. dan B. Sauger. 1991. Photosynthesis. In: *Physiology of Tress*. Raghavendra, A.S. (Ed).pp. 21-50. Wiley & Sons Publ. New York 262p.
- Hairiah K dan Rahayu S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre. Bogor.
- Handi Supriadi. 2012. Peran tanaman karet dalam mitigasi perubahan iklim. *Jurnal buletin RISTRI* 3(1) : 79-90. Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar. Bandung.
- Indriyanto. 2008. *Pengantar Budidaya Hutan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Intergovernmental Panel in Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Maurin P, Rahmawaty, Riswan. 2012. Pendugaan Cadangan Karbon Above Ground Biomass (AGB) pada Tegakan Hutan Alam di Kabupaten Langkat. *Jurnal kehutanan* 1(3) : 99-105. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Mueller-Dombois, d dan h Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley & Sons. New York.
- Nursal, Yuslim F., dan Syukria I.Z. 2005. Keragaman Jenis Pohon Pelindung Jalan pada Jalur Hijau Kota Pekanbaru. *Jurnal Pilar Sains* 4(1): 56-62. Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau. Pekanbaru.
- Odum, E.P. 1996. *Dasar-Dasar Ekologi*. Terjemahan T. Samingan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Purwasih, H., Latifah, S., dan Sukmana, A. 2012. *Identifikasi Jenis Tanaman di Beberapa Jalur Hijau Jalan Kota Medan*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Rahayu, S., Lusiana, B, dan Van Noordwijk, M. 2007. *Pendugaan Cadangan Carbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur*. World Agroforestry Centre. Bogor.