

COMPOSITION AND STRUCTURE OF VEGETATION IN RIAU UNIVERSITY ARBORETUM AS A STORE OF CARBON STOCK TO DEVELOP MODULE FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION COURSES

Cashter Furqan¹, Sri Wulandari², Nursal³

*e-mail: mr.cash.nusantaran@gmail.com, +6282174683366, wulandari_sri67@yahoo.co.id, nurs_al@yahoo.com

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstract: *This study aims to determine the composition, structure, and carbon stock of vegetation in Riau University Arboretum and to develop module in natural environment concept for environmental education courses. Conducted from November 2015 until January 2016. This study conducted in 2 step i.e. (1) Vegetation analysis and carbon stock estimation; (2) Module development. The methods to collect data is using survey and the observation took place in Riau University Arboretum. Sampling location are determine using purposive random sampling by considering vegetation condition, environment, and topographic. Module is developed using ADDIE model. Parameter in this study are vegetation analysis, biomass, and carbon estimation. Vegetation in Riau University Arboretum consist of 25 family, 44 species, and 604 individual with medium category (2,94) for diversity. Hevea brasiliensis is the species with highest importance value index (74,05%). Total of biomass and carbon stock in study location are 2,23 ton/ha and 1,12 ton C/ha. Module that developed from outcome of the study is in valid category (4,1) and limited test shows that the module in very good category (89,3).*

Key Word : *Riau University Arboretum, carbon stock, module*

KOMPOSISI DAN STRUKTUR VEGETASI ARBORETUM UNIVERSITAS RIAU SEBAGAI PENYIMPAN CADANGAN KARBON UNTUK PENGEMBANGAN MODUL MATA KULIAH PENDIDIKAN LINGKUNGAN

Cashter Furqan¹, Sri Wulandari², Nursal³

*e-mail: mr.cash.nusantaran@gmail.com, +6282174683366, wulandari_sri67@yahoo.co.id,
nurs_al@yahoo.com

Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi, struktur, dan cadangan karbon tersimpan pada vegetasi Arboretum Universitas Riau serta mengembangkan modul konsep lingkungan alami pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan. Dilaksanakan pada bulan November 2015-Januari 2016. Penelitian ini dilaksanakan dengan 2 tahap yaitu (1) tahap analisis vegetasi dan perhitungan cadangan karbon; (2) tahap pengembangan modul. Penelitian menggunakan metode survei dengan melakukan observasi di Arboretum Universitas Riau. Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara *purposive random sampling*, dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi, lingkungan, dan topografi dan sampel diambil dengan menggunakan metode garis berpetak. Pengembangan modul dilakukan dengan model ADDIE. Parameter dalam penelitian ini meliputi analisis vegetasi, perhitungan biomassa dan cadangan karbon. Vegetasi Arboretum Universitas Riau memiliki 25 famili, 44 jenis dan 604 individu serta indeks keanekaragaman kategori sedang (2,94). Jenis yang memiliki INP tertinggi adalah *Hevea brasiliensis* (74,05%). Biomassa dan cadangan karbon yang terdapat pada lokasi penelitian sebesar 2,23 ton/ha dan 1,12 ton C/ha. Modul yang dikembangkan dari hasil penelitian tergolong valid (4,1) dan hasil uji terbatas oleh peserta didik menunjukkan kategori sangat baik (89,3).

Kata kunci: Arboretum Universitas Riau, cadangan karbon, modul

PENDAHULUAN

Pendidikan Lingkungan merupakan salah satu upaya yang dikembangkan oleh masyarakat dunia untuk mengoptimalkan peran masyarakat dalam mengatasi permasalahan lingkungan. Secara umum topik yang dibahas pada mata kuliah ini membahas tentang konsep dan aplikasi pendidikan lingkungan dalam kehidupan dan pembelajaran. Meskipun topik-topik yang dibahas sangat menarik dan menantang pemikiran komprehensif dan holistik, namun fenomena yang dimuat dalam referensi yang tersedia umumnya berupa hasil penelitian global. Ketersediaan bahan ajar berdasarkan hasil penelitian fenomena lokal sangat penting artinya untuk memperkaya bahan ajar pendidikan lingkungan di perguruan tinggi terutama pada konsep lingkungan alami kampus dalam mata kuliah pendidikan lingkungan.

Pengamatan lingkungan alami kampus merupakan salah satu konsep yang terdapat dalam mata kuliah pendidikan lingkungan, dalam konsep ini peserta didik dituntut agar dapat mengidentifikasi permasalahan pada lingkungan alami disekitar kampus. Lingkungan alami yang tepat untuk diteliti pada Universitas Riau adalah Arboretum. Sejauh ini belum pernah dilakukan penelitian untuk mendapatkan informasi kandungan cadangan karbon yang tersimpan pada tumbuhan hidup di kawasan tersebut.

Salah satu bahan ajar yang tepat untuk menunjang tujuan ini adalah modul. Dengan menggunakan modul peserta didik belajar secara individual, dituntut lebih aktif dalam belajar, dan terlibat langsung dalam pembelajaran. Tuntutan sebagai seorang calon guru biologi profesional adalah tidak hanya menguasai materi ataupun membuat perangkat pembelajaran saja, akan tapi juga mampu mengintegrasikan hasil penelitian ke dalam pembelajaran. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai komposisi dan struktur vegetasi sebagai penyimpan cadangan karbon pada Arboretum Universitas Riau untuk pengembangan modul pada mata kuliah pendidikan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Arboretum Universitas Riau pada bulan November 2015 hingga Januari 2016, penentuan lokasi dilakukan dengan metode *purposive random sampling* dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi, lingkungan, dan topografi. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera digital, meteran kain, *tally counter* dan klinometer. Parameter yang digunakan meliputi analisis vegetasi, biomassa dan cadangan karbon.

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan metode survei, pengumpulan data lapangan menggunakan metode garis berpetak. Ukuran plot yang digunakan adalah 20x20 m sebanyak 27 plot.

Data vegetasi yang dikumpulkan dianalisis untuk mendapatkan nilai Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), Dominansi Relatif (DR), Indeks Nilai Penting (INP), Indeks Keanekaragaman, Indeks Keseragaman, dari masing-masing lokasi penelitian. Untuk analisis vegetasi pohon, nilai INP terdiri dari KR, FR, dan DR.

$$\text{Kerapatan jenis (K)} = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis}}{\text{Total luas plot}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif (KR)} = \frac{\text{Kerapatan jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi jenis (F)} = \frac{\text{Jumlah plot yang ditempati suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh plot}}$$

$$\text{Frekuensi relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{BA} = (\text{kll})^2 / 4\pi$$

dimana :

BA = Basal Area

kll = keliling batang pohon (pada ketinggian 130cm)

π = 3,14

Setelah didapat nilai basal area maka dominansi dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$\text{Dominansi jenis (D)} = \frac{\text{Total basal area suatu jenis}}{\text{Total luas plot yang dikerjakan}}$$

$$\text{Dominansi Relatif (DR)} = \frac{\text{Dominansi jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

Nilai Penting, parameter ini menunjukkan nilai kepentingan ekologi suatu jenis tumbuhan di suatu ekosistem. Didapatkan dengan persamaan :

$$\text{Nilai Penting (NP)} = \text{KR} + \text{FR} + \text{DR}$$

Perhitungan Indeks keanekaragaman jenis digunakan rumus sebagai berikut:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dimana : $p_i = n_i/N$

Keterangan :

P_i = Komposisi jenis

H' = indeks keanekaragaman jenis

n_i = nilai penting jenis ke –

N = nilai penting seluruh jenis

Kriteria indeks keanekaragaman jenis menurut Shannon Wiener (Odum, 1996):

$H' < 1$ = tingkat keanekaragaman jenis rendah

$1 < H' < 3$ = tingkat keanekaragaman jenis sedang

$H' > 3$ = tingkat keanekaragaman jenis tinggi

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 ($\text{gr/cm}^3 = 680 \text{ kg/cm}^3$)
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)

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

Keterangan :

C	=	Cadangan karbon tersimpan (ton/ha)
W	=	Biomassa (ton/ha)
0,5	=	Proporsi karbon

Hasil penelitian analisis vegetasi dan cadanga karbon, akan digunakan untuk pengembangan bahan ajar berupa modul konsep lingkungan alami kampus pada mata kuliah pendidikan lingkungan. 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 dengan instrumen berupa lembar validasi,

sedangkan uji coba terbatas dilakukan dengan menggunakan instrumen berupa lembar angket uji coba terbatas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Arboretum Universitas Riau

Kawasan Arboretum Universitas Riau memiliki luas ± 10 ha. Arboretum terletak di kota Pekanbaru dengan ketinggian 5-50 dpl sehingga termasuk kedalam vegetasi tropis dataran rendah. Suhu rata-rata arboretum adalah 28-29 °C dengan kelembaban rata-rata 74-75%. Di dalam arboretum terdapat sebuah aliran sungai. Daerah yang berada dekat dengan sungai ini tanahnya berlumpur dan basah. Kondisi ini menjadi salah satu faktor penentu jenis tumbuhan yang mampu beradaptasi.

Jenis tanah yang terdapat pada arboretum adalah inceptisol. Inceptisol adalah tanah yang belum matang (*immature*) dengan perkembangan profil yang lebih lemah dibanding dengan tanah matang dan masih banyak menyerupai sifat bahan induknya (Hardjowigeno *dalam* Resman *et al*, 2006).

Komposisi Jenis Pohon Pada Arboretum Universitas Riau

Komposisi merupakan penyusun suatu tegakan yang meliputi jumlah jenis/famili ataupun banyaknya individu dari suatu jenis pohon. Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan di kawasan arboretum Universitas Riau, ditemukan 43 jenis pohon yang termasuk kedalam 25 famili dengan jumlah individu sebanyak 604 batang. Famili, Jenis dan jumlah individu yang terdapat pada arboretum Universitas Riau dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah famili, jenis, dan individu pohon pada Arboretum Universitas Riau

NO	STASIUN	FAMILI	JENIS	INDIVIDU
1	I	19	30	222
2	II	23	34	216
3	III	8	16	166
JUMLAH FAMILI			25	
JUMLAH JENIS			44	
JUMLAH INDIVIDU			604	

Keterangan :

Stasiun I : Bagian Timur Waduk Fakultas Perikanan

Stasiun II : Bagian Utara, Jembatan Kupu-Kupu

Stasiun III : Bagian Barat Stadion Mini Universitas Riau

Berdasarkan Tabel 1. Untuk keseluruhan stasiun terdapat jumlah famili yang berbeda-beda yaitu berkisar antara 8-23 famili. Jumlah famili terbanyak ditemukan pada stasiun II sebanyak 23 famili dan famili terendah terdapat pada stasiun III yaitu 8 famili. Komposisi dari setiap famili yang terdapat pada ketiga stasiun penelitian relatif sama, tetapi hanya famili Apocynaceae, Euphorbiaceae, Leguminosae, Moraceae, Myrtaceae,

Myrtaceae, Sapindaceae, Stemonuraceae yang terdapat pada ketiga stasiun. Hal ini menunjukkan tingkat penyebaran dan adaptasi yang tinggi dari masing-masing famili ini terhadap kondisi fisik lingkungan arboretum, sehingga dapat dijumpai pada ketiga lokasi pengamatan.

Famili dengan jumlah spesies terbanyak ialah famili Leguminosae sedangkan famili dengan jumlah jenis terendah terdiri dari famili Burseraceae, Dilleniaceae, Ebenaceae, Elaeocarpaceae, Hypericaceae, Ixonanthaceae, Lecythidaceae, Malvaceae, Myristicaceae, Oxalidaceae, Rubiaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Stemonuraceae, Thymelaeaceae, dimana masing-masing famili tersebut hanya terdiri dari 1 jenis spesies saja.

Familli Leguminosae merupakan jenis yang memiliki toleransi yang luas terhadap suhu, kelembaban, dan keadaan tanah serta kompetisi unsur hara sehingga sangat mempengaruhi atau memungkinkan terjadi perkembangan pohon yang baik serta memiliki diameter batang yang cukup besar (Nova et al., 2011). Leguminosae sebagai famili dengan jumlah jenis terbesar pada penelitian ini terdiri dari 5 spesies, yaitu ; *Intsia palembanica*, *Pithecellobium lobatum*, *Acacia auriculiformis*, *Callerya atropurpurea*, *Dalbergia latifolia*. Dari kelima spesies tersebut hanya *Callerya atropurpurea* yang dapat ditemukan pada seluruh stasiun. Ini menunjukkan bahwa spesies tersebut memiliki tingkat adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan di arboretum.

Struktur Komunitas Vegetasi Arboretum Universitas Riau

Ada Struktur hutan terbentuk dari hasil suatu proses biofisika dan dinamika hutan untuk menggambarkan keanekaragaman dan fungsi suatu ekosistem (Spies, 1998). Hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan struktur komunitas vegetasi di Arboretum Universitas Riau dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Struktur komunitas vegetasi dan indeks keanekaragaman jenis pohon di Arboretum Universitas Riau

NO	STASIUN	JUMLAH JENIS	K (Ind/ha)	F	D (m ² /ha)	H'
1	I	30	616,67	9,89	10,85	3,11
2	II	34	600,00	10,56	10,13	3,45
3	III	16	461,11	4,78	10,71	2,28
RERATA		26,67	559,26	8,41	10,56	2,94

Keterangan :

Stasiun I : Bagian Timur Waduk Fakultas Perikanan

Stasiun II : Bagian Utara, Jembatan Kupu-Kupu

Stasiun III : Bagian Barat Stadion Mini Universitas Riau

Berdasarkan Tabel 2. struktur komunitas vegetasi pada ketiga stasiun di Arboretum Universitas Riau memiliki beberapa perbedaan dari hal kerapatan, frekuensi, dominansi dan tingkat keanekaragamannya. Hal ini mencerminkan variasi penyebaran tumbuhan dalam komunitas. Kerapatan merupakan nilai yang menunjukkan jumlah individu per satuan luas. Nilai kerapatan tertinggi terdapat pada stasiun I yaitu sebesar 616 ind/ha, sedangkan kerapatan terendah pada stasiun III yaitu sebesar 38,52 ind/ha. Spesies yang memiliki nilai kerapatan tertinggi secara keseluruhan ialah *Rhodamnia*

cinerea yaitu sebesar 61,11 ind/ha sedangkan spesies dengan nilai terendah ialah pada spesies *Shorea parvifolia* sebesar 1,85 ind/ha. Nilai kerapatan yang tinggi dari spesies *Rhodamnia cinerea* menunjukkan bahwa tanaman tersebut memiliki kesesuaian tempat tumbuh yang lebih baik dibandingkan dengan jenis lainnya.

Perbedaan struktur komunitas vegetasi lainnya dapat dilihat dari nilai frekuensi dimana nilai frekuensi terbesar terdapat pada stasiun II sebesar 10,6 sedangkan frekuensi terendah terdapat pada stasiun III sebesar 4,78. Frekuensi merupakan nilai yang menunjukkan penyebaran suatu jenis di area studi. Spesies yang memiliki nilai total frekuensi terbesar *Rhodamnia cinerea* sebesar 10,66, sedangkan nilai frekuensi terendah terdapat pada tiga spesies, yaitu *Shorea parvifolia*, *Dyera costulata*, dan *Gluta walichii* dengan nilai frekuensi sebesar 0,04. Hal ini menunjukkan bahwa *Rhodamnia cinerea* merupakan spesies yang penyebarannya cukup luas pada lokasi penelitian dibandingkan spesies lainnya dan spesies tersebut dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan arboretum.

Nilai dominansi masing-masing stasiun pada lokasi penelitian memiliki perbedaan yang tidak terlalu mencolok. Nilai dominansi tertinggi terdapat pada stasiun I sebesar 10,85 m²/ha dan nilai terendah terdapat pada stasiun II sebesar 10,13 m²/ha. Stasiun I memiliki dominansi tertinggi disebabkan nilai basal area spesies di lokasi ini juga cukup tinggi. Nilai Dominansi menunjukkan proporsi antara luas tempat yang ditutupi oleh jenis tumbuhan dengan luas total habitat serta menunjukkan jenis tumbuhan yang dominan didalam komunitas.

Dominansi merupakan nilai yang menunjukkan luas permukaan tanah yang ditutupi oleh suatu individu atau jenis tumbuhan. Salah satu hal yang dapat menentukan luas permukaan tanah yang ditutupi suatu jenis tumbuhan ialah dari basal area atau luas penampang melintang batang. Spesies dengan nilai dominansi tertinggi dari seluruh stasiun pada Arboretum Universitas Riau ialah *Hevea brasiliensis* yaitu sebesar 1,24 m²/ha, sedangkan nilai dominansi terendah ialah *Averrhoa bilimbi* yaitu sebesar 0,02 m²/ha. Tingginya nilai dominansi *Hevea brasiliensis* berbanding lurus nilai basal areanya yang merupakan nilai basal area tertinggi yaitu sebesar 0,45 m², namun hal ini justru berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dari spesies ini, dimana nilai frekuensinya 0,22 dan hanya ditemukan pada stasiun I dan III dengan total menempati 6 dari 27 plot pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa jenis-jenis pohon yang mempunyai nilai dominansi tinggi tidak selalu tersebar secara merata pada lokasi yang bersangkutan. Jenis dominan adalah jenis yang dapat memanfaatkan lingkungan yang ditempatinya secara efisien dari pada jenis lain dalam tempat yang sama.

Berdasarkan tabel 4.2 nilai keanekaragaman pada ketiga stasiun bervariasi. Indeks keanekaragaman menunjukkan jumlah jenis diantara jumlah total individu seluruh jenis yang ada pada lokasi. Untuk stasiun I dan II memiliki tingkat keanekaragaman yang tinggi sebab $H' > 3$ yaitu 3,11 pada stasiun I dan 3,45 pada stasiun II, sedangkan stasiun III memiliki nilai keanekaragaman sedang sebab $1 < H' < 3$ yaitu 2,28. Hal ini sesuai dengan kriteria penentuan tinggi rendahnya tingkat keanekaragaman suatu lokasi menurut Shannon Wiener dalam Odum (1996), yaitu tingkat keanekaragaman jenis rendah jika $H < 1$, tingkat keanekaragaman jenis sedang jika $1 < H < 3$, dan tingkat keanekaragaman jenis tinggi jika $H > 3$.

Hasil analisis vegetasi yang menunjukkan jenis-jenis pohon dengan Indeks Nilai Penting (INP) besar, dikategorikan sebagai penyusun utama vegetasi di Arboretum Universitas Riau. Jenis dengan INP tertinggi pada masing-masing stasiun adalah Pada stasiun I *Rhodamnia cinerea* memiliki nilai penting tertinggi dengan 38,51 %, lalu pada

stasiun II *Macaranga gigantea* memiliki nilai penting tertinggi dengan 14,16 %, dan pada stasiun III *Hevea brasiliensis* memiliki nilai tertinggi dengan 74,05 %. Nilai penting *Rhodamnia cinerea* dan *Hevea brasiliensis* lebih dari 15 % ini menunjukkan bahwa spesies ini berperan pada vegetasi di masing-masing stasiun, sedangkan *Macaranga indica* belum berperan pada vegetasinya sebab INP yang dimilikinya masih kurang dari 15%. Secara umum, tumbuhan dengan INP tinggi mempunyai daya adaptasi, daya kompetisi dan kemampuan reproduksi yang lebih baik dibandingkan dengan tumbuhan yang lain dalam satu lahan tertentu.

Cadangan Karbon Arboretum Universitas Riau

Secara alami, vegetasi tumbuhan mengambil karbon (C) dalam bentuk CO, CO₂ dan CH₄ dari atmosfer yang dihasilkan dari aktivitas antropogenik dan aktivitas respirasi makhluk hidup (Denmann dalam Adi *et al.*, 2013). Nilai karbon tersimpan ditentukan dengan pengukuran biomassa pohon, dimana karbon tersimpan merupakan 46% dari biomassa pohon yang diukur. Biomasa pohon (dalam berat kering) dihitung menggunakan "*allometric equation*" berdasarkan pada diameter batang setinggi 1,3 m di atas permukaan tanah (dalam cm).

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan didapatkan cadangan karbon pada masing-masing stasiun di Arboretum Universitas Riau seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Total biomassa dan cadangan karbon pada masing-masing stasiun di Arboretum Universitas Riau

NO	STASIUN	BIOMASSA (ton/ha)	CADANGAN KARBON (ton C/ha)
1	I	0,79	0,40
2	II	0,67	0,33
3	III	0,77	0,39
TOTAL		2,23	1,12

Keterangan :

Stasiun I : Bagian Timur Waduk Fakultas Perikanan

Stasiun II : Bagian Utara Jembatan Kupu-Kupu

Stasiun III : Bagian Barat Stadion Mini Universitas Riau

Pada Tabel 3. secara keseluruhan total biomassa di Arboretum Universitas Riau sebesar 2,23 ton/ha, cadangan karbon sebesar 1,12 ton/ha dan dengan total serapan CO₂ sebesar 4,09 ton/ha. Luas keseluruhan Arboretum Universitas Riau adalah ±10 ha, sehingga didapatkan total biomassa didapatkan sebesar 22,3 ton dengan total cadangan karbon sebesar 11,2 ton. Cadangan karbon tertinggi berada pada stasiun I yaitu sebesar 0,40 ton/ha dengan kemampuan serapan CO₂ sebesar 1,45 ton/ha. Banyaknya cadangan karbon yang terdapat pada stasiun I disebabkan oleh tingginya tingkat kerapatan pohon yang terdapat pada stasiun tersebut. Pada Stasiun III, walaupun tingkat kerapatan vegetasinya rendah dibanding stasiun yang lain, namun pohon yang terdapat pada lokasi tersebut memiliki diameter yang relatif besar, sehingga cadangan karbonnya tertinggi

kedua yaitu 0,39 ton/ha, hanya terpaut 0,1 ton dari stasiun I. Ini menunjukkan bahwa perbedaan jumlah cadangan karbon pada setiap lokasi penelitian disebabkan karena perbedaan kerapatan tumbuhan pada setiap lokasi. Cadangan karbon pada suatu sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh jenis vegetasinya. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah (Rahayu *et al*, 2007). Hasil penelitian Purwanto Ris Hadi (2012), menunjukkan kriteria cadangan karbon atau (*stock*) karbon di dalam ekosistem hutan dapat dibagi menjadi 3, yaitu *stock* karbon rendah (<35 ton/ha), *stock* karbon sedang (35–100 ton/ha), dan *stock* karbon tinggi (>100 ton/ha). *Stock* karbon atau cadangan karbon yang terdapat pada Arboretum Universitas Riau berdasarkan hasil penelitian memiliki nilai sebesar 11,2 ton dan termasuk ke dalam kategori rendah.

Kemampuan tumbuhan dalam menyerap karbon bervariasi, hal ini disebabkan morfologi, anatomi dan fisiologi setiap tumbuhan berbeda. Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan di Arboretum Universitas Riau, diketahui 5 spesies dengan cadangan karbon dan kemampuan serapan CO₂ tertinggi yaitu *Hevea brasiliensis* merupakan jenis pohon yang memiliki nilai biomassa, cadangan karbon dan serapan CO₂ tertinggi di Arboretum Universitas Riau dengan nilai cadangan karbon sebesar 0,139 ton/ha dan serapan CO₂ sebesar 0,511 ton/ha. Nilai cadangan karbon dan serapan CO₂ tertinggi selanjutnya berturut-turut adalah *Callerya atropurpurea* sebesar 0,088 ton/ha dan 0,323 ton/ha, *Artocarpus elastica* sebesar 0,073 ton/ha dan 0,269 ton/ha, *Rhodamnia cinerea* sebesar 0,068 ton/ha dan 0,249 ton/ha, serta *Sapium baccatum* sebesar 0,058 ton/ha dan 0,211 ton/ha.

Pengembangan Modul Konsep lingkungan Alami Kampus Pada Mata Kuliah Pendidikan Lingkungan

Hasil penelitian komposisi dan struktur vegetasi Arboretum Universitas Riau sebagai penyimpan cadangan karbon digunakan untuk pengembangan modul mata kuliah Pendidikan Lingkungan pada materi pengamatan kondisi lingkungan kampus konsep lingkungan alami. Modul dibuat dengan mengacu pada model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation dan Evaluation*) namun hanya dilaksanakan 3 tahap yaitu *Analysis, Design dan Development*. Tahapan-tahapan tersebut menjadi rujukan dalam pengembangan modul yang dibuat dari hasil penelitian.

Modul yang telah dikembangkan akan divalidasi. Validasi modul akademik ini dilakukan oleh 3 orang dosen yang terdiri dari 1 orang dosen ahli kependidikan dan 2 orang dosen ahli materi. Adapun hasil validasi dari ketiga validator ditampilkan sebagai rerata pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Rerata penilaian unit modul konsep isu lingkungan pada mata kuliah Pendidikan Lingkungan oleh validator

No	Aspek Penilaian	Validator			Rerata
		I	II	III	
1	Isi	4,0	4,5	4,1	4,2
2	Bahasa	3,5	4,0	4,0	3,8
3	Sajian	4,0	4,0	4,0	4,0
4	Kegrafisan	4,2	5,0	4,0	4,4
Rerata		3,9	4,4	4,0	4,1

Keterangan : I = Ahli Materi 1; II = Ahli Materi 2; III = Ahli Pendidikan

Berdasarkan Tabel 4. terlihat bahwa nilai tertinggi diberikan validator pada aspek kegrafisan (4,4) dan tergolong sangat valid, aspek ini meliputi penilaian terhadap penggunaan font (jenis dan ukuran), *layout* dan tata letak, ilustrasi, grafis, gambar, dan foto, serta desain tampilan. Rerata nilai yang tinggi menunjukkan bahwa dari segi grafis dan tampilan modul dapat meningkatkan minat peserta didik untuk membacanya sebab tampilannya menarik. Aspek ini mendapat nilai 4,2 dan tergolong sangat valid. Pada aspek bahasa, unit modul pembelajaran ini dapat dikatakan valid dengan nilai rerata 3,8. Modul dari aspek sajian tergolong valid dengan nilai rerata 4,1.

Secara umum penilaian yang diberikan oleh 3 validator terhadap seluruh aspek penilaian menyatakan bahwa unit modul akademik ini sudah valid dengan rerata 4,1. Sehingga unit modul pembelajaran ini dapat digunakan oleh peserta didik dalam pembelajaran konsep isu lingkungan lokal dengan revisi pada beberapa komponen yang penilaiannya rendah.

Respon mahasiswa terhadap penggunaan modul Pendidikan Lingkungan dapat diketahui dengan memberikan angket uji coba terbatas. Terdapat 12 pernyataan dalam angket tersebut. Hasil respon mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 5. Hasil respon mahasiswa terhadap modul Pendidikan Lingkungan konsep isu lingkungan.

No	Komponen yang dinilai	Skala				N	Nilai	Kategori
		1	2	3	4			
1	Modul yang disajikan membuat peserta didik tertarik untuk membacanya		3	7	10	92,5	Sangat Baik	
2	Penggunaan modul dapat membantu responden belajar secara mandiri		4	6	10	90,0	Sangat Baik	
3	Modul dapat meningkatkan motivasi peserta didik untuk mempelajarinya		1	4	5	10	85,0	Sangat Baik
4	Modul yang disajikan sesuai dengan isu lingkungan sekitar yang terjadi disekitar kampus		2	8	10	95,0	Sangat Baik	
5	Materi yang ada dalam modul dapat memacu kognitif responden		5	5	10	87,5	Sangat Baik	
6	Modul sistematis, jelas dan mudah dipahami		5	5	10	87,5	Sangat Baik	
7	Modul dilengkapi dengan rangkuman materi dan latihan		3	7	10	92,5	Sangat Baik	
8	Modul dilengkapi dengan daftar pustaka			1	0	10	100	Sangat Baik
9	Modul yang disajikan berisi gambar,		8	2	10	80,0	Baik	

ilustrasi dan tabel yang menarik						
10	Petunjuk yang ada dalam modul jelas dan mudah dipahami	7	3	10	82,5	Baik
11	Modul menggunakan bahasa yang sesuai dengan EYD	5	5	10	87,5	Sangat Baik
12	Modul menggunakan bahasa yang komunikatif, efektif dan mudah dipahami	3	7	10	92,5	Sangat Baik
Rerata					89,3	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 5. terlihat bahwa penilaian yang diberikan oleh responden terhadap modul berkisar antara baik hingga sangat baik, hal ini menunjukkan bahwa modul mendapat respon yang positif dari para responden. Nilai tertinggi yang diberikan oleh responden yaitu terkait tentang modul yang dilengkapi dengan daftar pustaka (100) yang menunjukkan bahwa modul dilengkapi dengan referensi yang memadai. Nilai terendah diberikan terkait dengan petunjuk penggunaan yang ada dalam modul (82,5), walaupun mendapatkan nilai terendah, tetapi ini masih termasuk dalam kategori baik namun perlu dilakukan sedikit perbaikan agar modul dapat lebih efisien dalam menunjang proses pembelajaran.

Hasil rerata nilai dari keseluruhan komponen penilaian dalam uji coba terbatas menunjukkan nilai 89,3 dan tergolong dalam kategori sangat baik. Modul Pendidikan Lingkungan telah direvisi sesuai dengan saran dan masukan yang diberikan oleh responden dalam uji terbatas.

Simpulan dan Rekomendasi

Telah ditemukan sebanyak 604 individu yang terdiri dari 44 jenis dan 25 famili pada Arboretum Universitas Riau. Spesies dengan Indeks Nilai Penting tertinggi adalah *Rhodamnia cinerea* 38,51%, *Macaranga gigantea* 14,16%, dan *Hevea brasiliensis* 74,05%. Biomasa pada lokasi penelitian sebesar 2,23 ton/ha, sedangkan cadangan karbon sebesar 1,12 ton C/ha. Modul Pengamatan Kondisi Lingkungan Kampus : Arboretum Universitas Riau dapat dijadikan sebagai bahan ajar tambahan dengan hasil validasi yang menunjukkan kategori valid (4,1) dan hasil uji coba terbatas yang menunjukkan kategori sangat baik (89,3).

Modul materi pengamatan kondisi lingkungan kampus konsep lingkungan alami yang dihasilkan dari penelitian ini direkomendasikan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut pada tahap implementasi dan evaluasi modul dalam pembelajaran mata kuliah pendidikan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, B.S., Erizal, M., Syamsuardi. 2013. Komposisi Jenis Dan Cadangan Karbon Di Hutan Tropis Dataran Rendah, Ulu Gadut, Sumatera Barat. *Berita Biologi*. 12(2):169-176

- Intergovernmental Panel in Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Nova JS, A. Widyastuti, dan E. Yani. 2011. *Keanekaragaman Jenis Pohon Pelindung dan Estimasi Penyimpanan Karbon Kota Purwokerto*. Jakarta.
- Odum, E.P. 1996. *Dasar-Dasar Ekologi*. Terjemahan T. Samingan. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Purwanto, R.H. 2012. Materi Kuliah Inventore Biomassa Hutan. Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Rahayu SB, B. Lusiana, and MV. Noordwijk. 2007. Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. ICRAF. Bogor
- Resman., Siradz, A.S., Suharminto, H.B. 2006. Kajian Beberapa Sifat Kimia dan Fisika Inceptisol pada Toposekuen Lereng Selatan Gunung Merapi Kabupaten Sleman. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan.*, (6)(2) : 101-108
- Spies TA. 1998. Forest structure: A key to the ecosystem. *Northwest Science* 72 (2), 34-39.