

BIOMASSA DAN KARBON DI HUTAN DATARAN RENDAH DESA WUNGKOLO, PULAU WAWONII, SULAWESI TENGGARA

Biomass and Carbon in Lowland Forest of Wungkolo Village, Wawonii Island, South East Sulawesi

Laode Alhamd

Pusat Penelitian Biologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Cibinong Science Center
Jl. Raya Bogor – Jakarta Km. 46 Cibinong 16911
E-mail: aruhamu@yahoo.com

Diterima: 14 Agustus 2013; Dikoreksi: 5 September 2013; Disetujui: 30 September 2013

Abstract

*Investigation of biomass and carbon stocks were carried out by establishing 11 sampling plots around the village Wungkolo, Wawonii Island. Each sampling plot with dimension of 30x30 m² was made. All trees having a DBH ≥ 5 cm in diameter were measured and recorded their height. The results showed that there were 81 species, with a total basal area reaching 36.67 m² ha⁻¹. Three dominant species found based on the index of *Castanopsis acuminatissima* (Fagaceae), *Canarium denticulatum* (Burseraceae) and *Antidesma stipulare* (Euphorbiaceae). Allometric equations can be used accurately to estimate biomass and carbon stock upper ground, with a correlation coefficient was 0.99. A Comparison of estimates showed significant differences between the biomass in this study and other tropical forest sites ($P < 0.001$). Total biomass reached 313.8 ton ha⁻¹. The largest carbon content was on *Kjellbergiodendron celebicum* ($C = 19.8 \text{ ton ha}^{-1}$; $\text{CO}_2 = 72.7 \text{ ton ha}^{-1}$), followed by *C. acuminatissima* (17.8; 65.6) and *C. denticulatum* ($C = 15.9 \text{ ton ha}^{-1}$; $\text{CO}_2 = 58.5 \text{ ton ha}^{-1}$). The large amount of carbon stocks in each type is strongly influenced by the parameters of the diameter and height of the tree. The estimated C stocks were lower than the estimation of Brown (1997) and Chave et. Al. (2005). Therefore, the application of allometric equations for determining biomass in tropical region in a different location, the produced equations can be used for the conservation of the area, especially surrounding the plot observation.*

Keywords: *allometric equations, biomass, stock carbon, Wungkolo-Wawonii Island.*

Abstrak

Pengamatan biomasa dan karbon stok dilakukan dengan membuat 11 petak pengamatan disekitar Desa Wungkolo, Pulau Wawonii. Masing-masing petak berukuran 30x30 m², seluruh pohon yang memiliki DBH ≥ 5 cm diukur dan dicatat diameter dan tingginya. Hasil menunjukkan bahwa diseluruh petak terdapat 81 jenis dengan total luas bidang dasar mencapai 36,67 m²/ha, jenis-jenis yang mendominasi adalah *Castanopsis acuminatissima* (Fagaceae) *Canarium denticulatum* (Burseraceae) dan *Antidesma stipulare* (Euphorbiaceae). Persamaan allometrik dapat digunakan secara akurat untuk mengestimasi biomasa dan stok karbon diatas permukaan tanah, dengan koefisien korelasi memiliki nilai yang tinggi (0,99) untuk hubungan allometrik yang diperoleh antara biomasa diatas permukaan tanah dan diamter. Perbandingan estimasi menunjukkan perbedaan yang nyata antara biomasa di penelitian ini dan lokasi hutan tropis lainnya ($P < 0,001$). Total biomasa mencapai 313,8 ton ha⁻¹. Kandungan karbon dan karbondioksida (CO₂) terbesar pada jenis *Kjellbergiodendron celebicum* ($C = 19,8 \text{ ton ha}^{-1}$; $\text{CO}_2 = 72,7 \text{ ton ha}^{-1}$), yang diikuti oleh *C. acuminatissima* (17,8; 65,6) dan *C. denticulatum* ($C = 15,9 \text{ ton ha}^{-1}$; $\text{CO}_2 = 58,5 \text{ ton ha}^{-1}$). Besarnya jumlah karbon stok pada masing-masing jenis sangat dipengaruhi oleh diameter dan tinggi pohon. Estimasi kandungan karbon stok ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil estimasi dari Brown (1997) dan Chave et. Al. (2005). Penggunaan persamaan alometrik untuk penentuan biomasa dikawasan hutan tropis memiliki perbedaan lokasi, persamaan tersebut dapat digunakan untuk konservasi kawasan, khususnya di sekitar petak pengamatan.

Kata kunci: persamaan allometrik, biomassa, stok Karbon, Wungkolo-Pulau Wawonii

1. PENDAHULUAN

Kemampuan pengukuran karbon stok dan sekuestrasinya di hutan, secara global menarik perhatian dunia akan pentingnya hutan dalam siklus karbon dalam mitigasi karbon dioksida (CO₂) [1].

Keberadaan hutan dipengaruhi oleh dampak secara alami dan manusia yang berada disekitar, yakni berupa penebangan hingga penebangan yang berlebih, pada lokasi yang lebih luas dengan adanya kebakaran, gangguan hama/serangga dan konversi ke bukan hutan (misalnya lahan pertanian). Gangguan tersebut umumnya berdampak pada peningkatan emisi CO₂ karena banyaknya hasil akhir dari proses respirasi dan oksidasi dari tumbuhan, lahan dan bahan organik.

Laju deforestasi tahunan di Indonesia sebesar 1,2 juta hektar per tahun dan sebagian besar merupakan dampak dari perluasan perkebunan dan hutan tanaman untuk keperluan produksi bubur kayu. Dengan deforestasi ini, maka diprediksi kawasan hutan akan hilang dalam 50 tahun mendatang[2]. Juga, FAO memperkirakan deforestasi Indonesia masih cukup tinggi yaitu 1,9 juta hektar per tahun pada periode 2000-2005[3]. Dengan kondisi demikian dikhawatirkan dalam 10 tahun kedepan jika tidak adanya upaya pencegahan atau pengereman laju deforestasi maka hutan di Indonesia hanya tersisa dibagian-bagian yang sulit dijangkau.

Biomasa hutan mengandung sekitar 80% dari kandungan karbon diatas permukaan tanah dan sekitar 40% karbon dibawah permukaan tanah. Oleh karena itu hutan penting bagi penyimpanan (stok) untuk karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dan merupakan wadah dalam penyimpanan sementara di ekosistem terrestrial. Dalam beberapa tahun terakhir, perubahan penggunaan lahan mencakup deforestasi maupun regenerasi tumbuhan di hutan. Peningkatan akan deforestasi yang luas pada kawasan hutan[4, 5, 6], salah satu diantaranya berada di pulau wawonii.

Kondisi hutan di Pulau Wawonii mengalami proses degradasi hutan yang cukup cepat dikarenakan pengalihan lahan ke pemukiman dan lahan pertanian. Informasi dan penelitian tentang stok karbon hutan di Desa Wungkolo sangat kurang, dimana informasi ini sangat dibutuhkan untuk konservasi kawasan utamanya di kawasan hutan dataran rendah dan upaya mitigasi akan dampak yang ditimbulkan dengan adanya perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui jenis-jenis vegetasi di hutan dataran rendah Desa Wungkolo, dan (2) memberikan informasi tentang karbon stok berdasarkan estimasi biomasa tegakannya. Hasil yang diperoleh dapat diarahkan menjadi upaya dalam konservasi

tumbuhan, perencanaan rehabilitasi hutan dan pengembangan jenis-jenis yang berpotensi diwilayah yang akan diteliti, dalam menghadapi perubahan iklim.

Penelitian ini dikonsentrasikan di hutan dataran rendah berada di Desa Wungkolo, dimana informasi vegetasi, biomasa dan karbonnya di ekosistem dataran rendah belum pernah dilaporkan, informasi yang diperoleh akan menjadi pelengkap data untuk P. Wawonii secara keseluruhan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di hutan dataran rendah, Desa Wungkolo, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara, dengan koordinat 04° 10' 27,2" LS dan 123° 10' 13,2" BT. Desa Wungkolo termasuk kedalam Kecamatan Wawonii Selatan, Kabupaten Kendari. Secara umum kondisi pulau ini memiliki topografi datar hingga berbukit (dengan kemiringan 15-10%).

Sulawesi Tenggara memiliki curah hujan tidak besar dan berdasarkan klasifikasi iklim[7], pulau wawonii mempunyai curah hujan hingga ± 1600 mm/tahun, dan termasuk kedalam iklim bertipe D. Rata-rata terdapat 4-6 bulan musim hujan dan jumlah bulan musim kemarau lebih banyak dibandingkan musim hujan. Siklus musim hujan mencapai tertinggi pada Maret dan kemarau terjadi pada Agustus.

2.2 Metode

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode petak untuk menaksir populasi dan penyebaran dari jenis-jenis yang mendominasi disetiap petak. Pembuatan petak dibuat dengan jarak bervariasi antar petaknya 3-4 km dengan melihat tipe tegakan pohon dan penutupan kawasan dimasing-masing lokasi.

Petak-petak pengamatan yang dibuat sebanyak 11 petak. Setiap petak penelitian memiliki luas 0,09 ha (30x30 m²). Setiap petak penelitian akan dibagi menjadi 9 sub-petak, dengan ukuran 10x10 m² untuk pengamatan pohon (diameter > 10 cm), sementara anak pohon (diameter 2-9.9 cm) pada sub-petak ukuran 5x5m². Individu pohon dan anak pohon yang terdapat pada tiap sub-petak dicacah jenis pohonnya, diukur diameter batang, tinggi pohon, tinggi percabangan pertama, serta jarak x dan y dari masing-masing pohon. Pengambilan sampel dilakukan dengan membuat herbarium dengan label, untuk pengidentifikasian lebih lanjut dilakukan di Herbarium Bogoriense, utamanya pada jenis-jenis yang belum diketahui nama jenisnya.

Seluruh data dianalisa indek nilai pentingnya (INP). Data yang digunakan untuk menghitung

biomass dengan menggunakan diameter ≥ 5 cm dikalikan berat jenis masing-masing jenis kayu, dimana berat jenis kayu berdasarkan nilai kombinasi dari jenis-jenis kayu di asia tenggara. Total biomasa diseluruh petak pengamatan dihitung dengan menjumlahkan nilai biomasa dari seluruh jenis. Sementara, pengukuran stok karbon diperoleh dari estimasi biomasa dengan kandungan karbon 50% [7].

3.1 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Observasi Struktur Tumbuhan

Hasil pengamatan dari seluruh petak pengamatan dengan luas 0,99 hektar, terdapat sebanyak 3504 individu pohon dan anak pohon per ha, yang mencakup 81 jenis (spesies) dalam 69 marga dan 38 suku dengan total luas bidang dasar 36,74 m² ha⁻¹. Jumlah individu, jenis dan luas bidang dasar di lokasi penelitian sedikit lebih tinggi dibandingkan di Desa Munse pada bagian timur Pulau Wawonii [8].

Jumlah individu pada kelas diameter memperlihatkan struktur pohon (Gambar 1), yang menunjukkan bahwa tingkat regenerasi pohon petak-petak pengamatan cukup baik, dimana jumlah individu pada tingkat anak pohon mencapai 84,9% (dengan kelas diameter 0-10 cm) dari total individu per hektar.

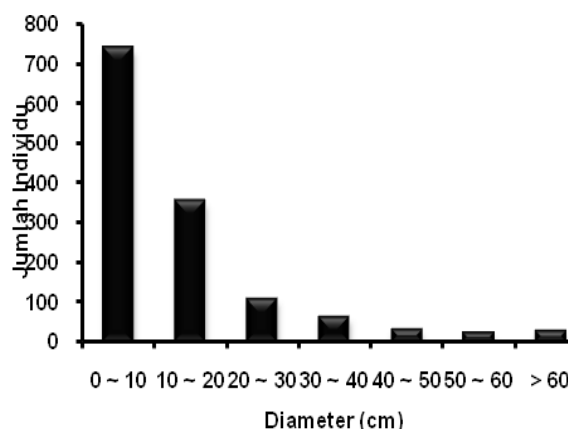
Jenis pohon yang mendominasi berdasarkan indeks nilai pentingnya, yaitu *Castanopsis acuminatissima*, *Canarium denticulatum*, *Antidesma stipulare* dan *Kjellbergiodendron celebicum* dan anak pohon didominasi oleh luas bidang dasar di lokasi penelitian lebih tinggi dibandingkan di Desa Munse pada bagian timur Pulau Wawonii[8].

Jenis pohon yang mendominasi berdasarkan indeks nilai pentingnya, yaitu *Castanopsis acuminatissima*, *Canarium denticulatum*, *Antidesma stipulare* dan *Kjellbergiodendron celebicum* dan anak pohon didominasi oleh *Planchonella nitida*, *Antidesma stipulare* dan *A. montanum* (Lampiran 1 dan 2). Beberapa jenis yang terdapat di Desa Wungkolo ditemukan juga di Desa Munse, misalnya *C. denticulatum*, *Artocarpus integra*, *C. acuminatissima* dan *K. celebicum* dan terdapat petak pengamatan yang umumnya dipenuhi oleh tanaman dari suku euphorbiaceae yang mengindikasikan bahwa kawasan tersebut sebelumnya telah ditempati untuk areal perladangan.

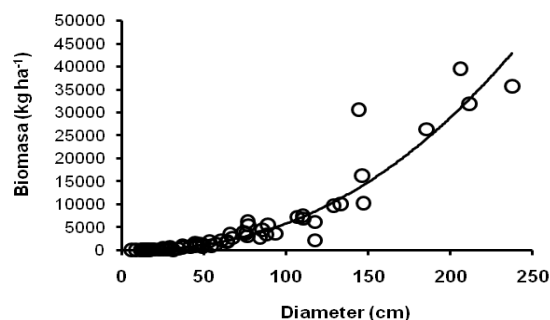
Dari seluruh petak, suku yang banyak ditemukan yaitu Myrtaceae terdiri dari 6 jenis yaitu *Kjellbergiodendron celebicum*, *Syzygium densiflorum*, *S. pycnanthum*, *S. zeylanicum*, *S. sp* dan *Xanthostemon confertiflorum* dan Suku Sapotaceae terdiri dari 5 jenis yaitu *Palaquium obtusifolium*, *P. sp.*, *Planchonella nitida*, *Pouteria*

firma dan *Pouteria sp.*

Biomasa diatas permukaan tanah mencapai 313,8 ton ha⁻¹, dimana seluruh jenis dengan persamaan alometrik dengan koefisien korelasi tinggi ($P < 0,001$), seperti pada Gambar 2. Sementara berdasarkan biomasa terdapat tiga jenis yang berkontribusi biomasa terbesar yaitu *Kjellbergiodendron celebicum* yang mencapai 35,8 ton ha⁻¹, diikuti oleh *Castanopsis acuminatissima* (35,8), *Canarium denticulatum* (31,9) dan *Heritiera sp.* (30,6 ton ha⁻¹), juga memiliki koefisien korelasi tinggi ($P < 0,001$), seperti pada Gambar 3.



Gambar 1. Jumlah individu berdasarkan kelas diameter (cm), di hutan dataran rendah, Desa Wungkolo, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara.



Gambar 2. Hubungan antara diameter pohon dan biomasa tegakan (kg) berdasarkan diameter batang (cm). Dengan persamaan allometrik: Biomasa = 0,140 Diameter^{2,309}; R² = 0,958 dan n = 530

Persamaan allometrik yang terbentuk, dari seluruh jenis dan jenis-jenis yang memiliki biomasa yang tinggi, dan menunjukkan perbedaan biomasa yang sangat signifikan dari ketiga jenis tersebut (one way ANOVA; uji Duncan $P < 0,001$). Total biomasa meningkat dan memiliki kecenderungan yang positif berdasarkan variable diameter, dimana nilai biomasa pohon merupakan

kombinasi variable tinggi dan diameter.

Karbon dan karbondioksida (CO₂) stok diseluruh petak pengamatan mencapai, secara berturut-turut, 156,9 dan 575,8 ton ha⁻¹, sementara persamaan allometrik untuk pengestimasiannya (Tabel 1), pada jenis-jenis yang memiliki kandungan karbon tertinggi, secara berturut-turut, adalah *Kjellbergiodendron celebicum* (C = 19,8 ton ha⁻¹; CO₂ = 72,7 ton ha⁻¹), yang diikuti oleh *Castanopsis acuminatissima* (17,8; 65,6) dan *Canarium denticulatum* (C = 15,9 ton ha⁻¹; CO₂ = 58,5 ton ha⁻¹).

Besarnya stok karbon pada masing-masing jenis dikarenakan jumlah biomasa pada tiap individu pohonnya juga besar. Selain itu, stok karbon yang diperoleh dari kombinasi dari persamaan allometrik dan kandungan karbon, sekitar 50%[9,10,11].

3.2 Estimasi Biomassa

Pada struktur tegakan/pohon, penurunan jumlah individu terjadi hingga pada kelas dimeter 40-50 cm, yang menunjukkan bentuk distribusi L. Sementara jenis-jenis yang memiliki diameter > 60 cm yakni selain dominan spesies juga *P. obtusifolium*, *Santiria laevigata* dan *Heritiera* sp.

Kecenderungan ini berbanding lurus dengan jumlah individu dan besarnya diameter pada jenis-jenis tersebut. Sementara biomasa jenis lainnya mencapai 175,8 ton ha⁻¹.

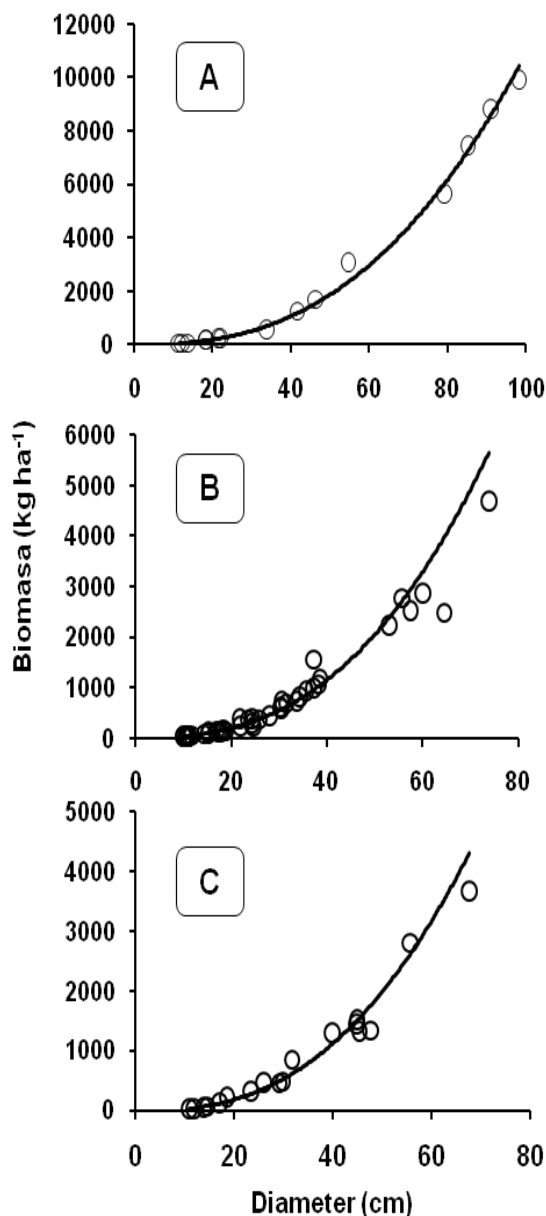
Estimasi biomasa dengan menggunakan persamaan alometrik pada hutan primer di kawasan tropis akan memperoleh biomasa yang lebih tinggi, sebaliknya hutan sekunder yang mengalami suksesi awal akan memperoleh nilai estimasi biomasa lebih rendah. Hal ini berkaitan dengan berat jenis kayu, ρ (untuk hutan primer ρ = 0,7 g cm⁻³ dan hutan sekunder ρ = 0,3-0,4 g cm⁻³) dan umumnya di hutan tropis menggunakan nilai ρ = 0,6 cm⁻³[11].

Jika dibandingkan total biomasa dengan menggunakan persamaan alometrik[7, 11] nilai biomasa yang diperoleh pada pengamatan ini lebih kecil, yang secara berturut-turut mencapai 448,5 dan 410,2 ton ha⁻¹.

Biomasa di hutan dataran rendah kawasan asia tenggara menunjukkan bahwa estimasi biomasa di Wungkolo lebih tinggi dari hutan dataran rendah peninsular Thailand[14], hutan industri dengan usia pohon 6-9 tahun pada jenis *Acacia auriculiformis* di Vietnam[15] dan *A. mangium* di Benakat-Sumatra Selatan, di Madang-Papua Nugini (Hiratsuka dkk, 2005; Kato dkk, 1978) dan di Subanreji-Sumatra Selatan[15]. Total biomasa dibandingkan lebih rendah dari peninsular Malaysia dan di Sebulu-Kalimantan Timur[18, 20].

Beberapa penelitian tentang biomasa telah dilakukan dengan menghasilkan suatu persamaan

[13, 14] dengan menggunakan variable diameter dan tinggi pohon, selanjutnya[7] memasukkan variable berat jenis (*wood specific gravity*) dalam penentuan biomasa, dengan menggunakan variable tersebut maka estimasi biomasa diatas permukaan tanah lebih akurat, seperti pada penelitian ini.



Gambar 3. Hubungan antara diameter dan biomasa. Ketiga persamaan allometrik berasal dari tiga jenis yang memiliki biomasa diatas permukaan tanah tertinggi dari jenis lainnya. A: *Kjellbergiodendron celebicum* (Biomasa = 0,085 Diameter^{2,554}; R² = 0,992 dan n = 15); B: *Canarium denticulatum* (Biomasa = 0,077 Diameter^{2,600}; R² = 0,984 dan n = 43); dan C: *Castanopsis acuminatissima* (Biomasa = 0,091 Diameter^{2,521}; R² = 0,970 dan n = 54).

Pengukuran tinggi pohon pada titik tertinggi seringkali sulit untuk dilakukan, dikarenakan terhalang oleh kanopi pohon. Juga, secara

histori inventori pohon hal yang paling penting pada penelitian ekologi, meski dalam beberapa penelitian biomasa tidak dimasukkan pengukuran

Tabel 1. Persamaan allometrik untuk penentuan stok karbon dan karbondioksida.

No	Nama Jenis	Persamaan		R ²
		C	CO ₂	
1	<i>Kjellbergiodendron celebicum</i>	StC = 0,044D ^{2,540}	StCO ₂ = 0,044D ^{2,540}	0,995
2	<i>Canarium denticulatum</i>	StC = 0,044D ^{2,540}	StCO ₂ = 0,044D ^{2,540}	0,987
3	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	StC = 0,044D ^{2,540}	StCO ₂ = 0,044D ^{2,540}	0,985
4	Semua jenis	StC = 0,044D ^{2,540}	StCO ₂ = 0,044D ^{2,540}	0,959

Ket: StC, StCO₂ dan D adalah Stok karbon (t ha⁻¹), Stok karbondioksida (t ha⁻¹), dan diameter (cm) secara berturut-turut.

tinggi pohon. Untuk hal seperti ini, beberapa penelitian hanya menggunakan diameter batang pohon untuk memprediksi biomasa pohon[12].

Besarnya biomasa pohon juga dapat disebabkan oleh umur pohon, dimana pohon yang berusia lebih dari 30 tahun, cenderung estimasi biomasa sedikit berbeda hal ini dikarenakan pada masa *life span* dengan memperbesar bagian batang diatas permukaan tanah atau merontokkan batang yang besar. Hal yang berbeda ditampakan pada jenis-jenis *understory* yang lebih memperlebar ukuran tajuk untuk menyerap cahaya.

Tinggi atau rendahnya nilai biomasa dan/ atau stok karbon diatas permukaan tanah juga dipengaruhi oleh usia pohon, jenis-jenis yang dominan, iklim dan habitat dari vegetas(Kenzo et al., 2009). Kondisi tanah yang agak masam pH = 5,2 (4,3-7,6) pada kedalaman 1-30 cm, dan kandungan carbon tanah 2,58% (1,03-8,2%). Sementara kapasitas tukar kation mencapai 10,4 cmol kg⁻¹, dengan kalsium 21,2 dan magnesium 35,3 c mol kg⁻¹.

Meskipun pengukuran stok karbon dapat dilakukan setiap waktu, pemahaman tentang perubahan stok karbon dalam interval waktu merupakan dasar untuk pengembangan dalam pengambilan kebijakan terhadap pengaruh perubahan iklim, penebangan kayu hutan dan polusi udara[20].

4. KESIMPULAN

Empat jenis dari 81 jenis yang mendominasi hutan dataran rendah Desa Wungkolo, berdasarkan indeks nilai penting (INP) adalah *Castanopsis acuminatissima*.

Canarium denticulatum *Antidesma stipulare* dan *Kjellbergiodendron celebicum*, Total biomasa pohon di atas permukaan tanah di hutan dataran rendah yang mencapai 313,8 ton ha⁻¹, dan jenis pohon yang memiliki biomasa tertinggi, secara berturut-turut, adalah *K. celebicum*, *C. denticulatum*, dan *C. acuminatissima*.

Dari persamaan allometrik yang diperoleh dapat diaplikasikan untuk memprediksi biomasa, dan stok karbon dan karbondioksida. Dimana total karbon mencapai 156,8 dan CO₂ adalah 575,8 ton ha⁻¹.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kauppi, P. and R. Sedjo. 2001. Technical and economic potential of options to enhance, maintain and manage biological carbon reservoirs and geo-engineering. In: Metz, B., O. Davidson, R. Swart, J. Pan (Eds.) Climate Change 2001: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 301-344.
2. Ekadinata A, M. van Noordwijk, S. Dewi dan P.A. Minang. 2010. Reducing emissions from deforestation, inside and outside the forest. ASB Policy Brief 16, ASB Partnership for the Tropical Forest Margins, Nairobi, Kenya.
3. FAO (Food and Agriculture Organization) of the United Nations. 2007. State of the World's Forests 2007. <http://www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.htm>
4. Goodale, C.L., L.S. Heath, R.A. Houghton, J.C. Jenkins, G.H. Kohlmaier, W. Kurz, S. Liu, G.J. Nabuurs, S. Nilsson, A.Z. Shvidenko, M.J. Apps, R.A. Birdsey, C.B. Field. 2002. Forest Carbon Sinks in the Northern Hemisphere, *Ecol. Appl.* 12: 891-899.
5. Brown, S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Pollut.* 116: 363-372.
6. Peichl, M. and M.A. Arain. 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Eco. Manage.* 253: 68-82.
7. Brown, S. and A.E. Lugo. 1982. The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in global carbon cycle. *Biotropica.* 14: 161-187.
8. Alhamd, L. 2012. Vegetasi dan Distribusi Pohon di Hutan Dataran Rendah, Desa Munse, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Teknologi Lingkungan. Edisi Khusus Hari Lingkungan Hidup.* 87-96.
9. Lee, J., I.K. Morrison, J.D. Leblanc, M.T. Dumas and D.A. Cameron. 2002. Carbon sequestration in trees and regrowth vegetation as affected by clearcut and partial cut harvesting in a second growth

- boreal mixedwood. *For. Eco. Manage.* 169: 83-101.
10. Finer, L., H. Mannerkoski, S. Piirainen, M. Starr. 2003. Carbon and nitrogen pools in an old-growth Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting. *For. Eco. Manage.* 184: 1-16
 11. Ketterings, Q.M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau and C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forest. *For. Ecol. Manage.* 146: 199-209.
 12. Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M.A. Cairns, J.Q. Chambers, D. Eamus, H. Folster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera and T. Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia.* 145: 87-99.
 13. Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change in tropical forests: a primer. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
 14. Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino, T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant Biomass. *Nature Life SE Asia.* 4: 49-80.
 15. Hiratsuka, M., Y. Morikawa, Y. Nagatsuka and Y. Osumi. 2005. Biomass accumulation on rehabilitating forest in South Sumatra, Indonesia. *The Tropical Forestry.* 62: 58-64 (In Japanese).
 16. Morikawa, Y., S. Ohta, M. Hiratsuka, T. Toma. 2002. Carbon sequestration of man-made forests in monsoon Asia in relation to CDM. In: Ishii, K., Masumori, M., Suzuki, K. (eds) *Proceedings of International Workshop on BIO-REFOR*, Tokyo, Japan, pp 43-51.
 17. Yamada, M., T. Toma, M. Hiratsuka, Y. Morikawa. 2004. Biomass and potential nutrient removal by harvesting in short-rotation plantations. In: Nambiar EKS, Ranger J., Tiarks A., Toma T. (eds) *Proceedings of International Workshop in Congo July 2001 and China February 2003 on Site Management and Productivity in Tropical Palntation Forests*, Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, pp. 213-226.
 18. Kato, R., Y. Tadaki and H. Ogawa. 1978. Plant biomass and growth increment studies in Pasoh forest. *Malay. Nat. J.* 30: 211-224.
 19. Kenzo, T., R. Furutani, D. Hattori, J.J. Kendawang, S. Tanaka, K. Sakurai, I. Ninomiya. 2009. Allometric equations for accurate estimation of above-ground biomass in logged-over tropical rain forests in Sarawak, Malaysia. *J. Fo. Res.* 14: 365-372.
 20. Arthur, M.A., S.P. Hamburg, T.G. Siccama. 2001. Validating allometric estimates of aboveground living biomass and nutrient contents of a northern hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 31: 11-17.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Jenis dominan pohon (diameter ≥ 5 cm) berdasarkan indeks nilai penting (INP), yang terdapat di seluruh petak pengamatan, Desa Wungkolo, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara

No	Nama Jenis	Suku	FR	KR	DR	INP
1	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	Fagaceae	8,56	10,29	14,0	32,81
2	<i>Canarium denticulatum</i>	Burseraceae	7,64	8,19	11,1	26,92
3	<i>Antidesma stipulare</i>	Euphorbiaceae	8,10	9,72	5,2	23,05
4	<i>Kjellbergiodendron celebicum</i> Merr.	Myrtaceae	3,24	2,86	10,5	16,60
5	<i>Santiria laevigata</i> Blume	Burseraceae	4,17	3,81	8,5	16,44
6	<i>Artocarpus integra</i> Merr.	Moraceae	5,56	5,91	4,4	15,88
7	<i>Xanthostemon confertiflorum</i>	Myrtaceae	4,40	4,95	3,4	12,72
8	<i>Syzygium pycnanthum</i>	Myrtaceae	5,32	5,72	1,6	12,59
9	<i>Stemonurus secundiflorus</i> Bl.	Icacinaceae	4,40	4,00	4,1	12,47
10	<i>Lithocarpus elegans</i>	Fagaceae	4,86	5,53	1,8	12,23
11	<i>Knema cinerea</i> Warb.	Myristicaceae	4,17	3,81	3,2	11,20
12	<i>Palaquium obtusifolium</i> Burck	Sapotaceae	3,01	2,67	5,2	10,92
13	<i>Planchonella nitida</i> Dubard	Sapotaceae	3,24	3,70	2,6	9,59
14	<i>Prunus grisea</i>	Rosaceae	2,78	3,05	1,8	7,64
15	<i>Antidesma montanum</i> Bl.	Euphorbiaceae	3,47	3,05	0,7	7,26

Ket: INP = FR (frekuensi relatif) + KR (kerapatan relatif) + DR (dominansi relatif)

Lampiran 2. Jenis dominan anak pohon (diameter ≤ 5 cm) berdasarkan Indeks Nilai Penting (INP), yang terdapat di seluruh petak pengamatan, Desa Wungkolo, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara.

No	Nama Jenis	Suku	FR	KR	DR	INP
1	<i>Planchonella nitida</i> Dubard	Sapotaceae	7,00	8,29	8,01	23,29
2	<i>Antidesma stipulare</i>	Euphorbiaceae	6,08	6,52	6,15	18,74
3	<i>Antidesma montanum</i> Bl.	Euphorbiaceae	7,00	6,66	4,38	18,04
4	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	Fagaceae	4,24	7,47	5,34	17,05
5	<i>Syzygium pycnanthum</i>	Myrtaceae	4,97	5,03	6,72	16,72
6	<i>Palaquium obtusifolium</i> Burck	Sapotaceae	5,52	5,84	4,20	15,56
7	<i>Knema cinerea</i> Warb.	Myristicaceae	3,87	3,53	5,02	12,42
8	<i>Diospyros maritima</i> Bl.	Ebenaceae	3,50	3,80	4,88	12,19
9	<i>Barringtonia racemosa</i>	Lecythidaceae	3,68	3,67	3,38	10,73
10	<i>Lithocarpus elegans</i>	Fagaceae	3,31	3,26	3,28	9,86
11	<i>Camnosperma coriaceum</i>	Anacardiaceae	3,31	3,13	1,90	8,34
12	<i>Meliosma</i> sp.	Sabiaceae	2,95	2,45	2,93	8,32
13	<i>Ficus variegata</i>	Moraceae	2,03	2,85	3,32	8,20
14	<i>Terminalia bellerica</i>	Combretaceae	2,76	2,72	2,14	7,62
15	<i>Celtis philippensis</i> Blanco	Ulmaceae	2,39	1,90	2,34	6,64

Ket: INP = FR (frekuensi relatif) + KR (kerapatan relatif) + DR (dominansi relatif)

Lampiran 3. Jenis dominan yang memiliki biomasa diatas permukaan tanah, carbon dan carbon dioksida, (ton ha⁻¹) yang terdapat di seluruh petak pengamatan, Desa Wungkolo, Pulau Wawonii, Sulawesi Tenggara.

No	Nama Jenis	Suku	Estimasi biomasa (ton)	Chave et al., 2005	Brown (1997)	C	CO ₂
1	<i>Kjellbergiodendron celebicum</i> (Koord.) Merr.	Myrtaceae	39,6	51,9	47,7	19,8	72,7
2	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	Myrtaceae	35,8	53,5	47,8	17,9	65,6
3	<i>Canarium denticulatum</i>	Burseraceae	31,9	43,5	38,9	15,9	58,5
4	<i>Heritiera</i> sp.	Sterculiaceae	30,6	30,4	31,2	15,3	56,2
5	<i>Santiria laevigata</i> Blume	Burseraceae	26,3	36,3	32,3	13,2	48,3
6	<i>Palaquium obtusifolium</i> Burck	Sapotaceae	16,2	21,8	19,4	8,1	29,8
7	<i>Antidesma stipulare</i>	Euphorbiaceae	10,3	14,8	13,6	5,1	18,7
8	<i>Artocarpus integra</i> Merr.	Moraceae	10,1	14,2	12,8	5,0	18,5
9	<i>Stemonurus secundiflorus</i> Bl.	Icacinaceae	9,7	14,5	12,9	4,9	17,9
10	<i>Mackinlaya celebica</i>	Araliaceae	7,5	14,6	13,2	3,8	13,8
11	<i>Planchonella nitida</i> Dubard	Sapotaceae	7,2	8,6	7,8	3,6	13,2
12	<i>Knema cinerea</i> Warb.	Myristicaceae	6,9	9,9	8,9	3,4	12,7
13	<i>Alstonia spectabilis</i>	Apocynaceae	6,2	7,4	6,7	3,1	11,4
14	<i>Xanthostemon confertiflorum</i>	Myrtaceae	6,2	9,9	9,0	3,1	11,3
15	<i>Polyosma ilicifolia</i> Bl.	Saxifragaceae	5,5	6,9	6,2	2,7	10,0