

ESTIMASI BIOMASSA DAN KARBON TANAMAN JATI UMUR 5 TAHUN (Kasus Kawasan Hutan Tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) Desa Krowe, Kecamatan Lembeyan Kabupaten Magetan)

Martin Lukito ¹⁾, Ahadiati Rohmatiah ²⁾

^{1) 2)} Dosen Fakultas Pertanian Universitas Merdeka Madiun

Abstract :

Jati Unggul Nusantara (JUN) plantation forests have a very important role both in the review of the economic and ecological aspects. Through JUN cultivation is expected to achieve two benefits, the first ecological benefits of conservation-shaped one contributes to the global carbon cycle. JUN from the stands, both economic profit through the selling price of JUN. as an important source of revenue objective of this study was to Predict the potential and the potential of wood biomass plant JUN. suspect carbon content (C) stored in various plant organs, suspect the potential of plantations to absorb CO₂. And build allometrik equation to determine the content of the biomass, and carbon research conducted on plant JUN forests in Krowe Village. District. Lembeyan. Kab. Magetan . Estimation of potential forest inventore conducted through the age of five measurements of wet leaves and twigs, organ biomass roots, stem, branches and leaves was done by using "destructive sampling". Measuring carbon content performed by indirect methods. Potential CO₂ uptake estimated from the carbon content of trees with heavy mass conversion. Estimation of the potential of standing up for the people of the forest crop in the village of Jati Superior archipelago Krowe district. Lembeyan Kab. Magetan at age 5 ranged 713.006 m³, or an average of 148.54 m³/ha average volume of 0.1337 m³ per tree with a volume of 0.0143 m³ smallest and largest volume of 0.3635 m³. Biomass content JUN average of 183.87 kg/tree. Actual number of 5.333 plants or plants covering 4.8 hectares, bringing the total potential of stand biomass content JUN is 131.09 tons. When in convert the unit area per acre amount of biomass content ranged from 2.91 to 74.25 t / ha or an average of 27.30 ton per hectare. The composition of the biomass plant organs JUN Stem of 61.304%, the root of 13.59%, 6.7% twigs and branches organ of 10.27%. carbon content per tree stands ranged from 1.3 to 33.417 t C / ha, with an average of 13.65 t C / ha. When you convert the units m³/ha in the potential of carbon ranges from 1.46 to 33.13 ton of carbon per hectare or the aggregate of 65.546 tons of carbon. Carbon composition organ JUN in the stem of 56.35 %, 16.76 % of the roots, branches and leaves at 15.28 % 6.67 % The amount of CO₂ sequestration potential JUN when converted to the number of plants per hectare average of 50.113 tons CO₂/ha. Or 240.55 tons of carbon equivalent overall JUN in the Krowe village. Allometrik equation which is derived in this study as follows: The relationship between the volume JUN in diameter at breast height (Dbh) Volume trees = Y = 19.555 Dbh ^{2.432}. Biomass and Carbon content relationships with diameter at breast height (Dbh) is a model of power with WT / CT = 0.049 D ^{2.431}.

Keywords: Global warming; Biomass; carbon, carbon dioxide, CO₂ absorption

PENDAHULUAN

Hutan sebagai sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) walaupun membutuhkan waktu yang sangat panjang untuk

mengembalikan hutan pada keadaan semula. Oleh karena itu perlu dijaga dan dikelola dengan arif dan bijaksana. Pada mulanya pemanfaatan sumber daya hutan

hanya dilihat dari segi hasil kayunya saja. Seiring dengan perkembangan zaman sekarang ini hutan bukan hanya berfungsi sebagai penghasil kayu, tetapi juga sebagai penghasil jasa lingkungan. Hutan sebagai penghasil jasa lingkungan sangat berpotensi dalam mengurangi karbondioksida yang ada di atmosfer melalui proses fotosintesis. Karbondioksida yang melewati ambang batas di atmosfer dapat menyebabkan efek rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global semakin meningkat.

Dampak pemanasan global ialah berubahnya iklim, yaitu perubahan curah hujan serta naiknya intensitas dan frekuensi badai. Permukaan laut akan naik, sebagian karena memuainya air laut pada suhu yang lebih tinggi sehingga volumenya naik, sebagian lagi karena melelehnya es abadi di pegunungan tinggi dan di daerah kutub (Soemarwoto, 2004 : 165).

Salah satu upaya untuk menstabilkan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer adalah dengan dibentuknya Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention on Climate Change, NFCCC*), melalui Protokol Kyoto. Protokol Kyoto mewajibkan negara-negara industri, untuk menurunkan tingkat emisinya sebesar 5% dari level tahun 1990. Dalam protokol ini, kegiatan afforestasi dan reforestasi diberlakukan sebagai penyerap karbon dalam kerangka Mekanisme Pembangunan Bersih *Clean Development Mechanism (CDM)* (Heriansyah, 2005). Jika pengelolaan hutannya lestari, pembangunan hutan tidak saja bermanfaat dari sisi produk kayunya saja, tetapi juga berperan sebagai penyedia jasa lingkungan atau yang sering disebut sebagai penghasil karbon. Fungsi hutan sangat

banyak, antara lain sebagai pengatur tata air (menyediakan air di saat musim kemarau dan mencegah banjir di saat musim hujan), mencegah terjadinya erosi yang dapat menyebabkan tanah longor, mengurangi akumulasi gas karbondioksida (CO₂) di udara dan penghasil oksigen (O₂). Berkurangnya konsentrasi gas CO₂ di udara dapat mengurangi efek pemanasan global (*global warming*) yang sangat merugikan manusia. Dengan adanya pembangunan hutan baik kegiatan afforestasi dan atau reforestasi yang bisa digunakan sebagai proyek *sink* (penyerapan karbon) maka jumlah CO₂ yang terserap oleh hutan akan semakin banyak sehingga emisi gas CO₂ di atmosfer akan berkurang. Berdasarkan pemaparan diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kemampuan dari hutan dalam menyerap gas karbondioksida atmosfer. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi bagi pemerintah kabupaten Magetan tentang kemampuan hutan rakyat Tanaman Jati (*Tectona grandis* L) dalam menyerap karbon per tahunnya. Bagi peneliti selanjutnya dijadikan sebagai acuan untuk melakukan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan perdagangan karbon nantinya.

Saat ini produktivitas hutan bukan diukur dari seberapa banyak hutan menghasilkan kayu untuk dimanfaatkan, tetapi lebih diarahkan pada seberapa besar kemampuan hutan dalam mereduksi emisi CO₂ di atmosfer melalui aktivitas *physiology*. Pengukuran produktivitas hutan dalam konteks studi ini relevan dengan pengukuran biomassa. Biomassa hutan menyediakan informasi penting dalam menduga besarnya potensi penyerapan CO₂ dan biomassa dalam umur tertentu yang dapat dipergunakan mengestimasi produktivitas hutan.

Studi kandungan biomassa hutan dan karbon hutan tanaman sangat dibutuhkan. Studi ini difokuskan pada tanaman Jati yang dikembangkan oleh Jati Unggul Nusantara di Area tanah masyarakat di Desa Krowe, Kec. Lembeyan Kab. Magetan dengan tujuan untuk mengetahui Model pendugaan biomassa dan CO₂ tanaman jati umur 5 tahun sebagai tempat penyimpan CO₂. Studi mengenai potensi hutan menjadi sangat penting. Baik studi mengenai potensi tegakan, studi mengenai potensi biomassa dan studi mengenai potensi karbon. Salah satu faktor yang menentukan dalam menganalisa potensi hutan adalah dengan metode pengukuran dimana untuk mengukur potensi biomassa dan karbon belum ada yang standar. Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut : Pendugaan besarnya kandungan karbon banyak di dekati oleh besarnya kandungan biomassa tegakan, ini disebabkan karena hasil utama fotosintesis yaitu karbohidrat disimpan dalam organ tanaman hidup. Ada dua metode yang biasa digunakan untuk menduga kandungan karbon tegakan hutan yaitu dengan cara : 1. pengukuran tidak langsung (*indirect meansurement*) dengan cara konversi biomassa dengan menggunakan angka isi karbon tertentu. Metode ini paling banyak di gunakan dengan cara menggunakan angka konstanta kandungan karbon sebesar 50 % dari berat biomassa (brown, 1986) dan 45 % dari berat biomassanya (Whittaker dan Likens, 1973) dalam Losi (2003). 2. Pengukuran langsung (*direct meansurement*) dengan cara menggunakan alat atau metode tertentu. Biasanya dilakukan dengan cara pembakaran langsung untuk kemudian di analisis dengan alat carbon analyser (Kraenzel et al, 2003 dalam Losi, 2003) dan dapat juga dengan cara karbonasi yaitu pembakaran bahan berkarbon

komplek dengan jumlah oksigen terbatas

Tujuan

tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui Volume pohon jati umur 5 tahun (m³/ha)
2. Mengetahui potensi biomassa tanaman jati umur 5 tahun.(ton/ha)
3. Mengetahui potensi hutan tanaman dalam menyimpan cadangan karbon dan kemampuannya dalam menyerap gas CO₂ dari atmosfer berdasarkan dimensi pertumbuhan serta kandungan biomassa tanamannya. (ton/ha)

TINJAUAN PUSTAKA

Biomassa Hutan dan Pengukuran Karbon

Biomassa adalah jumlah total berat kering bahan-bahan organik hidup yang terdapat di atas dan juga di bawah permukaan tanah dan dinyatakan dalam ton per unit area. Komponen biomassa hutan sendiri terdiri dari biomassa hidup di atas dan di bawah permukaan tanah antara lain berupa pohon, semak belukar, semai, akar, epifit dan tumbuhan menjalar lainnya. Biomassa juga dapat berasal dari tanaman yang sudah mati seperti serasah kayu. Stok biomassa yang terdapat dalam tiap pohon atau tegakan hutan dapat berubahubah. Perubahan stok biomassa dapat dipengaruhi oleh waktu dan gangguan terhadap hutan baik secara alami maupun akibat kegiatan manusia. Brown (1997) dalam Lukito. (2010).

Banyaknya biomassa hutan sangat tergantung pada hasil yang diperoleh selama proses fotosintesis. Asimilasi CO₂ merupakan hasil penyerapan energi matahari dan akibat radiasi matahari, berdasarkan keadaan iklim, maka faktor utama yang mempengaruhi berat kering hasil panen ialah radiasi matahari yang diabsorpsi dan efisiensi

pemanfaatan energi matahari tersebut untuk fiksasi CO₂ (Gardner *et al*, 1985 dalam Lukito 2010). Informasi mengenai biomassa hutan dapat digunakan sebagai (Feng, 2001) :

- Kuantifikasi gambaran ekosistem dan menunjukkan sumber daya biomassa yang tersedia
- Mengukur jumlah nutrien di dalam ekosistem, sehingga menjelaskan siklus nutrien
- Menunjukkan pengikatan energi di dalam ekosistem hutan
- Menyediakan perkiraan isi karbon di dalam hutan
- Mengukur riap dalam hasil hutan, pertumbuhan dan produktifitas
- Penilaian perubahan dalam struktur hutan

Metode Pengukuran Biomassa

Pendugaan biomassa dapat dilakukan dengan metode pemanenan (*destructive sampling*) dan metode pendugaan tidak langsung (*non destructive sampling*) menggunakan metode hubungan alometrik dan metode crop meter (Chapman, 1976 dalam Lukito, 2010). Persamaan alometrik berupa fungsi matematika yang didasarkan pada hubungan berat kering biomassa per pohon contoh dengan satu atau lebih kombinasi dari dimensi pohon contoh (diameter dan tinggi) dapat dikembangkan/dihasilkan dari metode destructive sampling atau diperkirakan dari *Fractal Branching Analysis* (FBA). Sedangkan menurut Brown (1997) metode pendugaan tidak langsung dapat juga dilakukan dengan menggunakan nilai BEF (*Biomass Expansion Factor*). Nilai BEF merupakan rasio biomassa total sebuah pohon dengan biomassa batang. Menurut Brown (1997) data hasil inventarisasi dapat dihitung kandungan biomasanya dengan mengalikan volume hasil inventarisasi dengan nilai rata-rata kerapatan kayu dan BEF. Meskipun

berat kering dari pohon yang merupakan nilai biomassa dapat diketahui dengan melakukan penebangan langsung, mengoven semua komponen dan menimbanginya, namun hal ini tidak realistis untuk dilakukan pada semua hutan. Solusi praktis yang dapat dikembangkan adalah membuat model alometrik biomassa atau menghitung nilai BEF yang didasarkan pada data dari pohon contoh yang ditebang dan selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung kandungan biomassa hutan.

Persamaan Alometrik

Untuk dapat menyusun sebuah persamaan allometrik, terlebih dahulu harus mendapatkan pasangan data yang akan dianalisis. Pada hakekatnya, hampir tidak mungkin untuk dapat mengukur keseluruhan biomassa. Pengukuran hingga mendekati seluruh berat basah dari komponen biomassa masih mungkin dilakukan, tetapi pengeringan keseluruhan tanpa membaginya menjadi sub-sub sample nyaris mustahil dilakukan. pengambilan cuplikan (sample) dan sub sample harus dilakukan dengan cermat. Sebagai acuan umum, pohon yang dipilih untuk ditebang harus berasal dari populasi utama, mewakili species utama dari hutan tersebut dan mewakili keseluruhan kelas diameter

Inventore Hutan

Inventore hutan merupakan prosedur untuk memperoleh informasi tentang kuantitas dan kualitas sumber daya hutan dan karakteristik areal dimana pohon-pohon tumbuh. Apabila hutan yang diinventore cukup luas, cara pengukuran 100% akan terlalu banyak memerlukan waktu, tenaga, dan biaya; maka diperlukan sampling. Pada umumnya sampling dalam inventore hutan hanya dianggap sebagai cara penempatan sampel untuk pengukuran volume kayu di

lapangan (Simon, 2007). Pemanfaatan sampling dalam inventarisasi hutan mempunyai keuntungan :

1. Pekerjaan dapat lebih cepat diselesaikan
2. Biaya yang dikeluarkan relatif lebih murah
3. Mempermudah penarikan kesimpulan dan mempertinggi kecermatan
4. Waktu yang dibutuhkan relatif lebih sedikit.

Parameter pohon yang mempunyai arti penting dalam pengumpulan data tentang potensi hutan untuk keperluan pengelolaan, parameter pohon tersebut antara lain adalah diameter batang, tinggi pohon, tinggi batang pokok (tinggi batang bebas cabang), diameter tajuk, dan volume. Menurut Simon (2007), dalam tujuan khusus beberapa parameter kualitatif seperti kualitas, kesehatan, dan kelurusan batang kadang-kadang juga diperlukan.

Beberapa macam tipe tinggi pohon yang diukur dalam inventarisasi hutan, antara lain adalah tinggi total, tinggi batang bebas cabang, tinggi batang komersial, dan tinggi tunggak. Setelah diameter, tinggi pohon merupakan parameter lain yang mempunyai arti penting dalam penaksiran hasil hutan. Bersama diameter, tinggi pohon diperlukan untuk menaksir volume dan riap .beberapa macam. tinggi pohon (simon. 2007) , yaitu Tinggi total, pohon. Tinggi batang bebas cabang, dan Tinggi batang komersial,

Faktor bentuk (f) diperlukan sebagai penghubung antara volume suatu silinder dengan volume batang atau pohon. Dalam perhitungan nilai faktor bentuk dapat berbeda-beda tergantung pada diameter mana yang dipakai sebagai dasar untuk menentukan diameter silindrisnya. Untuk sebagian besar pohon tropis, bila belum tersedia tabel faktor bentuk, pada umumnya dapat digunakan faktor bentuk sama dengan

0,7 (Banyard, 1973 dalam Simon, 2007).

Proses Fotosintesis pada Tumbuhan

Suatu sifat fisiologis yang hanya dimiliki oleh tumbuhan ialah kemampuannya untuk menggunakan zat karbon dari udara untuk diubah menjadi bahan organik serta diasimilasikan dalam tubuh tanaman. Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada cukup cahaya dan klorofil, peristiwa ini dinamakan fotosintesis (Woeseno, 2006). Fotosintesis adalah proses produksi karbohidrat yang berasal dari bahan anorganik melalui transformasi energi matahari menjadi energi kimia. Fotosintesis sering dikatakan sebagai proses kimia satu-satunya di bumi yang sangat penting, hal ini dapat terlihat pada stabilitas konsentrasi oksigen dan karbon dioksida atmosfer tergantung pada proses fotosintesis di lautan dan daratan (Suginingsih, dkk., 2004).

Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh faktor dalam dan faktor luar, faktor dalam meliputi sifat-sifat yang diturunkan dan proses-proses fisiologis, sedangkan faktor luar meliputi cahaya, air, tanah (unsur hara dan mineral). Begitu halnya pada biomassa hutan, baik pada hutan alam maupun tanaman, kandungan biomassa hutan sangat tergantung pada hasil yang diperoleh selama proses fotosintesis, selain itu juga dipengaruhi oleh (Purwanto, 2008). :

1. Umur tegakan
2. Sejarah tegakan
3. Praktek pengelolaan hutan termasuk penyiapan lahan
4. Konversi lahan hutan menjadi lahan non hutan

Menurut Kira et al. (1953) yang dikutip oleh Barbour et al. (1987) dalam Lukito, 2010, menyatakan bahwa densitas tumbuhan berpengaruh terhadap akumulasi biomassa total. Pada densitas yang rendah biomassa bergantung jumlah individu yang ada. Apabila densitas

cukup tinggi maka akan terjadi interferensi intraspesifik diantara individu tumbuhan, sehingga biomassa dapat diramalkan tanpa memandang densitas tumbuhan. Biomassa total dapat digunakan untuk mengkonversi/menghitung total karbon yang tersimpan dengan menggunakan asumsi bahwa kandungan karbon kira-kira 50% dari biomassa (Brown and Lugo, 1986 dalam Lukito, 2010). Cadangan karbon pada tegakan pohon berdiri (*carbon standing crop*) dihitung dengan persamaan berikut ini :

Carbon Standing Crop (CSC)

= SV . D . F . 0,5

dimana :

SV = Volume batang pohon

D = Kerapatan kayu

F = Faktor ekspansi biomassa (*Biomass Expansion Factor*)

0,5 = Proporsi karbon

Energi cahaya yang masuk ke dalam ekosistem hutan akan berubah menjadi energi kimia oleh proses fotosintesis. Energi yang diubah tidak seluruhnya dikonversi ke biomassa, namun sebagian dibebaskan oleh proses respirasi untuk mensuplai energi yang digunakan sebagai aktivitas metabolisme tumbuhan (Barbour, et al. 1987 dalam Lukito, 2010). Karena asimilasi CO₂ merupakan hasil penyerapan energi matahari dan akibat radiasi matahari, berdasarkan keadaan iklim, maka faktor utama yang mempengaruhi berat kering hasil panen ialah radiasi matahari yang diabsorpsi dan efisiensi pemanfaatan energi matahari tersebut untuk fiksasi CO₂ (Gardner et al., 1985 dalam Lukito 2010), sehingga fiksasi CO₂ oleh tanaman berklorofil akan menghasilkan karbohidrat dan oksigen yang selanjutnya proses respirasi karbohidrat ini menjadi senyawa yang menghasilkan sel dan jaringan baru untuk pertumbuhan.

Fungsi Hutan dalam Menyerap Karbon

Perkembangan dewasa ini secara ekonomis hutan bukan lagi dipandang

menjadi sumber devisa akan tetapi fungsi secara ekologis isue global akan terjadinya perubahan iklim yang ekstrim dan sangat penting menjadikan Hutan adalah sebagai penyerap karbon terbesar dan memainkan peranan penting dalam siklus karbon global. Hutan yang mempunyai komposisi vegetasi yang beragam dapat bertindak sebagai pembersih udara dengan memanfaatkan CO₂ di udara dan digunakan dalam proses fotosintesis (Foley, 1993). Dibandingkan dengan jenis vegetasi lainnya, hutan dapat menyimpan karbon sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar dibandingkan jenis lainnya, seperti padang rumput, tanaman semusim dan tundra (Bolin, 1979 dalam Holdgate, 1995).

Pepohonan sebagai unsur utama pembentuk hutan memerlukan sinar matahari, gas karbondioksida (CO₂) yang diserap dari udara serta hara dan air yang diserap dari tanah untuk kelangsungan hidupnya. Melalui proses fotosintesis, CO₂ di udara diserap oleh tanaman, dan dengan bantuan sinar matahari kemudian diubah menjadi karbohidrat untuk selanjutnya didistribusikan ke seluruh tubuh tanaman dan ditimbun dalam tubuh tanaman dalam bentuk daun, batang, cabang, buah dan bunga. Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tanaman hidup disebut proses sekuestrasi (*C-Sequestration*) (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Energi yang diubah oleh proses fotosintesis tidak seluruhnya dikonversi ke biomassa, namun sebagian dibebaskan oleh proses respirasi untuk mensuplai energi yang digunakan sebagai aktivitas metabolisme tumbuhan. Karbon yang dimanfaatkan oleh tanaman akan berada dalam tanaman sampai mati dan lapuk (Kellert, dkk, 1997). Selanjutnya karbon dapat dilepaskan dari bagian-bagian yang tua, pohon yang mati atau selama pemangkasan atau penebangan dan karbon

kemudian tertambahkan ke serasah. Jumlah karbon yang diserap oleh tanaman yang sedang tumbuh tergantung dari spesies, iklim dan juga bervariasi berdasarkan umur pohon (Foley, 1993 dalam Lukito, 2010).

METODE PENELITIAN

Pembuatan Petak Ukur

Pengambilan data inventarisasi volume pohon dilakukan pembuatan plot sampel dengan menggunakan petak ukur (PU) berbentuk Jalur dengan Intensitas Sampling (IS) 10 %.. Luas PU adalah 10 % dari jumlah pohon jati unggul nusantara (JUN) yang di miliki oleh para petani di Desa Krowe. dengan cara systematic sampling with random start. Bentuk PU ini sangat membantu pada hutan tanaman yang tumbuhan bawahnya lebat atau bertopografi berat, selain itu bentuk PU ini tidak dipengaruhi oleh bentuk petak tanaman dengan batas buatan maupun alam, sehingga memberikan kemudahan dalam pelaksanaan inventarisasi dan

pengukuran berdasarkan alur penomoran pohon.

Pencatatan dan Pengukuran

Pada petak ukur sampling, dilakukan pengukuran dan pencatatan data lapangan yang meliputi : Nomor pohon dan lokasi petak ukur, Kondisi fisik lapangan, sebaran pohon dalam plot dan kondisi pertumbuhan pohon. Diameter setinggi dada (dbh 1,3 m) dan Tinggi pohon total . Pengukuran dilakukan untuk setiap pohon yang masuk di dalam PU. Berdasarkan hasil pengukuran tinggi dan diameter, selanjutnya dicari korelasi hubungan antara tinggi dan diameter, yang menjadi dasar penetapan persamaan regresi yang akan digunakan.

Pengukuran Volume Tegakan

Volume batang Silindris

Penentuan volume batang tanaman kayu putih yang belum mengalami pemangkasan (umur 3 tahun) ditentukan dengan variabel dbh 1,3 meter dan tinggi total dengan menggunakan volumen batang silindris :

$$V = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot t$$

Dimana

V	:	Volume batang silinder berdasarkan dbh 1.3 meter
π	:	Konstanta Phi (3,14)
d	:	diameter setinggi dada (1,3 meter)
t	:	Tinggi Total pohon

Volume batang Aktual

Pengukuran batang actual tanaman Jati Unggul Nusantara dilakukan dengan cara mengukur batang menjadi segmen-segmen pada kondisi berdiri, selanjutnya tiap

segmen dihitung luas bidang dasar pada diameter pangkal dan diameter ujung. Perhitungan volumen per segmen menggunakan rumus Smallian

$$V_s : \left[\frac{Lbds\ pkl + Lbds\ ujung}{2} \right] \times l$$

Keterangan :

Vs	:	Volume tiap segmen kayu (cm ³)
LBDS pkl	:	Luas bidang dasar pangkal = $\frac{1}{4} \pi \times d_{pkl}^2$ (cm ²)
LBDSujung	:	Luas bidang dasar ujung = $\frac{1}{4} \pi \times d_{ujung}^2$ (cm ²)
L	:	P anjang segmen (cm)

$$V_{st} = V_{s1} + V_{s2} + V_{s3} + \dots + V_{stn}$$

Volume total actual diketahui dengan menjumlahkan volume tiap segmen, dengan menggunakan rumur :

Keterangan :

V_{st} : Volume total segmen (cm^3)
 $V_{s1}, V_{s2}, V_{s3} \dots V_{sn}$: Volume tiap segmen

Faktor Koreksi dan Volume Standing Stock (*Standing Stock*) di perlukan variabel Faktor koreksi (f) dengan rumus :

Untuk mengukur volume actual tanaman Jati Unggul Nusantara

$$f = \frac{\text{Volume actual}}{\text{Volume silindris}}$$

Dimana

f : Faktor bentuk (form factor)
 V actual : Volume total batang segmen
 Vsilindris : Volume batang silinder berdasarkan diameter setinggi dada (dbh)

Pengukuran volume standing stock pada tanaman Jati Unggul Nusantara dilakukan dengan cara sebagai berikut Pada tanaman Jati Unggul Nusantara adalah mengalikan volume batang silidris dengan faktor koreksi (f) yang kemudian di konversi ke dalam luas dengan formula :

$$V = \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \times f \times n$$

V : volume standing stock
 π : phi (3.14)
 d : diameter setinggi dada
 t : tinggi pohon
 n : jumlah pohon per hektar (n/ha)

Pada tanaman Jati Unggul Nusantara yang sudah di tebang (robok) dengan cara mengalikan volume total batang segmen (vst) yang di konversi ke dalam luas yang di gambarkan dengan formula

$$V = V_{st} \times n$$

Dimana :

V : volume standing stock
 V_{st} : Volume total segmen
 N : jumlah pohon per hektar (n/ha)

Pengukuran Biomassa Tanaman a. Pengambilan Sampel

Pada setiap kelas umur, dilakukan pemilihan pohon sampel yang

menjadi objek untuk penelitian kandungan biomassa dan kandungan karbon tanaman. Jumlah pohon yang diambil, minimal mewakili semua

umur tanaman dan distrik yang ada (distrik teluk pulai, sungai riding, lebung hitam dan teluk daun). Kriteria pohon sampel adalah mewakili tegakan yang ada dalam petak ukur, memiliki ukuran diameter rata-rata, dan pohonnya sehat. Dalam penelitian ini, jumlah pohon sampel yang diambil umur 5 tahun 4 pohon.

Terhadap pohon sampel dilakukan pengukuran diameter setinggi dada (Dbh) dan tinggi total. Selanjutnya dilakukan penebangan (*destructive sampling*) dan penggalian akar untuk dilakukan pengukuran dan penimbangan berat basah pohon. Pada pohon yang telah ditebang, dilakukan pemisahan komponen menjadi komponen batang, cabang, daun dan akar. Selanjutnya dilakukan pengukuran untuk setiap komponen pohon.

b. Pengukuran Biomassa Batang

Pengukuran biomassa batang pada prinsipnya dilakukan dengan menimbang berat basah total batang pohon, selanjutnya diambil sampel batang untuk diukur berat basah sampel dan berat kering sampel.

Batang pohon sampel yang telah ditebang, dilakukan pembagian segmen batang dengan ukuran tertentu, untuk selanjutnya dilakukan pengukuran pada masing-masing segmen. Tiap segmen batang selanjutnya ditimbang untuk mendapatkan berat basahnya. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel berbentuk silinder (*disc*) dengan ketebalan tertentu. Sampel bentuk silinder ini lebih mewakili, karena meliputi kulit batang hingga empulur. Sampel diambil sebanyak tiga (3) bagian yaitu dibagian pangkal, tengah, dan ujung batang. Sebelumnya harus dicatat posisi *disc* tersebut dari pangkal batang. Sampel tersebut ditimbang berat basahnya.

Pengukuran berat kering untuk menentukan kadar air dan menghitung biomassa dilakukan dengan mengeringkan sampel yang dibawa dari lapangan menggunakan oven pada suhu 103 ± 2 °C sampai didapatkan berat konstan (Nelson *et al*, 1999 dalam Losi, 2003). Biomassa batang (*Stem Weight/WS*) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$WS = (100\% - \text{Kadar Air } (\%)) \times \text{Berat Basah Total Batang}$$

c. Pengukuran Biomassa Cabang (Dahan dan Ranting Pohon)

Pengukuran biomassa cabang yang meliputi dahan dan ranting, pada prinsipnya sama dengan pengukuran biomassa batang. Organ tanaman yang berupa cabang (dahan dan ranting) dikumpulkan menjadi satu untuk ditimbang berat basah totalnya. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel berbentuk silinder (*disc*) dari bagian cabang dan

ranting untuk diukur berat basah dan berat keringnya. Pengukuran berat kering untuk menentukan kadar air dan menghitung biomassa dilakukan dengan mengeringkan sampel yang dibawa dari lapangan menggunakan oven pada suhu 103 ± 2 °C sampai didapatkan berat konstan (Nelson *et al*, 1999 dalam Losi, 2003). Biomassa batang (*Branch Weight/WB*) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$WB = (100\% - \text{Kadar Air } (\%)) \times \text{Berat Basah Total Cabang}$$

Pengukuran Biomassa Daun

Daun-daun dari pohon sampel dibagi menjadi tiga (3) bagian, yaitu daun-daun yang berada pada pangkal, tengah, dan ujung tajuk.

Pengukuran biomassa daun dilakukan dengan cara mengumpulkan seluruh daun dari pohon sampel pada tiap-tiap bagian tajuk tersebut, kemudian dimasukkan

ke dalam karung/kantong plastik untuk mengetahui berat basah totalnya. Netto berat basah total diperoleh setelah dikurangi dengan berat karung/kantong plastik yang digunakan sebagai tempat daun. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel daun (200 gram) dari tiap-tiap bagian tajuk tersebut untuk diukur

$$WL = (100\% - \text{Kadar Air (\%)}) \times \text{Berat Basah Total Daun}$$

d. Pengukuran Biomassa Akar

Biomassa akar (*Root Weight*/WR) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$WR = (100\% - \text{Kadar Air (\%)}) \times \text{Berat Basah Total Akar}$$

e. Total Biomassa Tanaman

Biomassa total pohon dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh :

$$\text{Biomassa Total Pohon (Total Weight) } (W_T) = W_S + W_B + W_L + W_R$$

Pengukuran Kandungan Karbon Pohon

Kandungan karbon tanaman dihitung berdasarkan nilai karbon (C) yang ada pada setiap organ tanaman (batang, cabang, akar dan daun) yang dijumlahkan untuk setiap pohon. Ada 2 (dua) cara pengukuran kandungan karbon yang dilakukan dalam penelitian ini. Pertama, pengukuran tidak langsung dengan mengalikan angka biomassa dengan konstanta karbon 50%. Kedua, pengukuran langsung dengan menggunakan metode karbonisasi atau pengarangan Dalam penelitian ini pendugaan kandungan karbon pohon digunakan dengan cara menggunakan angka konstanta Brown sebesar 50% dari biomassa, dengan tahapan sebagai berikut :

a. Kandungan Karbon Akar (Root Carbon) (C_R) =

$$C_R = W_R \times 0,5$$

b. Kandungan Karbon Batang (Stem Carbon) (C_S) =

$$C_S = W_S \times 0,5$$

c. Kandungan Karbon Cabang (Branch Carbon) (C_B) =

$$C_B = W_B \times 0,5$$

d. Kandungan Karbon Daun (Leaf Carbon) (C_L) =

berat basah dan berat keringnya. Pengukuran berat kering untuk menentukan kadar air dan menghitung biomassa dilakukan dengan mengeringkan sampel yang dibawa dari lapangan menggunakan oven pada suhu 103 ± 2^0 C sampai didapatkan berat konstan (Nelson *et al*, 1999 dalam Losi, 2003).

biomassa komponen pohon, dengan rumus sebagai berikut

$$C_L = W_L \times 0,5$$

e. Kandungan Karbon Total Pohon (Total Carbon)

$$(C_T) = C_S + C_B + C_L + C_R$$

Potensi Hutan Menyimpan Karbon

Dengan menggunakan data hasil pengukuran pohon jati umur 5 tahun dan data luasan tanaman, maka dapat diketahui kemampuan hutan dalam menyimpan karbon tanamjannjati umur 5 tahun. Jika berat karbon tiap pohon diketahui, jumlah dan ukuran pohon per hektar diketahui, maka akan diketahui potensi simpanan karbon per hektar. Dengan menggunakan konversi luas areal, maka potensi simpanan karbon hutan dapat diketahui.

Potensi Penyerapan Karbondioksida (CO₂)

Potensi penyerapan CO₂ diperoleh melalui konversi sebagai berikut :

Diketahui Massa Atom C = 12 dan O = 16, maka Massa Atom CO₂ = (1 x 12) + (2 x 16) = 44. Perbandingan Massa Atom CO₂ terhadap C (Karbon) = (44 : 12) = 3,67. Sehingga potensi penyerapan CO₂ di HTI = 3,67 x potensi penyerapan karbon (C). Murdiyarto (1999) dalam lukito,

(2010) menyebutkan, 1 juta metrik ton karbon memiliki ekuivalen berat dengan 3,67 juta metrik ton CO₂. *Gmelina arborea* dapat menyerap karbon 76 Mg/ha yang setara dengan 279 Mg/ha CO₂ selama rotasi pertama (Agus, *et al*, 2001), hal ini menunjukkan 1 Mg karbon setara dengan 3,67 Mg CO₂.

GAMBARAN UMUM LOKASI

Keadaan Umum Perkebunan Jati Unggul Nusantara

Tanaman jati unggul nusantara terletak di Desa. Krowe Kec. Lembahan Kab. Magetan, kurang lebih 12 km sebelah selatan Kota Magetan. Dengan ketinggian kurang lebih 350-432 meter di atas permukaan laut. Keadaan lapangan perkebunan jati unggul nusantara di desa Krowe bergelombang ringan sampai berat, berjurang-jurang dengan punggung-punggung membujur dari arah barat. Letak perkebunan jati unggul nusantara di Desa Krowe Kec. Lembahan Kab. Magetan di batasi oleh:

Sebelah timur : Kecamatan Sukorejo Ponorogo, Kecamatan Kebonsari Madiun.

Sebelah barat : Kecamatan Parang Magetan.

Sebelah selatan : Kecamatan Sukorejo Ponorogo.

Sebelah utara : Kecamatan Kawedanan Magetan.

Adapun jenis tanah di perkebunan jati unggul nusantara yang berada di Desa Krowe Kecamatan Lembahan Kabupaten Magetan ini adalah margalit coklat, hitam dan agak berbatu. Daerah Lembahan terletak pada ketinggian kurang lebih 350 – 432 meter di atas permukaan laut dan suhu yang berkisar rata-rata 29 – 31C.

Keadaan tanaman

Luas perkebunan jati unggul nusantara di Desa Krowe Kec. Lembahan Kab. Magetan umur 5

tahun 4,8 ha. Tanaman kayu jati merupakan satu-satunya tanaman yang di tanam untuk memenuhi permintaan pasar. Namun selain itu kadang-kadang di bawahnya di tanami tumpang sari seperti jagung, kacang, ketela, kedelai, kunyit dll. dengan jarak tanam jati 3 x 3 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Produksi Kayu Jati Unggul Nusantara

Untuk mengetahui potensi tegakan penyusun hutan tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) dilakukan kegiatan inventore hutan. Kegiatan inventore hutan berusaha untuk memberikan gambaran dan informasi mengenai keadaan hutan, baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Keadaan hutan, dilukiskan oleh karakteristik pohon yang menyusun hutan tersebut. Karakteristik pohon akan menentukan volume kayu, yang merupakan gambaran kuantitatif dari suatu hutan. Untuk itu perlu dilakukan pengukuran dan analisa terhadap beberapa karakter pohon yang akan menentukan volume kayu, seperti diameter setinggi dada (Dbh) dan tinggi pohon.

Inventore Hutan

Kegiatan inventore hutan dilakukan di kawasan hutan rakyat di Desa Krowe Kecamatan Lembahan dengan *cara sampling with random start*, menggunakan petak ukur Jalur dengan IS (intensitas sampling) 10 % dari luasan tiap petani. Start awal dilakukan dengan cara random. Pada kegiatan inventore hutan, dilakukan pengukuran beberapa parameter pohon yang sangat penting dalam pendugaan potensi pohon. Parameter tersebut adalah tinggi pohon dan diameter setinggi dada (Dbh) sebagai dasar penentuan volume pohon. Hasil analisis diskriptif terhadap data pengukuran parameter pohon disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Diskriptif Data Tinggi Pohon dan Dbh

No Pohon	Keliling	Dbh	Dbh	Tinggi
	Cm	cm	meter	meter
Total	21.112,0	6.723,6	67,2	7.745,3
Rerata	39,61	12,61	0,13	14,53
Min	16	5,096	0,051	9
Max	77	24,522	0,245	18
Std Dev	6,72	2,14	0,02	1,36

Sumber : Data primer diolah

Berdasarkan Tabel di atas di ketahui bahwa Luas areal hutan tanaman Jati unggul nusantara umur 5 tahun di desa Krowe, Kecamatan Lembayan Kabupaten Magetan seluas 4,8 Ha, atau dengan total jumlah tanaman sebanyak 5.333 batang dengan intensitas sampling 10 % maka jumlah tanaman sampling (n) sebesar 533 pohon . Jumlah pohon sampel yang diukur sebanyak 533 pohon untuk seluruh petak ukur, dengan rerata Dbh = 12,61 cm, dan rerata tinggi 14,53 m. Ukuran Dbh berkisar antara 5,09 cm sampai 24,52 cm. Sedangkan kisaran tinggi total pohon adalah 9 meter – 18 meter.

Pengukuran Diameter Pohon

Dalam kegiatan inventore hutan, pengukuran diameter dilakukan setinggi dada pada kondisi pohon berdiri. Pengukuran setinggi dada relatif mudah untuk dilakukan dan memiliki korelasi yang kuat dengan parameter lainnya seperti luas bidang dasar dan volume batang. Selain itu ada beberapa alasan mengapa pengukuran diameter dilakukan setinggi dada, yaitu (Muhdin, 2003) : alasan kepraktisan dan kenyamanan pada saat mengukur, pada kebanyakan jenis pohon, pengukuran setinggi dada bebas dari pengaruh banir, dbh pada umumnya memiliki hubungan yang cukup erat dengan peubah-peubah (dimensi) pohon lainnya.

Penetapan diameter setinggi dada sebagai standar pengukuran diameter

batang dimaksudkan sebagai letak pengukuran diameter batang yang menjadi ciri karakteristik sebuah pohon, mengingat batang pada umumnya memiliki bentuk yang semakin kecil ke ujung atas (taper), sehingga akan banyak sekali titik pengukuran diameter bila mengikuti perubahan bentuk batang (Muhdin, 2003). Pengukuran setinggi dada biasanya dilakukan pada ketinggian 1,30 m dari permukaan tanah, namun tidak selalu demikian. Di beberapa Negara seperti Canada pengukuran dilakukan pada ketinggian 4 ft 6 in (1,37 m), Negara-negara persemakmuran dan Britania menggunakan ketinggian 4 ft 3 in (1,29 m), dan di Jepang menggunakan ketinggian 1,25 m dari permukaan tanah. Pada pohon-pohon yang berbanir, pengukuran dilakukan di atas banir, biasanya 30 cm di atas banir (Simon, 1993). Di Amerika Serikat, diameter setinggi dada didefinisikan sebagai rata-rata diameter batang diluar kulit pada ketinggian 4,5 ft di atas permukaan tanah, diukur pada permukaan atas. Pada Negara-negara yang menggunakan sistem metrik biasanya menggunakan 1,3 m di atas tanah (Avery *et al*, 2002).

Pada saat pengukuran diameter di lapangan, banyak ditemukan beberapa pohon yang bercabang karena tidak dilakukan kegiatan pemangkasan. Terkadang pohon bercabang dari bawah sehingga terlihat menjadi 2 batang

pohon. Pada kondisi pohon bercabang, maka perlu diperhatikan letak percabangannya, bila terletak di atas 4,5 ft (1,3 m) maka pengukuran di lakukan pada ketinggian 4,5 ft (1,3 m) dan pohon dianggap satu. Bila percabangan berada di bawah ketinggian 4,5 ft (1,3 m), maka pengukuran di atas cabang dan pohon dianggap dua batang (Avery *et al*, 2002).

Analisis Hubungan Dbh dengan Tinggi Pohon

Pada jenis tertentu, diameter setinggi dada memiliki hubungan yang sangat kuat dengan tinggi pohon, khususnya di hutan tanaman. Karena itu dalam penaksiran volume pohon, cukup dilakukan dengan mengukur

diameter setinggi dada. Untuk menduga tinggi pohon dari Dbh, maka terlebih dahulu dilakukan analisis untuk mengetahui hubungan antara tinggi dengan diameter. Untuk keperluan tersebut, dilakukan pengukuran Dbh dan tinggi pohon terhadap pohon sampel yang diambil. Jumlah pohon sampel yang diukur 533 pohon, dengan hasil sebagaimana pada Tabel 5. Pada penelitian ini, analisis hubungan Dbh dengan tinggi pohon dilakukan terhadap hasil pengukuran sampel pohon, dimana pengolahan data dilakukan dengan SPSS. Hasil analisis data selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel . 2. Hasil analisis Regresi Hubungan Dbh dan Tinggi Pohon

No.	Model	Persamaan	R ²	RSS	F Sig
1.	Linier	$H = -0,173 + 2,432 \text{ Dbh}$	0,949	0,078	Signifikan
2.	Pangkat (Power)	$H = 19,555 \text{ Dbh}^{2,432}$	0,982	0,058	Signifikan
3.	Kuadratik	$H = -0,071 + 0,794 \text{ Dbh} + 6,394 \text{ Dbh}^2$	0,962	1,902	Signifikan
4.	Pertumbuhan (Growth)	$H = e^{-4,614 + 19,942 \text{ Dbh}}$	0,941	6,084	Signifikan
5.	Logaritma	$H = 0,712 + 0,277 \ln \text{ Dbh}$	0,866	0,204	Signifikan
6.	Sigmoid (S)	$H = e^{-0,05 + 0,256/\text{Dbh}}$	0,940	6,193	Signifikan

Sumber : Data primer di olah

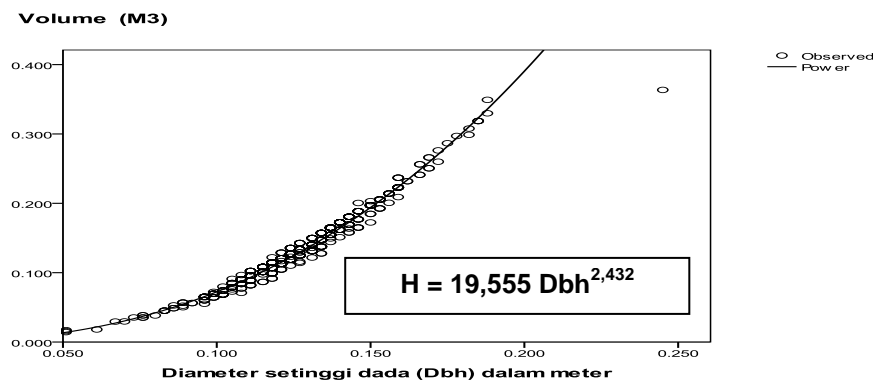
Dari tabel 2, model hubungan antara Dbh dengan tinggi pohon adalah berbentuk pangkat (*power*) dengan nilai R² sebesar 0,982, artinya 98,2 % parameter tinggi pohon dapat dijelaskan oleh parameter Dbh, sisanya oleh parameter lainnya. Sedangkan nilai jumlah kuadrat error (*residual sum of square*) adalah 0,058 dan standar erornya 0,060. Berdasarkan hasil analisis varian untuk menguji signifikansi hubungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara Dbh dan tinggi pohon memiliki korelasi yang signifikan. Young (1982) dalam Sulaiman (2004). Parameter Dbh untuk tanaman *Jati Unggul Nusantara* pada penelitian ini memiliki hubungan yang sangat tinggi dengan parameter tinggi pohon.

Pemilihan model pangkat (*power*) sebagai model hubungan Dbh dengan tinggi pohon didasarkan pada nilai R² terbesar dan nilai jumlah kuadrat error (*residual sum of square*) terkecil diantara semua model yang dianalisis. Nilai R² yang besar menunjukkan besarnya hubungan korelasi antara kriterium dengan prediktor. Sedangkan jumlah kuadrat error yang kecil menunjukkan bahwa garis persamaan yang dipilih adalah yang terbaik dan akan menghasilkan serangkaian ramalan yang disebut efisien. Efisien karena besarnya kuadrat kesalahan ramalan dari garis regresi yang dipilih akan sangat kecil (Hadi, 2000). Persamaan regresi akan menjadi efisien bila nilai pengamatan (observasi) berada disekitar garis regresi, dan ini akan

terlihat jika digambarkan dalam bentuk diagram pencar (*Scatter Plot*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram pencar pada Gambar 1.

Simon (2007) menyatakan bahwa pada jenis tertentu, diameter setinggi dada mempunyai hubungan yang cukup kuat dengan tingginya, yang dilukiskan dalam bentuk kurva tinggi. Pernyataan di atas terbukti pada penelitian ini dimana tanaman *Jati Unggul Nuisantara* pada areal hutan

rakyat desa Krowe kecamatan Lembeyan Kab. Magetan, termasuk salah satu jenis yang memiliki hubungan Dbh dan tinggi pohon yang sangat kuat, dengan nilai R^2 sebesar 0,982. Dalam penelitian lain, OKI (2008) menyatakan bahwa tanaman *Acacia mangium* pada HTI PT. Finnantara Intiga termasuk salah satu jenis yang memiliki hubungan Dbh dan tinggi yang sangat kuat, dengan nilai R^2 sebesar 0,92.



Gambar 1. Diagram Pencar Hubungan Dbh dengan Tinggi Pohon

Pendugaan Volume Tegakan Berdiri

Pendugaan volume tegakan berdiri dilakukan dengan menggunakan data pengukuran parameter pohon hasil inventore. Dari hasil inventore ini, didapatkan data hasil pengukuran parameter Dbh, tinggi pohon, dan data jumlah pohon pada tiap petak ukur dalam kelas umur. Data tersebut diolah lebih lanjut

untuk mengetahui Dbh rata-rata, tinggi rata-rata, volume per pohon, kerapatan pohon per hektar, dan volume pohon perhektar. Berdasarkan hasil pengolahan data, diketahui Dbh dan tinggi pohon rata-rata, sehingga rata-rata volume pohon berdiri dapat diketahui. sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3, Hasil Perhitungan Volume Pohon Berdiri (m³) Hutan Rakyat Jati Unggul Nuisantara

Umur (thn)	Rata-rata pada tiap Kelas Umur				
	Dbh (cm)	H (m)	Vol/Phn	N sampel	Vol sampel
5	12,61	14,53	0,1337	533	71,256

Sumber : data primer di olah

Dari Tabel 3. diketahui bahwa rata-rata sampel volume pohon bervariasi dengan kisaran 0,0143 m³ hingga 0,3635 m³. Variasi ini ditentukan oleh pertambahan ukuran (*accretion*) parameter pohon, seperti Dbh dan tinggi pohon.

Volume Tegakan Berdiri per Hektar

Volume tegakan berdiri menggambarkan besarnya volume pohon berdiri dalam satuan luasan tertentu (m³/ha). Besarnya volume tegakan berdiri dapat diketahui dari volume pohon berdiri pada satu kelas umur dikali dengan kerapatan pohon per hektar (N/Ha) pada kelas umur

tersebut. Hasil perhitungan volume tegakan per hektar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Volume Tegakan Jati Unggul Nusantara

Umur (Tahun)	Rata-rata				
	Dbh (cm)	H (mtr)	Vol/Phn (m ³ /phn)	N/Ha	Vol/Ha (m ³ /Ha)
5	12,61	14,53	0,1337	1.111	148,54

Sumber : data primer di olah

Potensi tegakan berdiri untuk hutan rakyat tanaman Jati Unggul Nusantara di Desa Krowe umur 5 tahun dengan luas tanaman 4,8 Ha dan Jumlah Tanaman 5.333 batang adalah sebesar 713,006 m³, dengan menggunakan IS 10 % adalah sebesar 71,3006 m³ atau rata rata rata-rata sebesar 148,54 m³/ha..

Potensi Biomassa Tegakan Hutan Rakyat Desa Krowe

Pengukuran biomassa hutan dalam penelitian ini dilakukan terhadap seluruh bagian pohon terdiri dari biomassa di atas permukaan tanah (*above-ground biomass*) meliputi batang, cabang, dan daun, serta

biomassa di bawah permukaan tanah (*below-ground biomass*) meliputi akar pohon. Biomassa serasah, tumbuhan bawah dan tanah tidak diukur dalam penelitian ini. Pengukuran biomassa dilakukan terhadap tanaman Jati Unggul Nusantara sebagai tanaman penyusun hutan tanaman rakyat di Desa Krowe. Pengukuran dilakukan terhadap 4 pohon sampel yang diambil pada umur 5 tahun.

Adapun organ tanaman jati Unggul Nusantara di Desa Krowe yang di ambil Besarnya pengukuran berat basah sampel organ tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN) desa Krowe Kec. Lembeyan Kab. Magetan di sajikan pada Tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Pengukuran Sampel Berat basah organ tanaman JUN

Umur (tahun)	Kode Pohon	Dbh (cm)	H (m)	Berat Basah (Kg)				
				Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
5	Jun-01	14,97	15	63,17	226,00	57,00	30,50	376,670
	Jun-02	13,38	14	73,00	148,50	61,00	39,00	321,500
	Jun-03	12,74	16	80,90	209,25	26,50	28,00	344,650
	Jun-04	15,92	16	87,50	227,50	45,00	40,00	400,000
	Rata-rata	14,3	15,3	76,143	202,813	47,375	34,375	360,705

Sumber : Data primer di olah

Pada Tabel 5 di atas terlihat bahwa sampel tanaman jati unggul nusantara di dapatkan bahwa rata rata berat basah organ adalah sebesar 360.705 kg yang terdiri dari organ akar sebesar 76,143 kg, organ batang sebesar 202,813 kg , organ cabang sebesar 47,375 kg dan organ daun sebesar 34,375 kg. Untuk mengetahui kadar air organ tanaman jati unggul nusantara terhadap sampel berat basah organ tanaman tersebut kemudian di lakukan pengovenan pada suhu ± 102 °Celsius selama 24 jam kemudian di diamkan pada suhu

kamar sampai mencapai suhu konstan dan di timbang. Adapun hasil kandungan kadar air sampel organ tanaman jati unggul nusantara dapat di lihat pada Tabel 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Pengukuran Kadar Air sampel organ tanaman JUN

Umur (tahun)	Kode Pohon	Dbh (cm)	H (m)	Kadar Air Rata-rata			
				Akar	Batang	Cabang	Daun
5	Jun-01	14,97	15	0,52	0,41	0,39	0,64
	Jun-02	13,38	14	0,60	0,46	0,38	0,68
	Jun-03	12,74	16	0,62	0,46	0,48	0,64
	Jun-04	15,92	16	0,63	0,45	0,42	0,61
	Rata-rata	14,3	15,3	0,59	0,45	0,42	0,64

Sumber : Data primer di olah

Untuk dapat mengetahui biomassa sampel organ tanaman jati unggul nusantara di gunakan rumus Berat basah di kali 1 di kurangi kadar air, sehingga dari formula tersbut di

dapatkan berat biomassa organ tanaman jati unggul nusantara seperti dapat di lihat pada Tabel 7 sebagai berikut :

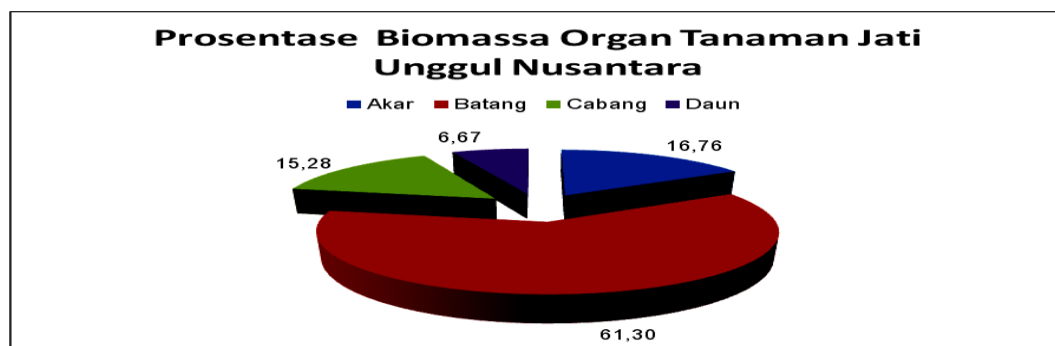
Tabel 7. Pengukuran Biomassa Sampel organ tanaman JUN

Umur (tahun)	Kode Pohon	Dbh (cm)	H (m)	Biomassa (Kg)				
				Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
5	Jun-01	14,97	15	30,124	133,513	34,596	10,853	209,086
	Jun-02	13,38	14	29,480	79,481	37,671	12,461	159,093
	Jun-03	12,74	16	30,940	113,212	13,857	10,057	168,066
	Jun-04	15,92	16	32,690	124,621	26,231	15,693	199,235
	Rata-rata	14,3	15,3	30,809	112,707	28,089	12,266	183,870

Sumber : Data primer di olah

Pada Tabel 7 dapat di lihat bahwa rata rata berat biomassa tanaman jati unggul nusantara di Desa Krowe Kec. Lembeyan Kabupaten Madiun adalah sebesar 183,870 Kg atau mencapai 50,94 % dari rata rata kondisi berat basahnya. Dari rata rata berat sampel tersebut organ batang memiliki prosentase biomassa terbesar di bandingkan dengan organ tanaman lain yaitu sebesar 61,30 % dari berat total biomassa, sedang akar

menempati tempat ke dua sebesar 16,76 %, Cabang sebesar 15,28 % dan yang paling terkecil dari organ tanaman jati unggul nusantara adalah daun yaitu sebesar 6,67 % dari total berat biomassa rata-rata tanaman jati unggul nusantara. Untuk dapat melihat besarnya proporsi organ tanaman jati unggul nusantara dapat di lihat pada Gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Prosentase Biomassa Organ Tanaman Jati Unggul Nusantara

Distribusi biomassa pada tiap komponen pohon menggambarkan

besaran distribusi hasil fotosintesis pohon yang disimpan oleh tanaman.

Melalui proses fotosintesis, CO₂ di udara diserap oleh tanaman, dan dengan bantuan sinar matahari kemudian diubah menjadi karbohidrat untuk selanjutnya didistribusikan ke seluruh tubuh tanaman dan ditimbun dalam bentuk daun, batang, cabang, buah dan bunga (Hairiah dan Rahayu, 2007). Dari penelitian ini distribusi hasil fotosintesis terbesar digunakan untuk pertumbuhan batang mencapai 61,3 %. Walaupun aktifitas fotosintesis terjadi di daun, namun ternyata daun hanya mendapatkan proporsi hasil fotosintesis yang paling kecil, yaitu hanya 6,67%.

Dengan luas hutan rakyat tanaman Jati Unggul nusantara di Desa Krowe seluas 4,8 Ha untuk, maka total potensi biomassa tegakan Jati Unggul Nusantara adalah 131,1 ton. Atau bila di nyatakan dalam satuan luas per hektar maka biomassa tanaman jati unggul nusantara di Desa Krowe kec. Lembeyan Kab. Magetan berkisar rata rata sebesar 27,30 ton per hektar. Komposisi kandungan Biomassa pada masing-masing komponen pohon juga berbeda, dimana tertinggi adalah pada komponen batang, diikuti oleh cabang, akar, dan daun. Untuk jelasnya dapat di lihat pada Tabel 9 sebagai berikut :

Tabel 8. Rata-rata Potensi Biomassa Tanaman Jati Unggul Nusantara

No Pohon	Dbh	Vol	Biomassa Organ Tanaman JUN (Kg)				
	cm	m ³	Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
Rerata	12,615	0,134	4,119	15,068	3,755	1,640	24,581
Min	5,096	0,014	0,440	1,608	0,401	0,175	2,623
Max	24,522	0,363	11,198	40,967	10,210	4,458	66,833
Std Dev	2,141	0,053	1,647	6,025	1,502	0,656	9,829

Sumber : Data primer di olah

Faktor Perluasan Biomassa (*Biomass Expansion Factor/BEF*)

Data hasil perhitungan biomassa dapat digunakan untuk menghitung nilai BEF. Istilah BEF pertama kali dipublikasikan oleh Brown *et al*, (1986) yaitu jumlah biomassa pada bagian lain tumbuhan

seperti cabang dan akar. Artinya, BEF merupakan angka perbandingan antara biomassa total pohon dengan biomassa batang. Hasil perhitungan BEF Untuk Tegakan Jati Unggul Nusantara dapat di lihat pada Tabel 9 sebagai berikut :

Tabel 9. Faktor Perluasan Biomassa Tanaman Jati Unggul Nusantara

Kode Pohon	Dbh (cm)	H (m)	Biomassa (Kg)				
			Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
Jun-01	14,97	15	30,12	133,51	34,60	10,85	209,09
Jun-02	13,38	14	29,48	79,48	37,67	12,46	159,09
Jun-03	12,74	16	30,94	113,21	13,86	10,06	168,07
Jun-04	15,92	16	32,69	124,62	26,23	15,69	199,23
Rata-rata			30,81	112,71	28,09	12,27	183,87
BEF			1,63				

Sumber : Data primer di olah

Pada Tabel 9 menunjukkan nilai BEF tanaman Jati Unggul Nusantara pada Desa Krowe Kec. Lembeyan Kabupaten Magetan sebesar 1,63. Nilai BEF untuk pinus rata-rata 1,3 (Brown, 1997). Nilai BEF

untuk tanaman *Acacia mangium* di PT. Finnantara Intiga adalah 1,52 (Oki, 2008). Nilai BEF sebesar 1,63 menunjukkan bahwa tanaman *Acacia crasscarpa* menyimpan biomassa pada bagian batang lebih besar

dibanding tanaman *Acacia mangium* dan pinus.

Persamaan Allometrik

Dari data potensi biomassa pohon selanjutnya dapat dibuat model hubungan antara Dbh dengan potensi biomassa komponen pohon dan Dbh dengan total potensi biomassa pohon. Pengolahan data menggunakan SPSS, dengan kriteria model terpilih

adalah R^2 terbesar dan JKE terkecil. Dengan menggunakan persamaan allometrik dari model terpilih, maka biomassa untuk tiap komponen pohon dan biomassa untuk total pohon dapat diduga dengan menggunakan Dbh sebagai variabel pembuka. Adapun model allometri terpilih tiap organ tanaman di sajikan pada Tabel 10 sbb:

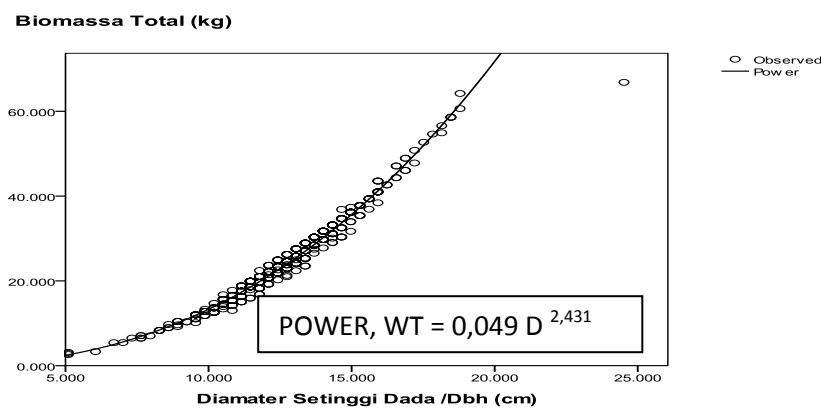
Tabel 10. Model Persamaan Allometrik Terpilih Untuk Pendugaan Biomassa

No.	Bentuk Hubungan	Model Terpilih	Kriteria	Persamaan
1	Dbh - Biomassa Akar	Power	$R^2 = 0,982$ JKE = 1,892	$WR = 0,0008 D^{2,431}$
2	Dbh - Biomassa Batang	Power	$R^2 = 0,982$ JKE = 1,891	$WS = 0,030 D^{2,431}$
3	Dbh - Biomassa Cabang	Powe	$R^2 = 0,982$ JKE = 1,891	$WB = 0,0008 D^{2,431}$
4	Dbh - Biomassa Daun	Power	$R^2 = 0,982$ JKE = 1,893	$WL = 0,003 D^{2,431}$
5	Dbh - Biomassa Pohon	Power	$R^2 = 0,982$ JKE = 1,891	$WT = 0,049 D^{2,431}$

Sumber : Data Primer di olah

Untuk memberikan gambaran secara visual, maka garis regresi dengan data hasil pengukuran untuk total biomasa terhadap diameter

setinggi dada (Dbh) digambarkan dalam bentuk grafik atau diagram pencar (*scatter plot*), seperti disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Dbh dengan Total Potensi Biomassa

Potensi Serapan Karbon

Tegakan Jati Unggul Nusantara di Desa Krowe Kec. Lembeyan Kab. Magetan mempunyai potensi besar dalam menyerap karbon, terutama jika pengelolaan

hutannya dilakukan secara lestari. Potensi serapan karbon akan tetap tersimpan didalam tegakan selama beberapa dekade, jika hutannya lestari dan tidak terjadi penurunan stok tegakan sepanjang daur. Artinya, jumlah tegakan yang berkurang setiap

tahun sebanding dengan pertumbuhannya. Untuk mengetahui seberapa besar potensi tanaman untuk menyimpan karbon, maka perlu dilakukan pengukuran. Penelitian ini mencoba melakukan pengukuran kandungan karbon terhadap tanaman *Jati Unggul Nusantara* di Desa Krowe Kec. Lembeyan Kab. Magetan, namun dibatasi hanya pada tanaman yang hidup, sementara karbon pada serasah, tumbuhan bawah, pohon yang mati dan tanah tidak dilakukan pengukuran. metode pengukuran

yang dilakukan, yaitu pengukuran tidak langsung dengan metode konversi biomassa ke karbon menggunakan angka konversi 50%. Data hasil pendugaan biomassa, selanjutnya digunakan untuk perhitungan kandungan karbon dengan menggunakan metode konversi biomassa. Potensi kandungan karbon tegakan per organ tanaman *Jati Unggul Nusantara* di Desa Krowe adalah seperti pada Tabel 11 sebagai berikut

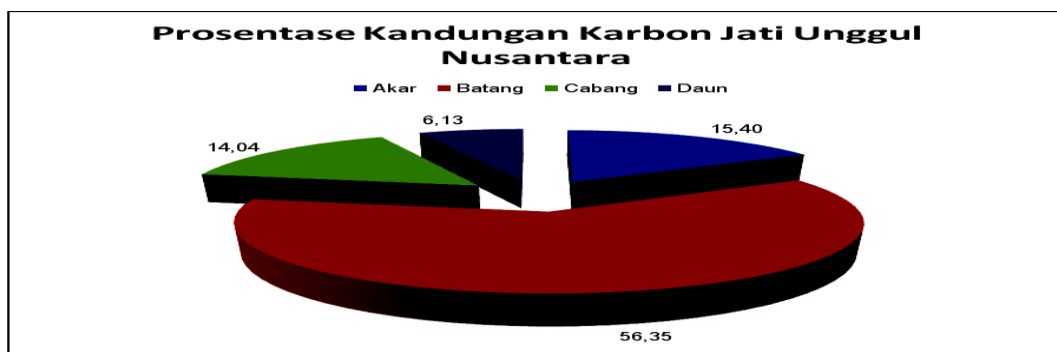
Tabel 11. Rata-rata Potensi Karbon Tanaman Jati Unggul Nusantara

Umur (tahun)	Karbon Rata-rata (kg) per tanaman				
	Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
5	15,40	56,35	14,04	6,13	91,94

Sumber : Data Primer Di olah

Potensi kandungan karbon tanaman *Jati Unggul Nusantara* di Desa Krowe Kec. Lembeyan Kab. Magetan dengan metode konversi biomassa berkisar rata-rata sebesar 13,665 ton karbon/ha. Dengan realisasi tanaman seluas 5.333 tanaman atau seluas 4,8 ha, maka total potensi kandungan karbon tegakan *Jati Unggul Nusantara* adalah 65,54 ton Carbon. Bila di

konversi ke dalam satuan volume per hektar berkisar antara 1,45 – 13,65 ton carbon per hektar. Komposisi kandungan karbon pada masing-masing komponen pohon juga berbeda, dimana tertinggi adalah pada komponen batang, diikuti oleh cabang, akar, dan daun. Persentase karbon tiap komponen pohon terhadap total karbon pohon, disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prosentase Kandungan Karbon Tiap Komponen Pohon

Kandungan karbon pada komponen batang mencapai 56,35 % dari total kandungan karbon pohon, diikuti oleh akar 15,4 %, Cabang 14,04 %, dan daun 6,13 %. Pengukuran kandungan karbon dengan metode konversi biomassa menggunakan asumsi

bahwa proporsi kandungan karbon dari biomassa pada tiap komponen pohon adalah sama, yaitu 50%. Artinya seluruh komponen pohon dianggap memiliki kemampuan yang sama didalam menyimpan karbon. Dengan demikian, perbedaan

distribusi karbon pada tiap komponen pohon hanya ditentukan oleh perbedaan komposisi berat biomassa dari tiap komponen pohon.

Persamaan Allometrik

Dari hasil perhitungan kandungan karbon pohon dengan metode konversi biomassa, dapat dibangun

model hubungan allometrik antara Dbh dengan simpanan karbon masing-masing komponen pohon dan total pohon. Pengolahan data menggunakan SPSS, dengan kriteria model terpilih adalah R² terbesar dan JKE terkecil. Adapun model terpilih untuk masing-masing hubungan disajikan pada Tabel 12.

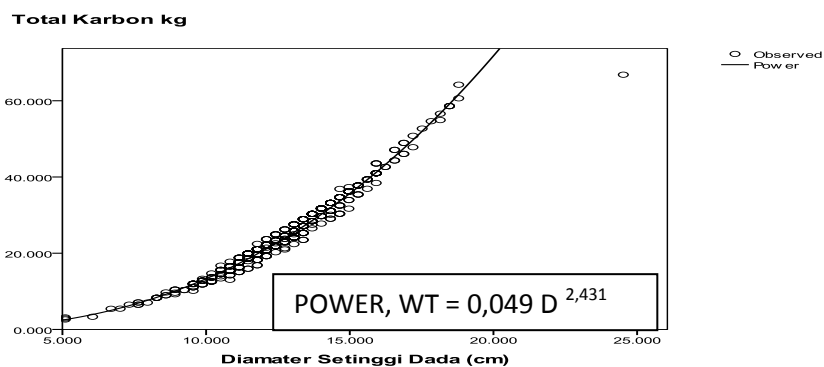
Tabel 12. Model Persamaan Allometrik Terpilih Untuk Pendugaan Karbon

No.	Bentuk Hubungan	Model Terpilih	Kriteria	Persamaan
1	Dbh – Karbon Akar	Power	R ² = 0,982 JKE = 1,892	CR = 0,008 D ^{2,431}
2	Dbh – Karbon Batang	Power	R ² = 0,982 JKE = 1,891	CS = 0,030 D ^{2,431}
3	Dbh - KarbonCabang	Power	R ² = 0,982 JKE = 1,891	CB = 0,008 D ^{2,431}
4	Dbh – Karbon Daun	Power	R ² = 0,982 JKE = 1,891	CL = 0,003 D ^{2,431}
5	Dbh – Karbon Pohon	Power	R ² = 0,982 JKE = 1,891	CT = 0,049 D ^{2,431}

Sumber data primer di olah

Untuk memberikan gambaran secara visual, maka garis regresi dengan data hasil pengukuran digambarkan dalam bentuk grafik atau diagram pencar (*scatter plot*), seperti disajikan pada Gambar 5. Dengan menggunakan persamaan allometrik dari model terpilih, maka kandungan karbon untuk tiap komponen pohon

dan simpanan karbon untuk total pohon dapat diduga dengan menggunakan Dbh sebagai variabel pembuka. Berdasarkan analisis varian untuk masing-masing model menunjukkan nilai signifikan (< 0,05), baik untuk korelasi hubungan dan nilai konstanta serta koefisien prediktor



Gambar 5. Grafik Hubungan Dbh dengan Total Potensi Karbon

Potensi Kandungan Karbon Tegakan

Hasil persentase karbon terhadap biomassa untuk seluruh

produk karbonasi, maka dapat dihitung kemampuan pohon dalam menyimpan karbon.. Dalam penelitian ini rata-rata kandungan karbon dari biomassa pohon dengan menggunakan asumsi bahwa isi karbon adalah konstan 50% dari berat biomassa (Brown, 1986) atau 45%

dari biomassa (Whittaker and Likens, 1973)..

Dengan menggunakan data potensi biomassa tegakan, maka potensi Kandungan karbon tegakan JUN dapat diketahui. seperti disajikan pada Tabel 13. Sebagai berikut :

Tabel 13. Rata-rata Potensi Karbon tiap Komponen Pohon Tanaman JUN

No	Dbh	Vol	Biomassa Organ Tanaman JUN (Kg)				
	cm	m3	Akar	Batang	Cabang	Daun	Total
Rerata	12,61	0,1337	2,059	7,534	1,878	0,820	12,291
Min	5,10	0,0143	0,220	0,804	0,200	0,088	1,312
Max	24,52	0,3635	5,599	20,483	5,105	2,229	33,417
Std Dev	2,14	0,0535	0,823	3,012	0,751	0,328	4,915

Pada Tabel 13 di atas terlihat potensi kandungan karbon tegakan per pohon berkisar antara 1,3 – 33,417 tC/ha, dengan rata-rata 13,65 tC/ha . Bila di konversikan dalam satuan m3/ha maka potensi karbon di desa krowe dengan adanya tanaman jati unggul nusantara berkisar antara 1,46 – 33,13 ton karbon per hektar atau keseluruhan sebesar 65,546 ton karbon.

Estimasi Potensi Penyerapan CO₂ Tanaman Jati Unggul Nusantara

Pengukuran potensi penyerapan gas CO₂ dilakukan dengan menggunakan perbandingan berat masa gas CO₂ dengan berat masa atom C. seperti disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Potensi Penyerapan CO₂ Tanaman Jati Unggul Nusantara

Umur Thn	Kandungan C Pohon kg	Potensi Penyerapan CO ₂ (kg)	Jumlah Pohon per ha	Potensi Carbon ton/ha	Potensi Penyerapan CO ₂ ton/ha
5	12,291	45,106	1.111	13,66	50,113

Besarnya potensi penyerapan CO₂ tanaman Jati Unggul Nusantara sangat di pengaruhi oleh kemampuan daun menyerap CO₂ di dalam proses fotosintesis, bila di konversi ke jumlah tanaman per hektar rata-rata 50,113 ton CO₂/ha. Jumlah Total tanaman jati unggul nusantara di desa krowe adalah sebesar 5.333 pohon adengan rata rata kandungan karbon per pohon sebsar 12,291 kg/pohon maka potensi penyerapan CO₂ di hasilkan maksimal sebesar 240, 55 ton carbon. Penelitian Harjana AK, (2009) menyatakan penyerapan CO₂ pada tanaman *Acacia mangium* di HTI Surya Hutani

Jaya Kalimantan Timur sebesar 200.75 ton CO₂/hektar, Tanaman *Eukaliptus pelitta* (klon) 69.31 ton CO₂/hektar dan tanaman *Eukaliptus pelitta* (biji) 74.08 ton CO₂/hektar.. Penelitian OKI (2008) menyatakan bahwa penyerapan CO₂ tanaman *Acacia mangium* di PT. Finnantara Intiga sebesar 35 ton CO₂/ha/tahun. Dengan demikian, sebenarnya hutan tanaman juga memiliki peranan yang sangat besar dalam upaya mitigasi pemanasan global, walaupun tidak dapat menyamai kemampuan hutan alam. Karakter hutan tanaman industri yang monokultur dengan daur

yang sangat pendek menyebabkan penyerapan energi menjadi tidak maksimal, dan tidak mampu

menyamai kemampuan hutan alam yang lebih heterogen dengan daur yang sangat panjang.

KESIMPULAN

1. Estimasi potensi tegakan berdiri untuk hutan rakyat tanaman Jati Unggul Nusantara di Desa Krowe Kec. Lembeyan Kab. Magetan pada umur 5 tahun berkisar $713,006 \text{ m}^3$, atau dengan rata-rata sebesar $148,54 \text{ m}^3/\text{ha}$ rata rata volume per pohon sebesar $0,1337 \text{ m}^3$ dengan volume terkecil sebesar $0,0143 \text{ m}^3$ dan volume terbesar sebesar $0,3635 \text{ m}^3$.
2. Kandungan Biomassa tanaman Jati Unggul Nusantara berkisar rata-rata sebesar $183,870 \text{ kg/pohon}$. Dengan realisasi tanaman sejumlah 5.333 tanaman atau seluas 4,8 ha, maka total potensi kandungan biomassa tegakan Jati Unggul Nusantara adalah 131,09 ton. Bila di konversikan dalam satuan luas per hektar besarnya kandungan biomassa berkisar antara 2,91 – 74,25 ton/hektar atau rata rata sebesar 27,30 ton per hektar. Komposisi biomassa organ tanaman jati unggul nusantara pada batang sebesar 61,304 %, akar sebesar 13,59 %, ranting 6,7 % dan organ cabang 10,27 %.
3. kandungan karbon tegakan per pohon berkisar antara 1,3 – 33,417 tC/ha, dengan rata-rata $13,65 \text{ tC/ha}$. Bila di konversikan dalam satuan m^3/ha maka potensi karbon berkisar antara 1,46 – 33,13 ton karbon per hektar atau keseluruhan sebesar 65,546 ton karbon. Komposisi karbon organ tanaman jati unggul nusantara pada batang sebesar 56,35 %, akar sebesar 16,76 %, cabang 15,28 % dan daun sebesar 6,67 %
4. Besarnya potensi penyerapan CO_2 tanaman Jati Unggul Nusantara bila di konversi ke jumlah tanaman per hektar rata-rata sebesar 50,113 ton CO_2/ha . Atau setara dengan

240,55 ton carbon keseluruhan tanaman jati unggul nusantara di Desa Krowe.

5. Persamaan allometrik yang di hasilkan dalam penelitian ini sebagai berikut :
 - a) Hubungan antara volume jati unggul nusantara dengan diameter setinggi dada (*Dbh*)
$$\text{Volume pohon} = Y = 19,555 \text{ Dbh}^{2,432}$$
 - b) Hubungan Biomassa dan kandungan Carbon dengan Diameter setinggi dada (*Dbh*) adalah model power dengan $WT / CT = 0,049 D^{2,431}$

SARAN

Pengukuran potensi karbon pada hutan tanaman Jati Unggul Nusantara dalam penelitian ini hanya didasarkan komposisi karbon sebesar 50 % dari biomasnya. Perlu dilakukan dengan menggunakan pengukuran langsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiriono T., 2009. Metode Pengukuran Karbon (*Carbon Stock*) pada Hutan Tanaman Industri Jenis *Acacia crassicaarpa*. Tesis Fakultas Kehutanan Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Tidak dipublikasikan
- Annonymous. 2008. Pemanasan Global. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. [http : // geo.UGM. ac.id/archives/28](http://geo.UGM.ac.id/archives/28). diakses 14 Maret 2012
- Avery, T.E. and Harold, E.B., 2002. *Forest Measurements*, Fifth Edition. Mc. Graw Hill Companies. New York.
- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests : A Primer*, FAO Forestry Paper 134, Rome : Food Agruculture Organisation of the United Nations

- FAO. 2007. State of the World's Forests 2007. Part I : *Progress towards sustainable forest management – Asia and the Pasific*. Rome, Italy.
- Fang, J. Anping, C. Changhui, P. Shuqing, Z. Longjun, C., 2001. *Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China Between 1949 and 1998*. Science 292 : 2320 – 2322
- Hairiah, K dan Rahayu, S., 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre. ICRAF Southeast Asia Regional Office. Bogor
- Hardjana, A.K., 2009. Inventore Kandungan Karbon Jenis-jenis Tanaman Penyusun HTI dan Kemampuannya dalam Menyerap Gas CO₂ dari Atmosfer. Tesis Fakultas Kehutanan Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Tidak dipublikasikan
- IPCC, 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/lulucf/gpqlulucf/unedit.html diakses 4 Maret 2012
- Losi, C.J. Thomas, G.S. Richard, C. Juan, E.M., 2003. *Analysis of Alternative Methods for Estimating Carbon Stock in Young Tropical Plantations*, Forest Ecology and Management
- Lukito. Martin. 2010. Studi Inventarisasi Hutan tanaman Kayu Putih Dalam Menghasilkan Biomassa dan karbon hutan. Tesis Fakultas Kehutanan UGM. Tidak Di publikasikan
- Mudiyarso D., 2007. Protokol Kyoto Implikasinya Bagi Negara Berkembang. PT. Kompas Media Nusantara. Jakarta
- Muhdin. 2003. Dimensi Pohon dan Perkembangan Metode Pendugaan Volume Pohon. Pengantar Falsafah Sains (PPS702). Program Pascasarjana/S3 IPB. Bogor. http://tumoutou.net/702_07134/muhdin.htm diakses 4 Maret 2012
- National Oceanic and Atmospheric Administration, 2007. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide – Mauna Loa. www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/
- Oki, G. 2008. Potensi Hutan Tanaman dalam Menghasilkan Kayu dan Jasa Lingkungan. Tesis Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Tidak di Publikasikan
- Purwanto, R.H. Nunuk, S. Soraya, E. 2007. Lecture Note Manajemen Kuantitatif Hutan Lestari. Program Pascasarjana Ilmu Kehutanan. Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Simon, H. 2007. Metode Inventore Hutan. Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Sutaryo, D. (2009). Perhitungan Biomassa. Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Wetlands International Indonesia Programme
- Sulaiman, W. 2004. Analisis Regresi Menggunakan SPSS Contoh Kasus dan Pemecahannya. ANDI. Yogyakarta
- Soemarwoto, O. 2004. Indonesia dalam Kanca Isu Lingkungan Global. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Suginingsih, Ibrahim, E. Gunawan, W. Priyono, S. Eny, F., 2004. Bahan Ajar Silvika. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta.
- Uryu, Y. *et al.* 2008. Deforestasi, Degradasi Hutan, Hilangnya Keanekaragaman Hayati, dan Emisi CO₂ di Riau, Sumatera, Indonesia. Laporan Teknik WWF-Indonesia, Jakarta, Indonesia