

**ALTERNATIF PENYEIMBANG STOK KARBON UNTUK
PENGUNAAN KAWASAN HUTAN
(STUDI KASUS : PT. PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY
(PGE)/ STAR ENERGY GEOTHERMAL WAYANG WINDU
LIMITED (SEGWWL) DI KABUPATEN BANDUNG)**

***ALTERNATIVE CARBON STOCK BALANCER FOR USE OF
FOREST AREA (CASE STUDY : PT. PERTAMINA GEOTHERMAL
ENERGY (PGE)/ STAR ENERGY GEOTHERMAL WAYANG WINDU
LIMITED (SEGWWL) IN BANDUNG DISTRICT)***

^{1*}Aris Dwi Subiantoro, dan ² Arief Sudradjat

^{1,2} Program Studi Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jl Ganesha 10 Bandung 40132

^{1*}arisdwisubiantoro@yahoo.com, ²arief.sudradjat@yahoo.com

Abstrak: Rencana penggunaan kawasan hutan oleh PT. PGE/SEGWWL untuk eksploitasi panas bumi seluas ± 78,31 ha di Kabupaten Bandung, diperkirakan akan melepaskan karbon yang disimpan sebagai biomassa. PLTP merupakan kegiatan strategis nasional, sehingga untuk mendukung kebijakan penurunan emisi GHG diperlukan kajian alternatif penyeimbang stok karbon. Penghitungan pelepasan karbon dan potensi penyerapan karbon menggunakan metode Sampling tanpa pemanenan (Non destructive sampling) dan menggunakan persamaan allometric dari penelitian-penelitian sebelumnya. Metode Analytic Hierarchy Process (AHP) digunakan untuk memilih alternatif terbaik penyeimbang stok karbon. Dari hasil penelitian diperoleh hasil yaitu perkiraan pelepasan karbon dari rencana penggunaan kawasan hutan sebesar 11.066,99 ton C. Reboisasi calon lahan kompensasi diperkirakan dapat menyerap karbon sebesar 5.016,66 ton C tahun⁻¹ untuk menyetarakannya. Kekurangan penyetaraan karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹ dapat dipenuhi dengan 3 alternatif membangun hutan rakyat yaitu 1) Jatiputih (Gmelina Arborea Roxb) seluas 50,17 ha, 2) Mindi (Melia Azedarach L) seluas 94,14 ha, dan 3) Eukaliptus (Eucalyptus Pellita F. Muell) seluas 86,86 ha. Alternatif terbaik yang dipilih menggunakan metode AHP yaitu dengan membangun hutan rakyat Jati putih (Gmelina Arborea Roxb).

Kata kunci: Karbon, Penggunaan Kawasan Hutan, Hutan Rakyat, AHP

Abstract : The intended use of forest areas by PT. PGE / SEGWWL for geothermal exploitation of ± 78.31 ha in Bandung regency, is expected release carbon stored as biomass. PLTP is a strategic national initiative, so as to support the GHG emission reduction policies is necessary to study alternative carbon stock balancer. Sampling methods without harvesting (Non-destructive sampling) and using allometric equations from previous studies are used for calculation of carbon release and carbon sequestration potential. Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to select the best alternative carbon stock balancer. The results of the research showed that estimate carbon release from forest area use plan is equal to 11.066,99 tons C. For balance, reforestation prospective land compensation is expected to sequester carbon by 5.016,66 tons C yr⁻¹. Shortage of carbon equivalency of 6.050,32 tons C yr⁻¹ can be filled with 3 alternative building private forests are 1) Jatiputih (Gmelina arborea Roxb) area of 50,17 ha, 2) Mindi (Melia azedarach L) covering an area of 94.14 ha, and 3) Eukaliptus (Eucalyptus Pellita F. Muell) covering an area of 86,86 ha. The best alternative selected using AHP method is to build a private forest of Jatiputih (Gmelina arborea Roxb)

Key words: Carbon, Use of Forest Areas, Private Forest, AHP.

PENDAHULUAN

Hutan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui memberikan manfaat langsung (tangible) dan tidak langsung (intangible) bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Manfaat langsung yang diperoleh yaitu hasil hutan berupa kayu, non kayu, habitat flora dan fauna. Sedangkan manfaat tidak langsung yaitu pengatur tata air, pencegah erosi, wisata alam, penyerap CO₂ serta penghasil O₂.

Selain fungsi pokoknya, di beberapa lokasi kawasan hutan memiliki potensi untuk dilakukan kegiatan pertambangan diantaranya MIGAS, panas bumi, emas, marmer dll. Untuk mengakomodir kegiatan di luar sektor kehutanan tersebut, pemerintah menerbitkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2010 tentang Penggunaan Kawasan Hutan. Salah satu contoh kegiatan penggunaan kawasan hutan yaitu rencana penggunaan kawasan hutan untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi (PLTP) yang diajukan oleh PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE)/ Star Energy Geothermal Wayang Windu Limited (SEGWWL) di Kabupaten Bandung.

PT. PGE / SEGWWL mengajukan permohonan penggunaan kawasan hutan untuk kegiatan eksploitasi panas bumi seluas ± 78,31 ha di Kecamatan Pangalengan Kabupaten Bandung. PT. PGE/ SEGWWL akan membangun akses jalan, disposal area, lokasi tapak sumur, lokasi pembangkit dan jalur pipa. Kegiatan tersebut diperkirakan mengakibatkan perubahan penutupan lahan berupa hutan primer dan hutan sekunder menjadi areal penggunaan lain. Pada pelaksanaan pembangunan PLTP, PT. PGE/SEGWWL melakukan penebangan pohon sebagai komponen utama dari ekosistem hutan sehingga secara langsung mengakibatkan pelepasan karbon yang disimpan oleh pohon sebagai biomassa tubuhnya. Hutan tropis semakin penting dalam upaya internasional untuk mengurangi perubahan iklim, berkat kemampuannya untuk menyimpan karbon dan emisi yang signifikan disebabkan oleh hancurnya hutan tropis (Malhi dan Grace 2000, Gibbs dkk., 2007 dalam Vieilledent dkk., 2012). Hutan alam primer dataran tinggi memiliki cadangan karbon sebesar 103,16 ton C/ha dan hutan sekunder dataran tinggi memiliki cadangan karbon sebesar 113,20 ton C/ha (Dharmawan, 2010 dalam Balitbang Kehutanan, 2010).

Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (*a glossary by the IPCC, 1995* dalam Sutaryo, 2009). Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Biomassa hutan sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Biomassa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Stok karbon salah satunya berasal dari biomassa di atas permukaan tanah, dengan asumsi bahwa 50% dari biomassa yaitu karbon (Clark dkk., 2001; Wang dkk., 2003 dalam Basuki dkk., 2009). Sebagai konsekuensi, jika terjadi penebangan hutan untuk areal penggunaan lain oleh PT. PGE/SEGWWL akan menambah jumlah konsentrasi karbon di atmosfer.

Kegiatan pembangunan PLTP merupakan kegiatan strategis nasional tetapi di sisi lain hutan tropis merupakan penyimpan karbon. Kegiatan pembangunan tidak boleh mengorbankan lingkungannya, oleh karena itu untuk memperoleh solusi terbaik maka diperlukan kajian sumber penyerap karbon untuk menyeimbangkan stok karbon. Penyeimbang stok karbon dapat dipenuhi dari reboisasi calon lahan kompensasi yang diwajibkan pada PP No. 24 Tahun 2010. Namun demikian calon lahan kompensasi tidak secara langsung mampu menyetarakan simpanan karbon sejak tahun pertama penanaman. Hutan rakyat dapat dipilih sebagai alternatif penyeimbang stok karbon untuk memenuhi kekurangan dalam penyeimbangan stok karbon. Hutan rakyat dapat menyerap karbon sampai dengan 192,33 ton C/ha (Asyitanti, 2004 dalam Balitbang Kehutanan, 2010).

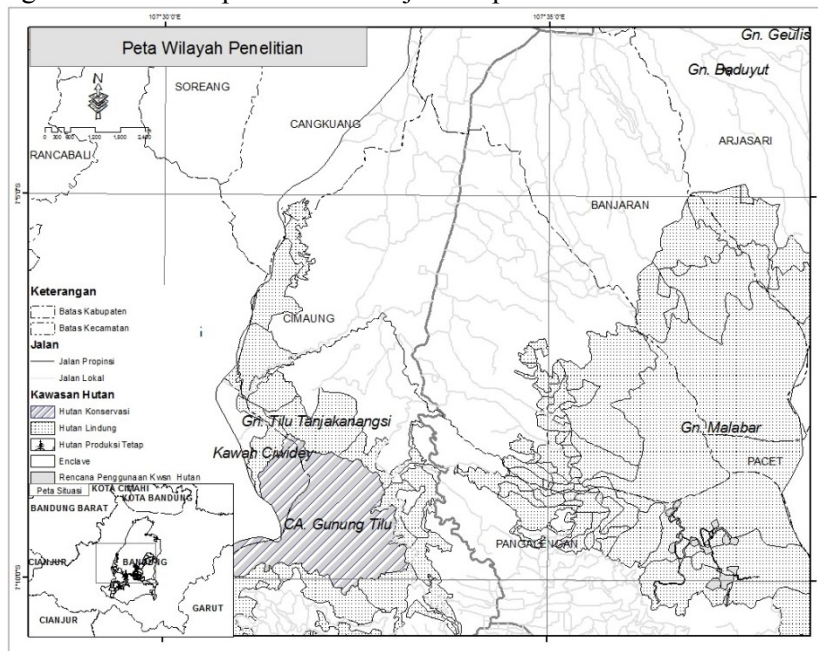
METODOLOGI

Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian terletak di Sub DAS Cisangkuy, Kabupaten Bandung, terbagi ke dalam 3 lokasi yaitu 1) Lokasi rencana kawasan hutan yang digunakan seluas 78,31 ha terletak di Kelompok Hutan Gunung Malabar, Kecamatan Pangalengan, 2) Hutan tanaman terletak di

kawasan hutan Gunung Tilu Kencana dan Gunung Malabar Kecamatan Cimaung dan Pangalengan. Lokasi ini dipilih karena diasumsikan PT. PGE/ SEGWWL direncanakan menyediakan lahan kompensasi berbatasan dengan lokasi ini sehingga kondisi biofisik lokasi penelitian memiliki karakteristik yang sama dengan calon lahan kompensasi, 3) Hutan rakyat terletak tersebar di Kecamatan Cimaung dan Pangalengan pada berbagai variasi umur, dan jenis tanaman hutan rakyat.

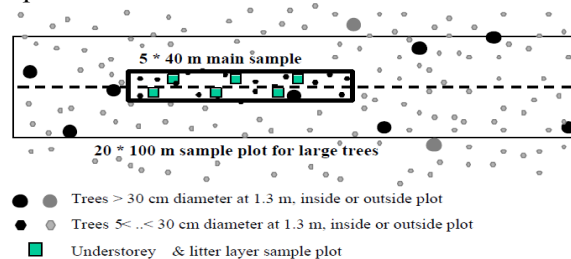
Sub DAS Cisangkuy memiliki luas 30.682,76 ha, secara geografis berada di antara 107°29'00" – 107°39'20" BT dan 6°58'30"- 7°14'00" LS. Sub DAS Cisangkuy meliputi 12 Kecamatan dan 71 Desa. Sub DAS Cisangkuy berada pada ketinggian antara 662,5 m dpl s/d 2.337,5 m dpl dengan topografi bergelombang s/d curam. Curah hujan di Sub DAS Cisangkuy antara 1.500 mm/tahun s/d 4.000 mm/tahun. Jenis tanah di wilayah Sub DAS Cisangkuy tergolong ke dalam 4 jenis tanah yaitu Aluvial, Andosol, Latosol dan podsolik merah kuning. Secara umum gambaran lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Wilayah Penelitian di Kabupaten Bandung.

Penentuan Sampel Plot Bentuk Plot dan Ukuran Plot

Bentuk plot yang akan dipakai adalah bujur sangkar dan persegi panjang. Bentuk dan ukuran plot ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Bentuk Plot yang digunakan (Hairiah dkk., 2001).

Jumlah Plot

Untuk menentukan jumlah plot minimal dapat menggunakan rumus yang dipakai oleh

Pearson dkk, 2007 sebagaimana **Persamaan 1** :

$$n = \frac{(N*s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N*s^2}$$

Persamaan 1

dimana : **E** = setengah dari interval kepercayaan yang dikehendaki, dihitung dengan mengalikan rata-rata simpanan karbon dengan presisi yang dikehendaki (misalnya rata-rata simpanan karbon x 0.1 (untuk presisi 10 %) atau 0.2 (untuk presisi 20%); **t** = nilai distribusi t untuk tingkat kepercayaan 95 %. Pada tahapan ini biasanya **t** ditetapkan dengan nilai 2 karena ukuran sampel yang belum diketahui; **N** = jumlah unit sampling dalam populasi (atau = area proyek atau strata (ha) / luas plot (ha); **s** = standard deviasi; **s²** = variansi

Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer pada penelitian ini menggunakan prosedur pengumpulan data karbon di atas tanah yang dirangkum pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter dan Metoda yang digunakan untuk Pengukuran Stok Karbon di atas tanah (Hairiah dkk., 2001).

Parameter	Metoda
Pohon hidup dengan diameter batang : - 30 cm di plot sampel standar (20 * 100 m) - 5 <... <30 cm di area yang luas (5 * 40 m)	Tanpa pemanenan pengukuran diameter batang, penerapan persamaan alometrik berdasarkan diameter batang
Tumbuhan bawah vegetasi (termasuk pohon <5 cm), Serasah (serasah kasar, halus dan akar permukaan)	Pemanenan
Pohon mati berdiri, pohon mati tumbang, tunggak /tunggul	Tanpa pemanenan, menerapkan persamaan alometrik atau silinder (masing-masing untuk tanpa bercabang & bercabang)

Analisa Data

Identifikasi Pelepasan dan Penyerapan Karbon

Pengolahan data biomassa dilakukan berdasarkan data primer dari rencana kawasan hutan yang digunakan, hutan tanaman dan hutan rakyat menggunakan persamaan alometrik. Persamaan allometrik lokal memiliki data yang lebih baik dibandingkan dengan persamaan umum (global) yang diterapkan pada seluruh jenis hutan (Vieilledent dkk., 2012). Beberapa persamaan alometrik yang dapat digunakan untuk hutan tropis telah disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan secara global maupun lokal dirangkum pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Beberapa Persamaan Allometrik Hasil Penelitian Sebelumnya.

Persamaan Alometrik	Lokasi Penelitian
BP= 0,11 ρ D ^{2,62}	Hutan sekunder dataran rendah Jambi (Kettering dkk., 2001)
BP = 0,118 D ^{2,53}	Hutan tropis lembab dengan CH antara 1500-4000 mm per tahun (Brown, 1997)
BP=0.281 D ^{2.06}	Kopi dipangkas (Arifin, 2001 dalam Hairiah dkk.,2001)
BP = 0.0417 D ^{2.6576}	Pinus (Waterloo, 1995 dalam Hairiah dkk.,2001)

Untuk menghitung jumlah biomassa tumbuhan bawah dan serasah, hasil pengambilan sampel dikeringkan dalam oven dan selanjutnya ditimbang berat keringnya. Untuk analisis data dari sampling kayu mati rebah menggunakan **Persamaan 2** (Pearson and Brown. 2004 dalam Sutaryo, 2009) :

$$\text{Biomassa kayu mati rebah (ton/ha)} = \text{volume} \times \text{berat jenis} \quad \text{Persamaan 2}$$

Semua data biomassa dan nekromasa pada lokasi dimasukkan ke dalam tabel rekapitulasi yang merupakan estimasi akhir jumlah C yang akan dilepaskan atau diserap pada masing-masing lokasi. Konsentrasi C dalam bahan organik yaitu sekitar 46% dari biomassa (Brown dkk, 1997), oleh karena itu estimasi jumlah C tersimpan per komponen dapat dihitung dengan mengalikan total berat masanya dengan konsentrasi C.

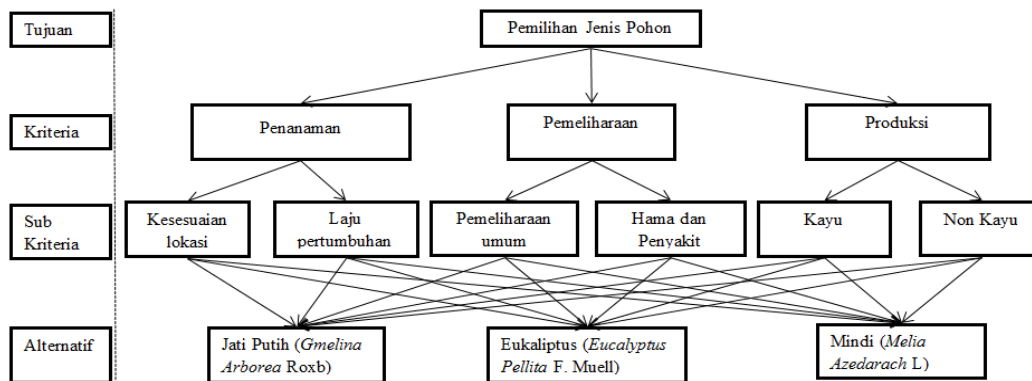
$$\text{Estimasi jumlah C (ton C/ha)} = \text{Biomassa (ton/ha)} \times 0,46 \quad \text{Persamaan 3}$$

Estimasi pelepasan jumlah C pada rencana penggunaan kawasan hutan dikomparasikan dengan potensi penyerapan C per tahun pada hutan tanaman. Selisih jumlah C tersebut digunakan sebagai acuan untuk menganalisa kebutuhan alternatif penyeimbang karbon yang akan dikembangkan melalui pembangunan hutan rakyat dengan menggunakan data estimasi jumlah C yang dapat diserap oleh hutan rakyat beberapa jenis.

Analytic Hierarchi Process (AHP)

Setelah diperoleh beberapa alternatif penyeimbang stok karbon, maka untuk memilih alternatif yang terbaik menggunakan metoda *Analytic Hierarkhi Process (AHP)*. Menurut Saaty (1980) dalam Herawati (2001), AHP merupakan model atau alat yang dapat digunakan oleh seorang pengambil keputusan untuk memahami kondisi suatu sistem, membantu melakukan prediksi dan pengambilan keputusan. AHP merupakan metode yang memodelkan prioritas permasalahan yang tidak terstruktur seperti dalam bidang ekonomi, sosial dan ilmu-ilmu manajemen. Ada tiga prinsip dasar dalam AHP, yaitu : a) Menyusun hirarki ialah memecah persoalan menjadi unsur yang terpisah-pisah, b) Penetapan Prioritas ialah menentukan peringkat elemen-elemen menurut relatif pentingnya, c) Konsistensi Logis ialah menjamin bahwa semua elemen dikelompokkan secara logis dan diperingkatkan secara konsistensi sesuai dengan suatu kriteria yang logis.

Ciri pemecahan masalah dengan menggunakan metode AHP adalah digunakannya hirarki untuk menguraikan system yang kompleks menjadi elemen-elemen yang lebih sederhana. Struktur hirarki dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Penyusunan Struktur Hirarki AHP untuk Pemilihan Jenis Pohon Hutan Rakyat.

Tahap terpenting dari AHP adalah penilaian perbandingan pasangan. Penilaian ini dilakukan dengan membandingkan sejumlah kombinasi dari elemen yang ada pada setiap tingkat hirarki. Penilaian dilakukan dengan membandingkan komponen-komponen berdasarkan skala penilaian. Untuk membandingkan dapat digunakan matrik perbandingan berpasangan. Tahap terakhir yaitu melakukan uji konsistensi untuk mengetahui apakah penilaian diterima atau tidak. Konsistensi suatu matrik perbandingan dihitung berdasarkan persamaan indek konsistensi :

$$CI = \lambda_{maks} - n / n-1 \quad \text{Persamaan 4}$$

dimana : $CI = Consistency\ index$; $\lambda_{maks} = Eigen\ maksimum$; $n = ukuran\ matrik$

Setelah diperoleh nilai indeks konsistensi, selanjutnya mencari nilai rasio konsistensi (*Consistency Ratio*, CR) dengan cara membandingkan indeks konsistensi (CI) dengan indeks random (RI). Jika nilai $CR \leq 0,1$, maka hasil penilaian diterima.

$$CR = CI/RI$$

Persamaan 5

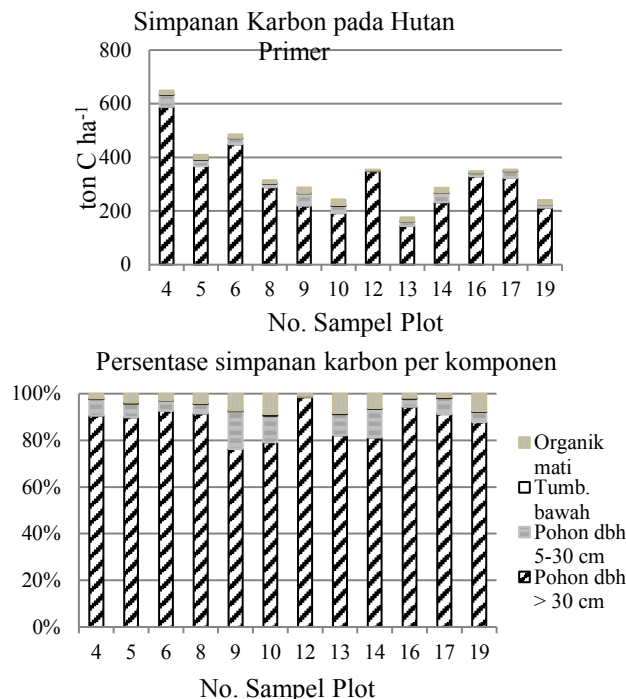
dimana : CR = *Consistency Ratio*; CI = *Consistency index*; RI = *Random indeks*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Pelepasan Karbon di Kawasan Hutan yang akan digunakan

Rencana penggunaan kawasan hutan seluas 78,31 ha terletak di kelompok hutan Gunung Malabar dengan kondisi tutupan lahan yaitu berupa hutan primer 24,63 ha dan hutan skunder 53,68 ha (Citra Ikonos Kementan, 2008, diolah). Jumlah sampel minimal dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1**. Data skunder berupa biomassa, simpangan baku dan variansi di lokasi penelitian tidak tersedia sehingga perlu dilakukan survei pendahuluan. Survei pendahuluan dilakukan dengan membuat 4 plot, dan diperoleh hasil rerata biomassa yaitu 161,30 kg/plot, simpangan baku (s) yaitu 43,90 dan variansi (s^2) yaitu 1.927,28. Presisi ditentukan sebesar 10 %. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil bahwa jumlah plot minimal yaitu sebanyak 27,55 (dibulatkan menjadi 28 plot), pada penelitian ini dibuat plot sebanyak 32 plot (12 plot di hutan primer dan 20 plot di hutan skunder).

Di hutan primer, simpanan karbon tertinggi yaitu pada plot 4 yang diperkirakan dapat menyimpan karbon sebesar 648,72 ton C ha⁻¹ sedangkan yang terendah pada plot 13 yaitu sebesar 166,23 ton C ha⁻¹ seperti terlihat pada **Gambar 4 (a)**. Perbedaan simpanan karbon pada masing-masing plot dipengaruhi oleh komponen penyimpan karbon yang ada di dalam plot tersebut.

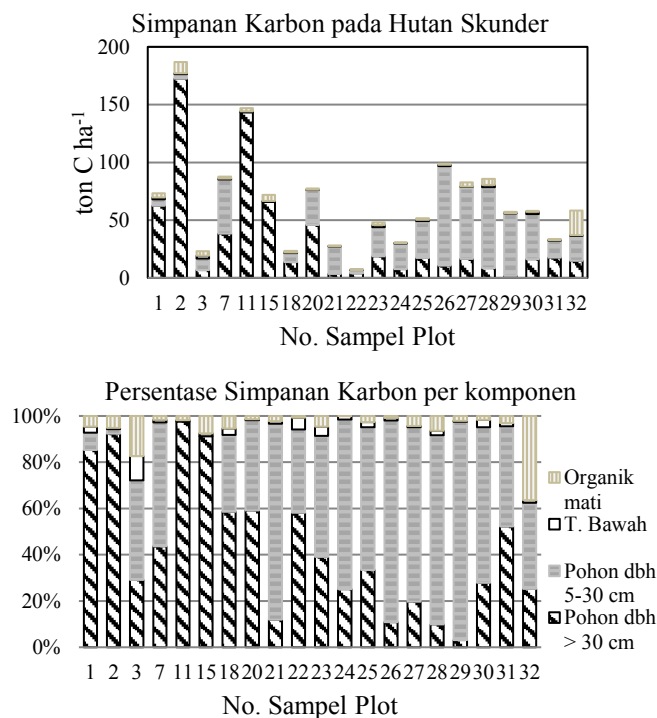


(a) Jumlah Karbon di atas permukaan tanah (b) Persentase per komponen

Gambar 3. Grafik Simpanan Karbon pada Hutan Primer.

Gambar 4 (b) menunjukkan bahwa pohon dengan diameter > 30 cm memberikan kontribusi paling besar pada simpanan karbon di hutan primer, dengan persentase sebesar 79,23 % s/d 98,48 %. Untuk pohon berdiameter 5 – 30 cm menyumbang sebesar 0,51 % s/d 16,22 %, sedangkan untuk tumbuhan bawah hanya menyumbang sebesar 0,11 % s/d 0,75 % dan organik mati memberikan kontribusi sebesar 0,90 % s/d 8,72 %. Rerata simpanan karbon pada hutan primer sebesar 318,17 ton C ha⁻¹ dengan simpangan baku sebesar 85,56 (tanpa memasukkan data pencilan dalam analisa data). Dengan demikian dengan luas hutan primer yang akan digunakan seluas 24,63 ha, maka diperkirakan karbon yang dilepaskan oleh hutan primer sebesar 7.836,53 ton C.

Di hutan skunder diperoleh hasil bahwa simpanan karbon tertinggi yaitu pada plot 2 yang diperkirakan dapat menyimpan karbon sebesar 186,94 ton C ha⁻¹ sedangkan yang terendah pada plot 22 yaitu sebesar 7,05 ton C ha⁻¹ seperti terlihat pada **Gambar 5 (a)**. **Gambar 5 (b)** menunjukkan bahwa pada plot 1, 2, 11, 15, 18, 20, 22, dan 31, pohon diameter > 30 cm memberikan kontribusi lebih besar pada simpanan karbon di hutan skunder dibandingkan unsur penyimpan lainnya, akan tetapi pada plot 3, 7, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, dan 32, pohon diameter 5 cm-30 cm sebagai penyimpan karbon lebih besar. Persentase unsur penyimpan karbon per plot dijelaskan berturut-turut yaitu pohon diameter > 30 sebesar 3,13% s/d 97,58 %, pohon diameter 5 cm – 30 cm sebesar 0 % s/d 94,35 %, tumbuhan bawah sebesar 0,40 % s/d 10,49 % dan organik mati sebesar 0,04 % s/d 36,42 %. Khusus pada plot 32, unsur penyimpan karbon pada serasah memberikan kontribusi sebesar 36,42 %, hal ini dikarenakan pada plot tersebut tidak dilakukan penggarapan intensif dibawah tegakan hutan untuk budidaya pertanian sehingga daun, ranting yang jatuh dari pohon utama tidak dilakukan pembersihan dan secara alami menutupi lantai hutan.



(a) Jumlah Karbon di atas permukaan tanah (b) Persentase per komponen

Gambar 4. Grafik Simpanan Karbon pada Hutan Skunder.

Rerata simpanan karbon pada hutan skunder sebesar 60,18 ton C ha⁻¹ dengan simpangan baku sebesar 33,30. Simpanan karbon pada hutan skunder Gunung Malabar tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian cadangan karbon pada hutan skunder lainnya antara lain Hutan skunder dataran tinggi di Gunung Gede Pangrango (Dharmawan, 2010 dalam Balitbanghut, 2010) yang mampu menyimpan karbon sebesar 113,20 ton C ha⁻¹ dan hutan

tanaman *Agathis Lorantifolia* di Baturaden, Purwokerto (Siregar dan Dharmawan, 2007 dalam Balitbanghut, 2010) yang mampu menyimpan karbon sebesar 123,40 ton C ha⁻¹. Hal ini dipengaruhi diantaranya perbedaan diameter pohon sebagai komponen penyimpan karbon di tempat penelitian dilakukan serta dimungkinkan adanya perbedaan karakteristik tekanan sosial terhadap kawasan hutan. Untuk Hutan skunder di Gunung Malabar tekanan penduduk berupa penggunaan kawasan hutan untuk budidaya pertanian sangat tinggi, sehingga penyimpanan karbon pada tumbuhan bawah dan serasah yang secara langsung terkena dampaknya. Selain itu, tekanan sosial tersebut juga berbentuk penebangan pohon sebagai unsur utama penyimpan karbon. Dengan demikian dengan luas hutan skunder yang akan digunakan seluas 53,68 ha, maka diperkirakan karbon yang dilepaskan oleh hutan skunder sebesar 3.230,46 ton C.

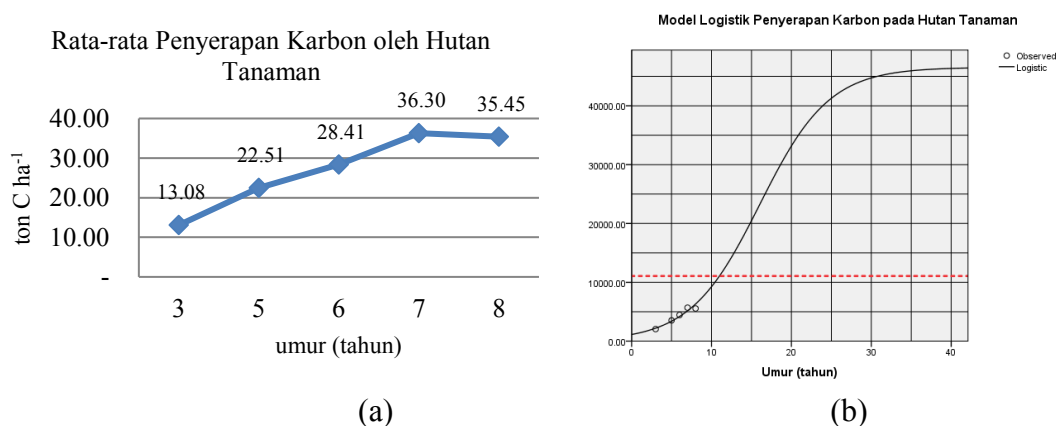
Berdasarkan data hasil penelitian tersebut, jumlah total pelepasan karbon akibat rencana penggunaan kawasan hutan baik hutan primer maupun hutan sekunder seluas 78,31ha di Kelompok Hutan Gunung Malabar diperkirakan sebesar 11.066,99 ton C yang berasal dari hutan primer sebesar 7.836,53 ton C dan hutan skunder sebesar 3.230,46 ton C.

Identifikasi Penyerapan Karbon di Hutan Tanaman

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 24 Tahun 2010, PT PGE/SEGWWL diwajibkan menyediakan, menyerahkan dan melakukan reboisasi lahan kompensasi minimal seluas 156,62 ha. Untuk memperkirakan penyerapan karbon pada lahan kompensasi tersebut, dilakukan identifikasi penyerapan karbon pada hutan tanaman yang karakteristiknya sama baik secara teknis dan pengelolaan, sehingga ditetapkan lokasi sampel plot berada pada hutan tanaman di kawasan hutan di BKPH Banjarnegara, KPH Bandung Selatan, tersebar di Kecamatan Cimaung, Pasir Jambu dan Pangalengan. Jumlah sampel plot disesuaikan dengan luas tanaman pada umur 3 s/d 8 tahun.

Gambar 6 (a). menunjukkan bahwa hasil identifikasi penyerapan karbon pada hutan tanaman yang berumur 3 dapat menyimpan karbon sebesar 13,08 ton C ha⁻¹, terus meningkat setiap tahun dan pada umur 8 tahun dapat menyimpan karbon sebesar 35,45 ton C ha⁻¹ sehingga diketahui bahwa laju pertumbuhan rata-rata yaitu sebesar 4,64 ton ha⁻¹ tahun⁻¹.

Untuk memodelkan bentuk pertumbuhan penyerapan karbon diperlukan data rata-rata penyerapan karbon per tahun dan batas maksimal penyerapan karbon pada hutan tanaman. Batas maksimal penyerapan karbon hutan tanaman yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 297,14 ton C ha⁻¹ (Yohana, 2009 dalam Balitbanghut, 2010). Penelitian tersebut dilakukan di hutan tanaman tegakan pinus di Perum Perhutani KPH Malang dan merupakan cadangan karbon tertinggi pada hutan tanaman yang bukan bekas kebakaran. Dengan asumsi bahwa pengguna kawasan hutan akan melakukan reboisasi lahan kompensasi seluas 156,62 ha, maka batas maksimal dalam model yaitu 46.538,47 ton C. Hasil estimasi kurva memperoleh persamaan model logistik yaitu $Y = 1/(0,00002 + 0,001*0,794^{exp x})$



Gambar 5. (a) Rata-rata Penyerapan Karbon oleh Hutan Tanaman, (b) Model Logistik Penyerapan Karbon pada Hutan Tanaman seluas 156,62 ha.

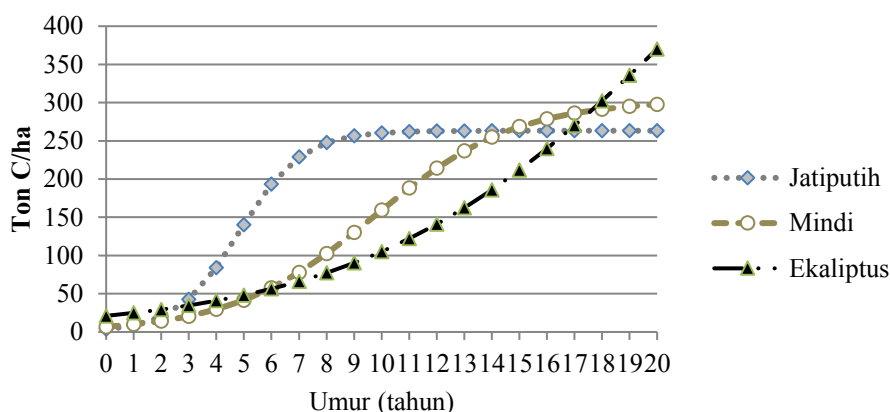
Dari model tersebut, untuk menyetarakan karbon yang dilepaskan oleh rencana penggunaan kawasan hutan sebesar 11.066,99 ton C, dapat dipenuhi dari calon lahan kompensasi seluas 156,62 ha selama \pm 11 tahun (lihat **Gambar 6 (b)**). Laju penyerapan karbon oleh hutan tanaman sebesar 1,23 dan rata-rata penyerapan karbon sebesar 5.016,66 ton C tahun⁻¹. Dengan demikian untuk menyeimbangkan stok karbon dibutuhkan alternatif penyeimbang stok karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹.

Identifikasi Penyerapan Karbon di Hutan Rakyat

Identifikasi penyerapan karbon pada hutan rakyat dilakukan di 3 jenis hutan rakyat, yaitu 1) Hutan rakyat Jatiputih (*Gmelina arborea* Roxb), 2) Hutan rakyat Mindi (*Melia Azedarach* L) dan 3) Hutan rakyat Eukaliptus (*Eucalyptus Pellita* F. Muell). Sampel plot yang dibuat pada hutan rakyat Jatiputih sebanyak 6 buah yaitu pada umur 2, 3 dan 4 tahun masing-masing sebanyak 2 plot. Rerata penyerapan karbon pada umur 2 tahun sebesar 17,84 ton C ha⁻¹, pada umur 3 tahun sebesar 50,19 ton C ha⁻¹, dan pada umur 4 tahun sebesar 79,02 ton C ha⁻¹. Asumsi batas maksimal penyerapan karbon hutan rakyat Jatiputih yang digunakan yaitu sebesar 263,19 ton C ha⁻¹. Hasil estimasi kurva diperoleh persamaan model logistik yaitu $Y = 1 / (0,004 + 0,279 * 0,413^{exp x})$. Hutan rakyat Jati putih umumnya ditebang pada umur 8 tahun, sehingga dari model tersebut, hutan rakyat Jatiputih dapat menyerap karbon sebesar 247,89 ton C ha⁻¹. Laju pertumbuhan rata-rata hutan rakyat Jati putih yaitu 1,77 dan rata-rata penyerapan karbonnya sebesar 120,61 ton C ha⁻¹ tahun⁻¹. Dengan demikian untuk memenuhi kekurangan penyeimbang stok karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹ dapat dilakukan dengan membangun hutan rakyat Jatiputih seluas \pm 50,17 ha.

Sampel plot yang dibuat pada hutan rakyat Mindi sebanyak 6 buah yaitu pada umur 2, 3, dan 5 tahun masing-masing sebanyak 2 plot. Rerata penyerapan karbon pada umur 2 tahun sebesar 13,83 ton C ha⁻¹, pada umur 3 tahun sebesar 21,64 ton C ha⁻¹, dan pada umur 5 tahun, sebesar 41,14 ton C ha⁻¹. Asumsi batas maksimal penyerapan karbon hutan rakyat Mindi yaitu sebesar 303,24 ton C ha⁻¹. Hasil estimasi kurva diperoleh persamaan model logistik yaitu $Y = 1 / (0,003 + 0,145 * 0,678^{exp x})$. Hutan rakyat Mindi umumnya ditebang pada umur 10 tahun, sehingga dari model tersebut, hutan rakyat Mindi dapat menyerap karbon sebesar 159,38 ton C ha⁻¹. Laju pertumbuhan rata-rata hutan rakyat Mindi yaitu 1,37 dan rata-rata penyerapan karbonnya sebesar 64,27 ton C ha⁻¹ tahun⁻¹. Dengan demikian untuk memenuhi kekurangan penyeimbang stok karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹ dapat dilakukan dengan membangun hutan rakyat Mindi seluas \pm 94,14 ha.

Sampel plot yang dibuat pada Hutan rakyat Eukaliptus sebanyak 7 buah yaitu pada umur 4, 5, 7 dan 8 tahun masing-masing sebanyak 2 plot (kecuali pada umur 8 tahun hanya 1 plot). Rerata penyerapan karbon pada umur 4 tahun sebesar 39,83 ton C ha⁻¹, pada umur 5 tahun, sebesar 25,59 ton C ha⁻¹, pada umur 7 tahun sebesar 68,67 ton C ha⁻¹, pada umur 8 tahun, sebesar 67,10 ton C ha⁻¹. Asumsi batas maksimal penyerapan karbon hutan rakyat Eukaliptus yaitu sebesar 821,03 ton C ha⁻¹. Hasil estimasi kurva diperoleh persamaan model logistik yaitu $Y = 1 / (0,001 + 0,046 * 0,842^{exp x})$. Hutan rakyat Eukaliptus umumnya ditebang pada umur 12 tahun, sehingga dari model tersebut, hutan rakyat Eukaliptus dapat menyerap karbon sebesar 140,92 ton C ha⁻¹. Laju penyerapan rata-rata hutan rakyat Eukaliptus yaitu 1,17 dan rata-rata penyerapan karbonnya sebesar 69,66 ton C ha⁻¹ tahun⁻¹. Dengan demikian untuk memenuhi kekurangan penyeimbang stok karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹ dapat dilakukan dengan membangun hutan rakyat Eukaliptus seluas \pm 86,86 ha. Model logistik seluruh jenis hutan rakyat ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Model Logistik Penyerapan Karbon pada Hutan Rakyat.

Analytic Hierarchi Process (AHP)

Metode AHP digunakan untuk menetapkan alternatif terbaik dari beberapa alternatif penyeimbang stok karbon. Selain kriteria penyerapan karbon, juga digunakan kriteria-kriteria lain dalam pembangunan hutan rakyat. Penentuan prioritas dilakukan berdasarkan informasi yang diperoleh dari bagian penelitian ini dan studi literatur yang dilakukan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Informasi terkait dengan kriteria yang ditentukan disajikan di **Tabel 3**.

Tabel 3. Informasi Kondisi Masing-masing Alternatif Jenis yang akan dipilih.

Sub Kriteria	Uraian	Jati putih	Eukaliptus	Mindi
Kesesuaian lokasi (KL)	Jenis Tanah : Latosol, Andosol, dan Podsolik MK Ketinggian : 670-1900 m dpl CH : 2000-3500 mm/tahun	sesuai 0-1200 750-5000	sesuai 0-1000 2000	Sesuai 0-1200 600-2000
Laju pertumbuhan	D (m) / T (m) / V (m ³)	0,064 / 3,1 / 0,0100	0,028/ 2,7/ 0,0017	0,04/ 3,84/ 0,0048
Pemeliharaan Umum		Mudah	Mudah	Mudah
Hama dan penyakit		Serangga kepik, Fungi, Jamur rhizoctonia	Lodoh, Rayap, Bercak daun, Hawar daun	Tahan
Hasil Kayu	Produksi (m ³) / Harga (Rp.) Pendapatan kotor (Rp)	400,00 / 600.000 240.000.000	157,00/ 1.200.000 188.400.000	320,00/ 700.000 224.000.000
Hasil Non Kayu (Karbon)	ton C ha ⁻¹ tahun ⁻¹	120,61	69,66	64,27

Berdasarkan informasi pada **Tabel 3**, selanjutnya dilakukan matrik perbandingan pasangan, dan uji konsistensi dengan menggunakan persamaan (4) dan (5). Hasil pengujian matrik seluruh kriteria dan sub kriteria yaitu dapat diterima. Untuk menentukan alternatif dengan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil prioritas lokal pada alternatif, sub kriteria dan kriteria. Hasil penentuan prioritas global dapat dilihat pada **Tabel 4** yang menunjukkan bahwa hutan rakyat jenis Jatiputih (*Gmelina Arborea Roxb*) memiliki nilai prioritas global terbesar dan dapat dipilih sebagai alternatif pertama penyeimbang stok karbon.

Tabel 4. Hasil Penentuan Bobot Prioritas Global.

Kriteria	Penanaman (0,637)		Pemeliharaan (0,258)		Produksi (0,105)		Bobot Prioritas Global (\sum nilai alternatif * Sub kriteria * Kriteria)
	KL (0,75)	LP (0,25)	PU (0,5)	HP (0,5)	K (0,75)	NK (0,25)	
Jati putih	0,54	0,64	0,33	0,24	0,64	0,64	0,50

Eukaliptus	0,30	0,10	0,33	0,14	0,10	0,26	0,23
Mindi	0,16	0,26	0,33	0,63	0,26	0,10	0,27

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa rencana penggunaan kawasan hutan untuk PLTP diperkirakan akan melepaskan karbon sebesar 11.066,99 ton C. Untuk menyetarakannya, calon lahan kompensasi diperkirakan dapat menyerap karbon sebesar 5.016,66 ton C tahun⁻¹. Kekurangan penyetaraan karbon sebesar 6.050,32 ton C tahun⁻¹ dapat dipenuhi dengan 3 alternatif membangun hutan rakyat yaitu 1) Jatiputih (*Gmelina Arborea Roxb*) seluas 50,17 ha, 2) Mindi (*Melia Azedarach L*) seluas 94,14 ha, dan 3) Eukaliptus (*Eucalyptus Pellita F. Muell*) seluas 86,86 ha. Alternatif terbaik yang dipilih menggunakan Metode AHP yaitu dengan membangun hutan rakyat Jati putih (*Gmelina Arborea Roxb*).

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Litbang Kehutanan. 2010. Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan.
- Basuki, T.M., Van Lake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A.,. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Journal of Forest Ecology and Management* Vol. : 257 pp. 1684-1694. ELSEVIER
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests A Primer. Rome: FAO.
- Brown, W.A. , Pinchuk, R., Cooper, D.G. 1997. Determining biomass from differential total organic carbon, *Journal of Biotechnology Techniques* Vol : 11 pp 213-216.
- Hairiah, K., Sitompul, S., Noordwijk, M., dan Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. Bogor: International Centre for Research in Agroforestry.
- Herawati, T. 2001, Pengembangan sistem pengambilan keputusan dengan kriteria ganda dalam penentuan jenis tanaman hutan rakyat. Tesis. Institut Pertanian Bogor
- Ketterings, Q., Coe, R., Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Journal of Forest Ecology and Management* Vol. : 146 pp. 199-209.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.
- Pearson, T.R.H., Brown, S.L., Birdsey R.A., 2007. Measurement Guidelines for the sequestration of forest carbon. USDA.
- Vieilledent, G., Vaudry, R., Andriamanohisoa F.D., Rakotonarivo, O.S., Randianasolo, H.Z., Razafindrabe, H.N., Rakotoarivony, C.B., Ebeling J., Rasamoelina, M., 2012. A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Journal of Ecological Applications*, Vol 22. pp 572-583.