



POTENSI DAN NILAI EKONOMI CADANGAN KARBON PADA AREA HIJAU YANG DIKELOLA OLEH PT. PERTAMINA (PERSERO) FUEL TERMINAL BOYOLALI

Oleh

Sunarno¹⁾, Rully Rahadian²⁾, Sri Widodo Agung Suedy³⁾, Bayu Pradika⁴⁾, Bima Adistya⁵⁾, Fendy E. Wahyudi⁶⁾, Amni Z. Rahman⁷⁾, Satwika Paramasatya⁸⁾ & Widiartanto⁹⁾

^{1,2,3}Departemen Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro;

^{4,5}PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali

^{6,8}Departemen Hubungan Internasional Universitas Diponegoro

⁷Departemen Administrasi Publik Universitas Diponegoro

⁹Departemen Administrasi Bisnis Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275, telp/fax: (024) 70799494

Email: ¹sunzen07@gmail.com, ²rrahadian@gmail.com, ³agung.suedy@gmail.com,

⁴bayu.pradika@pertamina.com, ⁵bima.adistya@pertamina.com,

⁶fewahyudi@lecturer.undip.ac.id, ⁷amnirahman@lecturer.undip.ac.id,

⁸satwikaparamasatya@lecturer.undip.ac.id & ⁹widiartanto@live.undip.ac.id

Abstrak

Salah satu gas rumah kaca seperti karbondioksida mempunyai pengaruh besar terhadap peningkatan temperatur di permukaan bumi. PT. Pertamina (Persero) Fuel Terminal (FT) Boyolali sebagai instansi BUMN memiliki tanggung jawab dan peran penting dalam program konservasi, perlindungan keanekaragaman hayati, dan pengelolaan lingkungan melalui integrasi prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian untuk mendapatkan informasi tentang potensi karbon yang tersimpan di area hijau wilayah yang dikelola oleh Fuel Terminal Boyolali. Area hijau yang dikelola oleh instansi ini meliputi kawasan operasional Fuel Terminal, Daerah Aliran Sungai (DAS) Kalipepe di Kec. Teras, dan Hutan Wonopotro, berturut-turut seluas 3,36 ha, 4 ha, dan 0,16 ha. Tujuan penelitian ini adalah menentukan dan menganalisis potensi cadangan karbon, serapan karbondioksida dan hubungannya dengan nilai ekonomi dari cadangan karbon yang terdapat pada pohon, tumbuhan penutup tanah, serasah, nekromas (kayu mati), dan karbon dalam tanah. Hasil penelitian menunjukkan total cadangan karbon di ketiga area hijau yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali sebanyak 732,881 ton yang setara dengan serapan karbondioksida (CO₂-eq) sebesar 2.689,672 ton. Nilai serapan karbondioksida setara dengan nilai 8,875.916US\$ dan atau 51,103.760 US\$. Bila kurs 1 US\$ adalah Rp. 14.650 maka nilai ekonomi akhir serapan karbon tersebut bernilai Rp.130.032.171,597 - Rp.746.670.078,894. Semakin tinggi kandungan karbon pada suatu kawasan memberi kontribusi positif untuk pengendalian konsentrasi karbon di atmosfer, untuk pengembangan lingkungan bersih, dan mewujudkan lingkungan yang lestari.

Kata Kunci: Emisi Karbon, Pengelolaan Lingkungan, Serapan Karbondioksida, Konservasi & Keanekaragaman Hayati

PENDAHULUAN

Perkembangan relasi dunia industry dan juga pihak pemangku kepentingan yang berinteraksi dengan dunia insdustri semakin merambah ke berbagai macam sector di era globalisasi. Terlebih lagi semakin menguatnya isu pembangunan berkelanjutan menuntut

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems

kinerja perusahaan untuk menjadi lebih kreatif lagi dan mampu memberikan keuntungan tidak hanya bagi perusahaan itu sendiri namun juga memunculkan pendekatan *triple bottom line – people, planet, profit* [1].

Berangkat dari perkembangan relasi dunia usaha dengan berbagai stakeholders tersebut

Vol.15 No.3 Oktober 2020



.....
memunculkan perhatian agar praktes kinerja perusahaan terutama perusahaan yang bergerak di bdiang ekstraktif agar turut berkontribusi menanggulangi problem global yang terjadi. Salah satu problem yang kerap dijadikan aspek pedoman penilaian kinerja kontributif perusahaan adalah aspek sumbangsih perusahaan tersebut di bidang lingkungan hidup.

Program konservasi, perlindungan keanekaragaman hayati, dan pengelolaan lingkungan hidup melalui integrasi prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kinerja suatu perusahaan yang ada di dunia maupun di Indonesia. Kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari kinerja nasional dalam mencegah pemanasan global (*global warming*) dan perubahan iklim (*climate change*). Salah satu indikator penting dalam pengelolaan lingkungan adalah potensi cadangan karbon yang ada pada suatu kawasan. Cadangan karbon memiliki korelasi dengan serapan karbondioksida dan memiliki nilai ekonomi yang sangat penting dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan secara nasional. Berkaitan dengan hal tersebut, PT. Pertamina (Persero) Fuel Terminal (FT) Boyolali sebagai salah satu badan usaha milik negara (BUMN) yang wilayahnya operasional dan binaannya terdiri atas area hijau ikut berperan aktif dalam upaya mitigasi ikut memelihara kestabilan iklim. Instansi ini berkomitmen akan meningkatkan cadangan karbon di area hijau binaannya dan secara otomatis berperan serta dalam mengurangi emisi CO₂ di atmosfer.

Area hijau merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi penyerap gas CO₂. Pepohonan, tanaman penutup tanah atau semak mampu mengabsorpsi CO₂ selama proses fotosintesis dan menyimpannya sebagai materi organik dalam biomassa pohon dan tanaman tersebut [2]. Area hijau yang semakin baik dengan pengelolaan jarak pohon dan tanaman,

banyaknya pohon dan tanaman yang berumur tua serta penjagaan dari kerusakan akan memberi kontribusi penting bagi penurunan konsentarsi gas rumah kaca (GRK) terutama CO₂ yang diemisikan ke atmosfer dan akan meningkatkan fungsi area hijau sebagai pemelihara kestabilan iklim dan meningkatkan kemampuan area tersebut dalam menyimpan karbon. Maka, untuk semakin meningkatkan fungsi area hijau dalam mengurangi emisi dan menyimpan banyak CO₂ perlu dilakukan pengelolaan lingkungan [3]. PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali melakukan pengelolaan area hijau di tiga lokasi yaitu kawasan operasional FT Boyolali, Daerah Aliran Sungai (DAS) Kalipepe di Kec. Teras, dan Hutan Wonopotro, berturut-turut seluas 3,36 ha, 4 ha, dan 0,16 ha.

Area hijau yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali merupakan bagian dari program yang tertuang dalam UU No. 26 tahun 2007 menyatakan bahwa area hijau adalah daerah yang memanjang dan atau mengelompok serta pemanfaatannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah atau yang sengaja ditanam. Vegetasi pohon atau tanaman yang ditanam di area hijau dapat membantu menyerap dan menyimpan karbon. Area hijau yang dikelola oleh FT Boyolali dapat dilakukan kegiatan konservasi. Adanya berbagai macam jenis vegetasi tumbuhan, maka area yang dikelola tersebut memiliki potensi cadangan karbon yang dapat memiliki fungsi mencegah emisi karbon, memelihara kualitas lingkungan yang ada di wilayah sekitar lokasi tersebut serta menjaga kestabilan ekosistem. Cadangan karbon yang terdapat pada pohon, tumbuhan bawah penutup tanah, serasah, nekromas dan karbon tanah merupakan indikator penting untuk menentukan intensitas radiasi yang diserap tanaman untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan di area hijau. Cadangan karbon yang terdapat pada beberapa bahan tersebut juga merupakan faktor utama dalam proses ekofisiologi pada area hijau dimana pohon dan tanaman tumbuh dan dapat sebagai masukan



berbagai model ekosistem. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian tentang potensi dan nilai ekonomi cadangan karbon di area yang dikelola oleh FT Boyolali.

Penelitian ini sebagai upaya memberi gambaran hasil kinerja PT Pertamina (Persero) FT Boyolali tentang pengelolaan lingkungan yang tercermin dari potensi dan nilai ekonomi cadangan karbon. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk perbaikan kualitas lingkungan dan pengelolaan lingkungan secara lestari sehingga memberi kontribusi pada upaya mempertahankan iklim dan meningkatkan kemampuan bumi dalam menyimpan dan menyerap karbondioksida sebagai upaya mencegah pemanasan global.

LANDASAN TEORI

Karbon

Karbon atau yang sering disebut dengan zat arang adalah unsur kimia dengan simbol C dan memiliki nomor atom 6. Keberadaannya di alam semesta cukup melimpah, yakni berada pada peringkat kedua setelah oksigen. Karbon dapat ditemukan dalam bentuk padat dan cair pada kerak bumi, permukaan tanah, makhluk hidup (manusia, tanaman) dan dalam bentuk gas di udara [4].

Potensi Ekonomi Karbon

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2020 menyatakan, luas tutupan hutan atau area hijau di Indonesia mencapai 94,1 juta ha. Kebijakan pemerintah tentang penyelenggaraan nilai ekonomi karbon (NEK) dan mekanisme perdagangan karbon telah berdampak terhadap penurunan nilai emisi gas rumah kaca terutama CO₂, peningkatan penjagaan hutan, dan penurunan deforestasi. Tingkat penurunan emisi karbondioksida pada suatu negara digunakan untuk menentukan nilai pembayaran *Result Based Payment (RBP)* sesuai komitmen perjanjian perdagangan internasional [5].

Mekanisme Penyerapan Karbon

Sequestrasi karbon atau perpindahan karbon dari atmosfer ke dalam tanaman atau tanah dapat digunakan untuk keperluan mitigasi

terhadap perubahan iklim [6]. Sequestrasi memiliki dampak positif pada peningkatan kandungan bahan organik di tanaman dan tanah sehingga dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan kesuburan tanah, produktivitas lahan untuk produksi pangan dan ketahanan pangan [7]. Mekanisme penyerapan karbon dari udara terjadi melalui proses fotosintesis, dimana CO₂ diserap, kemudian kandungan karbonnya ditahan sementara kandungan oksigen dilepaskan kembali ke udara. Selama penguraian residu tanaman, kandungan karbon terfiksasi dalam proses fotosintesis dipindahkan ke permukaan tanah untuk pertumbuhan struktur tanaman dan sisanya berpindah ke tanah [8]. Karbon yang berpindah ke tanah kemudian menyatu ke dalam agregat tanah melalui proses humifikasi [5]. Selain itu, penyerapan karbon dapat terjadi melalui mekanisme pemerangkapan (*trapping*), yang meliputi trapping hidrodinamik, trapping residual, trapping bahan-bahan terlarut, dan trapping mineral [4].

Karbon Tanah

Tanah merupakan lokasi dengan kandungan karbon terbesar ketiga setelah lautan dan kerak bumi [9]. Kandungan karbon tanah atau yang sering disebut sebagai *soil organic carbon (SOC)* memiliki peran penting sebagai umpan balik biosfer dalam peningkatan CO₂ di atmosfer yang menyebabkan bumi menjadi hangat [10]. Hasil analisis jumlah kandungan karbon organik di dalam tanah secara global menunjukkan bahwa ditemukan sekitar 1400-1600 Pg karbon (1 Pg= satu miliar ton) di kedalaman satu meter pertama dan 500-1000 Pg untuk setiap satu meter berikutnya [11]. Jumlah kandungan karbon di tanah ini dua kali lipat dibandingkan di atmosfer (770 Gt atau giga ton) dan tiga kali lipat dibandingkan pada vegetasi (560 Gt) [12]. Nilai SOC ini dapat mengalami penurunan akibat degradasi, deforestasi hutan, dan kerusakan lingkungan [13]. Kandungan karbon yang terdapat di dalam tanah diketahui sebesar 28,15%, lebih tinggi dibanding pada serasah namun lebih rendah dibanding pada vegetasi hidup [14].



Karbon Pohon

Simpanan karbon pohon dihitung dengan pendekatan biomassa di atas dan bawah permukaan tanah (akar) pada pohon hidup dengan menggunakan persamaan allometrik dengan mengalikan biomassa pohon dengan kandungan karbon vegetasi secara umum (0,37 untuk hutan tropis) [15]. Kandungan karbon pohon dipengaruhi oleh faktor jenis pohon, ketinggian pohon dan kondisi lingkungan yang meliputi ketinggian kawasan, intensitas cahaya, temperatur lingkungan, pH dan kelembaban tanah [16]. Kandungan karbon yang ditemukan pada vegetasi hidup seperti pada pohon, perdu, semak, dan tumbuhan penutup tanah sebesar 48,50%, lebih tinggi dibanding pada serasah maupun karbon yang ada di dalam tanah [14].

Karbon Nekromassa (Kayu Mati)

Nekromasa atau tanaman mati merupakan salah satu dari tiga penyimpanan karbon di darat, selain vegetasi hidup dan tanah [17]. Nekromassa meliputi pohon atau semua bagian pohon berkayu yang mati, baik yang masih berdiri, roboh, tunggul tanaman mati, cabang dan ranting. Nekromasa atau kayu mati dapat disebabkan oleh faktor lingkungan seperti cuaca yang ekstrem, akibat dimatikan oleh manusia atau karena aktivitas hewan, akibat terinfeksi oleh hama atau penyakit. Kandungan karbon pada nekromasaa sebesar 23,35% kurang lebih hamper sama dengan serasah dan lebih rendah dibanding vegetasi hidup atau karbon yang tersimpan di dalam tanah [15].

Karbon Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah merupakan vegetasi yang ditanam untuk menutupi permukaan tanah seperti lahan pertanian dan pekebunan, untuk mengurangi erosi tanah. Balai Penelitian Tanah Kementerian Pertanian menyatakan bahwa jenis tanaman yang biasa digunakan adalah tanaman dengan daun yang rapat seperti famili leguminosa. Lahan terdegradasi yang ditumbuhi semak dan belukar mempunyai cadangan karbon 15-30 t C/ha [16], sedangkan lahan yang ditumbuhi paku resam, rumput, dan alang-alang memiliki cadangan

karbon yang lebih rendah, berkisar 2-10 t C/ha, hampir sama dengan lahan yang diusahakan dengan tanaman semusim [19].

Karbon Serasah

Serasah merupakan istilah yang diberikan untuk sampah organik berupa dedaunan kering, ranting dan sisa vegetasi yang sudah mengering dan berubah warna dari warna aslinya. Serasah dihasilkan dari aktivitas alami yang terjadi pada tumbuhan. Jatuhnya serasah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti ketinggian, cuaca, iklim dan kesuburan tanah [20]. Kandungan karbon yang ditemukan pada serasah sebesar 23,35% lebih rendah dibandingkan vegetasi hidup maupun karbon di dalam tanah [14].

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di area hijau yang dikelola oleh PT Pertamina (Persero) Fuel Terminal (FT) Boyolali, yang meliputi kawasan operasional FT Boyolali, Daerah Aliran Sungai (DAS) Kalipepe, dan Hutan Wonopotro, berturut-turut seluas 3,36, 4, dan 0,16 ha dari bulan Juli – Agustus 2018.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS (*Global Positioning System*), altimeter, linggis, alat bor sampel tanah (ring soil sampler), alat filter tanah kering atau ayak, pita meter, patok, tali rafia, parang, meteran jahit, kantung plastik, label, timbangan digital, oven, kalkulator, dan kamera. Bahan yang digunakan adalah tegakan pohon, tumbuhan bawah (pohon berdiameter < 5 cm, semak, herba dan rumput-rumputan), serasah dan nekromasa, dan tanah di area hijau yang dikelola oleh FT Boyolali.

Pengambilan sampel dan penghitungan cadangan karbon di area hijau yang dikelola oleh FT Boyolali dilakukan melalui 4 tahap pengukuran, yang meliputi mengenal nama jenis pohon untuk mencari nilai berat jenis (BJ) pohon pada daftar BJ kayu pohon yang telah ada, mengukur volume dan biomassa semua tanaman/kayu mati pada suatu luasan lahan, mengukur kadar total karbon di tanaman, dan mengukur kadar karbon total tanah di laboratorium.

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>

Open Journal Systems



Pengukuran biomasa tanaman dilakukan dengan cara tanpa melakukan perusakan (metode *non destructive*), jika jenis tanaman yang diukur sudah diketahui rumus allometriknya. Metode perusakan (metode *destructive*) dilakukan untuk tujuan pengembangan rumus allometrik, terutama pada jenis-jenis pohon yang mempunyai pola percabangan spesifik yang belum diketahui persamaan allometriknya secara umum. Pengembangan allometrik dilakukan dengan menebang pohon dan mengukur diameter, panjang dan berat massanya. Metode destruktif dilakukan pada tumbuhan bawah, tanaman semusim, dan perdu.

Pengukuran Biomassa dan Penghitungan Karbon pada Pohon

Sampling sumber karbon pada pohon di area hijau yang dikelola PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali. Kegiatan sampling sumber karbon pada ketiga lokasi dilakukan dengan metode random purposive sehingga masing-masing lokasi terdapat 2 stasiun sampling. Biomassa pohon diukur di lokasi sumber karbon pada plot-plot yang telah disiapkan. Prosedur pengukuran biomasa pohon dilakukan dengan tahapan sebagai berikut, yaitu melakukan identifikasi nama spesies pohon di masing-masing stasiun lokasi sampling, apabila tidak diketahui dibuat herbarium untuk kepentingan identifikasi atau konfirmasi. Selanjutnya dilakukan pengukuran diameter pohon setinggi dada sesuai kondisi berbagai spesies pohon. Dilakukan pencatatan data diameter pohon setinggi dada dan nama jenis ke dalam blangko isian, apabila pada plot terdapat vegetasi tidak berkeping dua seperti bambu dan pisang, maka diameter dan tinggi masing-masing individu diukur dalam setiap rumpun tanaman. Demikian pula apabila terdapat pohon tidak bercabang seperti kelapa atau tanaman jenis palem lainnya. Ditentukan berat jenis (BJ) kayu dari masing-masing spesies pohon dengan cara mencari sumber referensi tentang BJ spesies tanaman tersebut atau melalui prosedur yaitu dengan jalan memotong kayu dari salah satu cabang, lalu

ukur panjang, diameter dan ditimbang berat basah, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 48 jam dan ditimbang berat keringnya. Volume dan BJ kayu dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume (cm}^2\text{)} = \pi r^2 t$$

$$\text{BJ (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Berat kering (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Keterangan:

$\pi = 22/7$ atau 3,14

R = jari-jari potongan kayu

T = panjang/tebal kayu

Biomassa pohon dihitung dengan persamaan allometrik yang telah dikembangkan sebelumnya [20].

Tabel 1. Persamaan allometrik pohon

Jenis pohon	Estimasi biomasa pohon, kg/pohon
Pohon bercabang	BK = 0,11 ρ D ^{2,62}
Pohon tidak bercabang	BK = $\pi \rho$ H D ^{2/40}
Kopi dipangkas	BK = 0,281 D ^{2,06}
Pisang	BK = 0,030 D ^{2,13}
Bambu	BK = 0,131 D ^{2,28}
Sengon	BK = 0,0272 D ^{2,831}
Pinus	BK = 0,0417 D ^{2,6576}

Keterangan: BK = berat kering; D = diameter pohon, cm; H = tinggi pohon, cm; ρ = BJ kayu, g/cm³.

Jika tidak diketahui persamaan allometriknya, data yang diukur dari lapangan adalah diameter dan tinggi bekas cabang untuk mendapatkan volume kayu. Dengan menggunakan persamaan *biomass expansion factor* (BEF) sebagai berikut:

$$\text{Bap} = v \times \text{BJ} \times \text{BEF} \times f$$

Keterangan:

Bap = biomassa atas permukaan (pohon), (Kg)

V = volume kayu bebas cabang, (m³)

BJ = berat jenis kayu, (kg/m³)

BEF = biomassa expansion factor (1,67 default)

F = factor angka bentuk pohon (default 0,7)

Penghitungan karbon pada pohon mengacu pada rumus yang digunakan oleh Wibowo *et al.* (2013) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{C-pohon} = (0,5 \times 22/7 \times (\text{diameter}/2)^2 \times \text{tinggi} \times \text{faktor angka bentuk pohon (0,7)} \times \text{BJ}$$



kayu x BEF (1,67) x fraksi karbon
(0,5)/1000

Keterangan: sr: serasah, BK: berat kering

Pengukuran Biomassa dan Penghitungan Karbon Serasah

Sampling biomassa serasah dilakukan di tiga lokasi dengan metode sampling *purposive*, meliputi kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kalipepe, dan Hutan Wonopoto. Setiap lokasi terdiri atas satu stasiun yang terdiri dari 3 plot. Biomassa serasah diukur dengan mengumpulkan seluruh serasah dan ranting-ranting kecil pada plot yang berukuran 0,5 x 0,5 meter.

Tahapan pengukuran biomassa serasah dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama, dilakukan pengambilan semua serasah yang terletak di permukaan tanah (tebal 5 cm) dalam plot yang berukuran 0,5 x 0,5 meter. Kedua, semua serasah yang diambil dari plot tersebut kemudian dimasukkan ke dalam ayakan dengan lubang pori 2 mm, dan dilakukan pengayakan. Serasah yang tertinggal setelah pengayakan kemudian ditimbang berat basahnya. Diambil sekitar 100 gram sub-sampel serasah, dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam. Apabila biomassa sub-sampel contoh yang diperoleh hanya sedikit (< 100 g), sub-sampel ditimbang semuanya. Ketiga, dilakukan penimbangan berat kering sub-sampel, data dicatat dalam formulir isian. Terakhir, sampel serasah dimasukkan ke dalam kantong plastik dan beri label untuk analisa karbon.

Penghitungan karbon untuk serasah pada plot 0,5 x 0,5 m dilakukan dengan cara menimbang berat basah serasah dari petak ukur 0,5 x 0,5m dilanjutkan menghitung kadar air dan berat kering serasah. Kandungan karbon serasah pada setiap plot dihitung dengan rumus:

$$C\text{-sr} = BK \text{ sr} \times \text{fraksi C (0,5)}$$

Kandungan karbon serasah per hektar dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C\text{-sr/ha} = C\text{-sr/plot}/1.000 \times 10.000/0,25\text{m}^2 \\ (\text{luas plot})$$

Pengukuran Biomassa dan Penghitungan Karbon Tumbuhan Bawah

Sampling biomassa tumbuhan bawah dilakukan di tiga lokasi dengan metode sampling *purposive*, meliputi kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kalipepe, dan Hutan Wonopoto. Setiap lokasi terdiri atas 2 stasiun dan setiap stasiun terdiri dari 3 plot. Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan cara destruktif, yaitu dengan memotong semua bagian vegetasi di atas permukaan tanah pada petak-petak kecil berukuran 0,5 x 0,5 meter.

Prosedur pengukuran biomassa tumbuhan bawah diawali dengan pembuatan plot berukuran 0,5 x 0,5 m. Selanjutnya, dilakukan pemotongan semua tumbuhan bawah (pohon berdiameter < 5 cm, herba dan rumput-rumputan) yang terdapat di dalam plot, dipisahkan antara daun dan batang. Sampel tumbuhan bawah dimasukkan ke dalam kantong plastic, diberi label sesuai dengan kode stasiun dan lokasi tempat sampling. Untuk memudahkan penanganan, semua kantong plastic berisi yang sampel tumbuhan bawah yang diambil dari satu plot dimasukkan ke dalam karung besar untuk mempermudah pengangkutan ke laboratorium. Dilakukan penimbangan berat basah daun/batang, dicatat beratnya dalam formulir isian. Diambil sub-sampel tumbuhan bawah (daun dan batang) sekitar 100-300g. Jika biomassa sampel yang diperoleh hanya sedikit (< 100 g), maka sampel tersebut ditimbang semuanya dan dijadikan sebagai sub-sampel. Sub-sampel biomassa tumbuhan bawah dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 2 x 24 jam atau sampai berat konstan. Berat kering sub-sampel kemudian dicatat dalam formulir isian.

Penghitungan karbon untuk tumbuhan bawah pada plot 0,5 x 0,5 m dilakukan dengan cara menimbang berat basah tumbuhan bawah dari petak ukur 0,5 x 0,5m dilanjutkan menghitung kadar air dan berat kering tumbuhan bawah. Kandungan karbon



tumbuhan bawah pada setiap plot dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C\text{-tb} = BK \text{ tb} \times \text{fraksi C (0,5)}$$

Kandungan karbon tumbuhan bawah per hektar dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C\text{-tb/ha} = C\text{-tb/plot} / 1.000 \times 10.000 / 0,25\text{m}^2 \text{ (luas plot)}$$

Keterangan: tb: tumbuhan bawah, BK: berat kering

Pengukuran Biomassa dan Penghitungan Karbon Nekromas (Kayu Mati)

Biomassa berupa pohon dan kayu mati di atas permukaan tanah diukur dengan mengukur seluruh pohon dan kayu mati pada plot berukuran 10 x 50 meter. Tahapan pengukuran biomassa pohon dan kayu mati dilakukan dengan cara, diukur diameter pohon mati setinggi dada; atau bagian pangkal dan ujung kayu mati. Selanjutnya, diukur tinggi total pohon mati; atau panjang total kayu mati, dan setelah itu dihitung volume pohon atau kayu mati dengan persamaan berikut ini:

$$V_{pm} = \frac{1}{4} \pi (\text{dbh}/100)^2 \times t \times f$$

Keterangan:

V_{pm}: volume pohon mati (m³)

dbh: diameter setinggi dada pohon mati (cm)

t: tinggi total pohon mati (m)

f: factor koreksi pohon mati (0,5)

$$V_{km} = 0,25\pi \left(\frac{dp+du}{2 \times 100} \right)^2 \times p$$

Keterangan:

V_{km}: volume kayu mati (m³)

dp: diameter pangkal kayu mati (cm)

du: diameter pangkal kayu mati (cm)

p: panjang kayu mati (m)

π: 22/7 atau 3,14

Berikutnya, dihitung hitung berat jenis pohon mati atau kayu mati atau dengan menggunakan data sekunder; kemudian ditimbang berat basah nya, dimasukkan ke dalam oven suhu 80°C selama 48 jam dan dihitung BJ nya.

Dihitung biomassa pohon/kayu mati dengan rumus, masing-masing sebagai berikut:

$$B_{pm} = V_{pm} \times BJ_{pm}$$

Keterangan:

B_{pm}: biomassa pohon mati (kg)

V_{pm}: volume pohon mati (m³)

BJ_{pm}: berat jenis kayu pohon mati (kg/m³)

$$B_{km} = V_{km} \times BJ_{km}$$

Keterangan:

B_{km}: biomassa pohon mati (kg)

V_{km}: volume pohon mati (m³)

BJ_{km}: berat jenis kayu pohon mati (kg/m³)

Penghitungan cadangan karbon untuk nekromas (kayu mati) diawali dengan cara pengukuran diameter atau lingkaran batang dan panjang atau tinggi semua pohon mati atau kayu mati baik yang berdiri, roboh, tunggul tanaman mati, cabang dan ranting. Pengukuran pohon mati berdiri pada ketinggian 1,3 m dan pohon rebah atau kayu mati pada kedua ujungnya. Seperti pada pohon, catat pohon mati dengan diameter antara 5-30 cm pada plot 10 x 50 m. Apabila dalam plot terdapat batang rebah atau kayu mati yang melintang, dilakukan pengukuran diameter dan panjang hanya pada kayu di dalam plot. Dihitung BJ kayu dengan mengambil contoh kayu, atau biasanya 0,4 g/cm³. Dihitung kandungan karbon dengan rumus sebagai berikut:

$$C\text{-nb} = (0,5 \times 22/7 \times (\text{diameter}/2)^2 \times \text{panjang} \times \text{faktor angka bentuk pohon (0,7)} \times \text{BJ kayu} \times \text{BEF (1,67)} \times \text{fraksi karbon (0,5)}) / 1000$$

Pengukuran Biomassa dan Penghitungan Karbon Tanah

Pengukuran kandungan karbon organik tanah dilakukan dengan beberapa tahapan. Diambil contoh tanah dari 3 titik pada setiap stasiun. Dilakukan pengambilan contoh tanah dengan metode komposit, yaitu mencampurkan tanah dari ketiga titik contoh tanah pada setiap kedalaman (0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm). Diletakkan ring soil sampler pada masing-masing titik pengambilan contoh tanah. Diletakkan ring soil sampler pada setiap



kedalaman pengambilan contoh tanah. Diambil tanahnya pada setiap ring soil sampler, ditimbang berat basahanya di lapangan. Dikering-anginkan contoh tanah di laboratorium. Ditimbang contoh tanah dan dicatat beratnya. Dianalisis berat jenis tanah dan kandungan karbon organik tanah.

Penghitungan karbon tanah [20], dilakukan dengan menghitung karbon tanah yang terkandung pada 3 lapisan dengan kedalaman 0-30 cm. Tiga lapisan tanah yang dihitung kandungannya, masing-masing lapisan dengan kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm. Tahapan untuk menghitung kandungan karbon tanah adalah secara berurutan, menghitung berat tanah per hektar, menghitung kandungan karbon organik tanah per ton tanah, serta menghitung kandungan karbon tanah per hektar tanah.

Penghitungan Cadangan Karbon Total per Hektar (ha)

Penghitungan cadangan karbon dalam plot pengukuran menggunakan rumus berikut:

$$C/ha = (C\text{-pohon} + C\text{-sr} + C\text{-tb} + C\text{-nb} + C\text{tanah})$$

Keterangan:

C plot adalah total kandungan karbon pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);

C-pohon adalah total kandungan karbon pada biomassa pohon per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);

C-sr adalah total kandungan karbon pada biomassa serasah per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);

C-tb adalah total kandungan karbon biomassa tumbuhan bawah per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);

C-nb adalah total kandungan karbon pada pohon atau kayu mati per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);

C-tanah adalah total kandungan karbon tanah per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Vegetasi di FT, Das Kalipepe, dan Hutan Wonopotro

Kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kalipepe, dan Hutan Wonopotro, merupakan area hijau yang banyak ditemukan aneka macam vegetasi yang berfungsi untuk menyerap karbon. Berbagai macam vegetasi

pada suatu area memiliki fungsi menyerap atau mengurangi emisi karbon sehingga emisi karbon di sekitar lokasi yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali dapat dikendalikan. Berdasarkan hasil penelitian untuk jenis vegetasi di ketiga area hijau diperoleh 149 spesies tumbuhan, dengan jumlah spesies pada tiap lokasi berkisar antara 60 sampai dengan 80 spesies tumbuhan per hektar. Di kawasan operasional FT Boyolali diperoleh 60 spesies, DAS Kali Pepe 80 spesies, dan Hutan Wonopotro 73 spesies. Beberapa jenis tanaman yang teridentifikasi dominan di kawasan operasional FT Boyolali, antara lain angsana (*Pterocarpus indicus*), palem ekor tupai (*Wodytia bifurcate*), kanyere badak (*Bridelia tomentosa*), pohon tiang (*Polyaltia longifolia*), trembesi (*Samanea saman*), dan bambu Jepang (*Tyrstostachys siamensis*). Jenis pohon yang dominan ditemukan di Das Kalipepe adalah kersen (*Muntingia calabura*), bambu petung (*Dendrocalamus asper*), pisang (*Musa paradisiaca*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), dan Lo (*Ficus septica*). Jenis non pohon didominasi adalah Awar-awar (*Ficus glomerata*), pacing (*Costus speciosus*), Tembelean (*Lantana camara*), singkong (*Manihot utilissima*) dan beberapa jenis tanaman liar lainnya. Jenis vegetasi di Hutan Wonopotro didominasi oleh tumbuhan jati (*Tectona grandis*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), sengon (*Albizia chinensis*), dan sono keling (*Dalbigeria latifolia*). Jenis tanaman penghijauan lain adalah keben (*Barringtonia asiatica*), mindi (*Melia aecradach*), bisbol (*Stelechocarpus burahol*), jambiang (*Z. cumini*) dan sirsak (*A. muricata*). Sedang tanaman non pohon yang dominan adalah kirinyuh (*Ch. Odorata*), awar-awar (*Ficus sp*), secang (*Samanea saman*), pacing (*Costus speciocus*), klampis (*Triphasia sp*), pulutan dan tembelean (*Lantana camara*).

Berbagai macam vegetasi pada area hijau tersebut mempunyai fungsi penting dalam menyimpan cadangan karbon dan memiliki potensi mengendalikan atau mencegah karbon



ke atmosfer. Jenis yang dominan merupakan jenis yang mampu menguasai tempat tumbuh dan mengembangkan diri sesuai kondisi lingkungannya yang secara keseluruhan atau sebagian besar berada pada tingkat yang paling atas dari semua jenis yang berada dalam suatu komunitas vegetasi [22]. Aneka vegetasi tanaman mempunyai peran penting dalam mengabsorpsi CO₂ selama proses fotosintesis dan menyimpannya sebagai materi organik dalam biomassa pohon [2].

Potensi Cadangan Karbon di Area Hijau yang Dikelola PT. Pertamina FT Boyolali

Penghitungan cadangan karbon dilakukan dengan pendekatan *Biomass Expansion Factor (BEF)* karena tidak ada proses perusakan (*non-destructive sampling*) yang bertujuan untuk meminimalkan kerusakan pada flora pada area hijau hasil monitoring. Waktu monitoring pada penelitian ini adalah musim kemarau sehingga keberadaan flora sasaran monitoring sangat dijaga keberadaannya supaya keberlanjutan fungsi ekologi atau ekonomisnya tetap lestari. Angka cadangan karbon di area monitoring diperoleh dengan menggunakan konversi stok (*Biomass Conversion and Expansion Factors/BCEF*) sebesar 1,67 [16]. Nilai karbon tersimpan yang diperoleh kemudian dapat digunakan untuk mengetahui besarnya serapan karbondioksida (CO₂-eq), dengan mengalikan nilai karbon tersimpan atau cadangan dengan 3,67, maka besarnya nilai serapan karbondioksida hutan dapat diketahui [23; 24].

Hasil pengukuran cadangan karbon di area hijau yang dikelola PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil akhir monitoring kandungan karbon di 3 lokasi menunjukkan bahwa DAS Kali Pepe memiliki kandungan karbon tertinggi, berikutnya yaitu kawasan operasional FT Boyolali, dan Hutan Wonopotro, berturut-turut adalah 616,292 ton, 103,619 ton, dan 12,969 ton (Tabel 2).

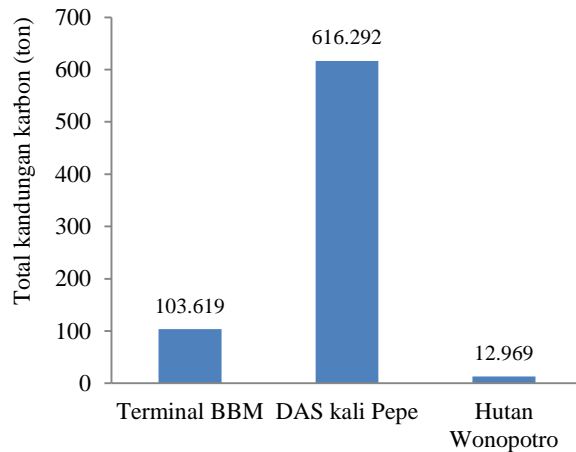
Tabel 2. Hasil penghitungan cadangan karbon di kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kali Pepe Kec. Teras dan Hutan Wonopotro Kec. Klego Boyolali.

Area Hijau	Komponen Karbon	Kandungan Karbon (ton/ha)	Luas lokasi	Total kandungan karbon (ton)
FT Boyolali	Pohon	23,829	3,36	103,619
	Tumbuhan bawah	0,447		
	Serasah	1,623		
	Nekromassa	0,096		
	Tanah	4,843		
	Sub total	30,839		
DAS Kali Pepe	Pohon	145,260	4	616,292
	Tumbuhan bawah	0,765		
	Serasah	1,876		
	Nekromassa	0,128		
	Tanah	6,045		
	Sub total	154,073		
Hutan Wono Potro	Pohon	72,914	0,16	12,969
	Tumbuhan bawah	0,697		
	Serasah	2,265		
	Nekromassa	1,571		
	Tanah	3,609		
	Sub total	81,057		
Total kandungan karbon (ton)				732,881

Kontribusi kandungan karbon di lokasi DAS Kali Pepe dengan area seluas 4 ha bersumber dari kandungan karbon pada pohon, tumbuhan bawah, dan karbon organik tanah. Tingginya kandungan karbon ini memiliki korelasi kuat dengan karakteristik pohon dan tumbuhan bawah yang memiliki kemampuan dapat menyerap dan menyimpan karbon dari lingkungannya. DAS Kali Pepe merupakan habitat yang terdiri atas pohon-pohon dengan diameter yang cukup besar seperti trembesi (*Albisia saman*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), sukun (*Artocarpus altilis*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*), mindi (*Melia azedarach*), petai (*Parkia speciosa*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyerap dan menyimpan CO₂ dari lingkungannya dengan kandungan karbon yang mencapai 145,260 ton/Ha. Demikian pula dengan luas area 4 Ha mampu menyimpan C sebesar 6,045 ton/Ha di dalam tanah sampai kedalaman 30 cm.



Gambar. 1. Cadangan karbon di 3 lokasi penelitian



Gambar 1 menunjukkan bahwa kandungan karbon pada DAS Kali Pepe lebih besar dibanding Terminal BBM Boyolali dan Hutan Wonopotro. Tingginya kandungan karbon berkaitan erat dengan hasil proses fotosintesis yang digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan, baik ke arah vertikal maupun horisotal. Habitat dengan pohon-pohon berdiameter cukup lebar seperti di lokasi monitoring DAS Kali Pepe sangat memungkinkan terjadinya penyimpanan cadangan hasil fotosintesis yang lebih besar. Umumnya biomassa bagian-bagian pohon seperti daun, cabang, ranting, batang berkorelasi secara positif dengan diameter dan tinggi total pohon. Setiap terjadi peningkatan diameter dan tinggi total pohon akan selalu diikuti peningkatan kandungan karbon pada bagian pohon tersebut.

Biomassa merupakan berat bahan organik per unit area yang ada dalam ekosistem pada paruh waktu tertentu [2]. Hasil penelitian menunjukkan [25], biomassa merupakan jumlah total materi organik tanaman yang hidup di atas tanah yang diekspresikan sebagai berat kering tanaman per unit area. Biomassa yang dihitung pada penelitian ini merupakan biomassa di atas permukaan tanah terdiri dari pohon, tumbuhan bawah penutup tanah, nekromassa berkayu (kayu mati), tumbuhan serasah, dan tanah. Biomassa dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi, keragaman ukuran

diameternya dan sebaran berat jenis vegetasinya, dimana penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah [26].

Potensi cadangan karbon pada pohon di semua area paling banyak, dimiliki oleh pohon yang berdiameter 5-30 cm. Pohon dengan diameter yang semakin meningkat akan diikuti dengan peningkatan jumlah cadangan karbon. Hal ini sesuai bukti penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa pohon dengan diameter antara 5-30 cm dapat menyimpan biomassa yang cukup besar [27]. Biomassa bagian-bagian pohon didistribusikan sebesar 60-65% pada bagian batang, 5% pada bagian tajuk, 10-15% pada bagian daun dan cabang, 5-10% pada bagian tunggak dan 5% pada bagian akar [2].

Tumbuhan yang memiliki jumlah cadangan karbon paling banyak di temukan kawasan operasional FT Boyolali adalah, ketapang (*Terminalia catappa*), bambu jepang (*Pseudosasa japonica*), jambu bolla (*Syzygium malaccense*), dan trembesi (*Albisia saman* Jacq.), berturut-turut sebesar yaitu sebesar 288,37; 202,68; 127,29; dan 154 kg/pohon. Tumbuhan dengan jumlah cadangan karbon paling banyak di temukan di DAS Kalipepe adalah bambu buluh (*Bambusa sp*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), trembesi (*Albisia saman* Jacq.), dan kelapa (*Cocos nucifera*), berturut-turut sebesar 8.870,42; 690,95; 320,39, dan 239,03 kg/pohon. Untuk area hijau Hutan Wonopotro tumbuhan dengan jumlah cadangan karbon paling banyak, yaitu bambu ori (*Bambusa arundinacea* Willd.) dan jati (*Tectona grandis*), masing-masing sebesar 5.596,81 dan 132,11 kg/pohon. Pohon memiliki persentase cadangan karbon terbesar karena adanya batang pohon yang merupakan tempat penyimpanan cadangan hasil fotosintesis terbesar untuk pertumbuhan [29].

Cadangan karbon tumbuhan bawah pada ketiga area yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali termasuk kategori sangat

<http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI>



rendah. Dari ketiga lokasi, cadangan karbon paling rendah terdapat di area hijau FT, Hutan Wonopotro, berikutnya DAS Kalipepe, berturut-turut sebesar 0,477; 0,697; dan 0,765 ton/ha. Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa semakin rapat dan lebat vegetasi, maka total biomassa tumbuhan bawah bernilai rendah [27].

Cadangan karbon serasah berdasarkan hasil penelitian diperoleh di kawasan operasional FT Boyolali, Das Kalipepe dan Hutan Wonopotro, berturut-turut sebesar 1,623; 1,876; dan 2,265 ton/ha. Kandungan karbon pada serasah dipengaruhi komponen-komponen penyusunnya, yaitu kayu busuk, daun, dan ranting [28].

Nekromassa adalah komponen vegetasi yang telah mati dan mengalami proses pelapukan [29]. Pada penelitian ini ditemukan nekromassa berkayu berupa pohon, cabang dan ranting mati dengan jumlah cadangan karbon pada nekromassa berkayu paling besar di area Hutan Wonopotro, berikutnya di DAS Kalipepe dan kawasan operasional FT Boyolali, berturut-turut sebesar 1,571; 0,128, dan 0,096 ton/ha. Nekromassa di area Hutan Wonopotro dan DAS kalipepe sebgayaan besar pada kondisi lapuk tinggi, sedangkan di kawasan operasional FT Boyolali nekromassa dengan status lapuk rendah. Faktor yang mempengaruhi nekromassa berkayu di ketiga area hijau didominasi oleh faktor aktivitas manusia dan sedikit yang disebabkan oleh adanya aktivitas hewan atau parasit pada tanaman.

Karbon tanah merupakan indikator penting tentang kualitas lingkungan. Karbon tanah diperoleh melalui proses penyerapan karbon dari udara melalui proses fotosintesis. Selama penguraian residu tanaman, kandungan karbon terfiksasi dalam proses fotosintesis, dipindahkan ke permukaan tanah dan sisanya berpindah ke tanah [8]. Karbon yang berpindah ke tanah kemudian menyatu ke dalam agregat tanah melalui proses humifikasi [5]. Lebih lanjut dinyatakan, karbon dalam tanah juga bersumber dari berbagai proses pemerangkapan (*trapping*) dalam tanah, yang meliputi trapping

hidrodinamik, trapping residual, trapping bahan-bahan terlarut, dan trapping mineral. Dari ketiga lokasi penelitian cadangan karbon dalam tanah tertinggi terdapat di DAS kalipepe, diikuti kawasan operasional FT Boyolali, dan Hutan Wonopotro, berturut-turut sebesar 6.045; 4,833; dan 3,609 ton/ha. Tingginya cadangan karbon dalam tanah di DAS Kalipepe berkaitan dengan banyak pohon yang tinggi dan berdiameter besar serta banyaknya tanaman penutup tanam yang memberi kontribusi terjadinya aliran karbon dari atmosfer ke dalam tanah melalui proses fotosintesis. Cadangan karbon yang tinggi juga didukung oleh berbagai proses alamiah yang memungkinkan karbon terperangkap di dalam tanah, yaitu di lokasi DAS Kalipepe.

Valuasi nilai ekonomi serapan karbon mengacu pada referensi dari *Ecosystem Marketplace* (2017) serta prediksi dari *Energies* (2017). Pada *Ecosystem Marketplace*, diyatakan harga rerata karbon di Indonesia adalah 3,3 US\$ [29], sedangkan prediksi dari (AIM/CGE) 2030 menyatakan, harga karbon diperkirakan mencapai 19 US\$ berdasarkan skenario *Asia-Pacific Integrated Model/Computable General Equilibrium* [30]. Total kandungan karbon yang terdapat di tiga lokasi adalah sebesar 732,881 ton dari luas lahan tutupan hijau yang terdapat pada lokasi tersebut (Tabel 2); yang setara dengan serapan karbondioksida (CO₂-eq) sebesar 2.689,67 ton. Nilai serapan karbon tersebut setara dengan nilai 8.875,916 US\$ dari faktor pengalihan 3,3 US\$ sesuai harga karbon di Indonesia mengacu pada *Ecosystem Marketplace*, (2017) dan atau 51.103,760 US\$ dari faktor pengalihan 19 US\$ berdasarkan scenario AIM/CGE 2030 [30]. Bila kurs 1 US\$ adalah antara Rp. 14.600 dan Rp. 14.650 maka nilai serapan karbon ekonomi akhir tersebut antara Rp.130.032.180,874 - Rp.746.670.078,894. Jumlah tersebut diperoleh dari total jumlah cadangan karbon pada pohon, tumbuhan bawah, nekromas berkayu, serasah, dan karbon organik di dalam tanah. Cadangan karbon yang tersimpan pada berbagai sumber



karbon tersebut sebelumnya sudah dikonversi dengan luasan wilayah monitoring.

Tabel 3. Nilai ekonomi kandungan karbon di kawasan operasional FT Boyolali, Kali Pepe dan Hutan Wonopetro berdasarkan Ecosystem Marketplace (2017) dan Nilai Ekonomi Akhir (Rp) (1US\$ = Rp. 14.650)

Area Hijau	Kandungan karbon (ton)	Serapan CO ₂ (eq) (Ton)	Nilai Ekonomi (US\$) (Ecosystem Marketplace, 2017)	Nilai Ekonomi Akhir (Rp)(1US\$ = Rp. 14.650)
FT Boyolali (3,36 ha)	103,619	380,282	1.254,930	18.384.724,000
DAS Kali Pepe (4 ha)	616,292	2261,793	7.463,918	109.346.396,024
Hutan Wonopetro (0,16 ha)	12,969	47,597	157,069	2.301.060,850

Mengacu pada total kandungan karbon yang terdapat di FT, DAS Kali Pepe, dan Hutan Wonopetro menunjukkan bahwa lokasi yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali memiliki potensi ekonomi yang tinggi. Kawasan yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali meliputi kawasan operasional FT Boyolali yang mempunyai area tutupan hijau seluas 3,36 ha sebagai kawasan yang banyak ditanami pohon-pohon dan tanaman lainnya yang memiliki potensi menyerap dan menyimpan karbon sangat baik. Demikian pula lokasi DAS Kali Pepe sepanjang 2 Km dengan area tutupan hijau kurang lebih 4 ha dan Hutan Wonopetro memiliki area tutupan hijau 1600m², cukup baik dalam menyerap dan menyimpan karbon.

Tabel 4. Nilai ekonomi kandungan karbon di kawasan operasional FT Boyolali, Kali Pepe dan Hutan Wonopetro berdasarkan Nilai Ekonomi (US\$) (Siagian *et al*, 2017) dan Nilai Ekonomi Akhir (Rp) (1US\$ = Rp. 14.600)

Area Hijau	Kandungan karbon (ton)	Serapan CO ₂ (eq) (Ton)	Nilai Ekonomi (US\$) (Siagian <i>et al</i> , 2017; Energies, 2017)	Nilai Ekonomi Akhir (Rp) (1US\$ = Rp. 14.600)
FT Boyolali (3,36 ha)	103,619	380,282	7.225,358	105.490.226,800
DAS Kali Pepe (4 ha)	616,292	2261,793	42.974,067	627.421.378,200
Hutan Wonopetro (0,16 ha)	12,969	47,597	904,343	13.203.407,800

Kandungan karbon suatu kawasan mempunyai peran penting dalam rangka mempertahankan iklim dan mencegah pemanasan global. Semakin tinggi kandungan karbon pada suatu kawasan akan memberi kontribusi positif bagi upaya mengendalikan konsentrasi karbon di atmosfer, upaya pengembangan lingkungan bersih, dan mewujudkan lingkungan yang lestari.

Simpanan karbon sangat dipengaruhi oleh biomassa sehingga berbagai macam faktor yang berpengaruh terhadap pertambahan atau pengurangan potensi biomassa akan berpengaruh terhadap serapan karbon. Faktor yang menyebabkan peningkatan potensi karbon adalah pengaturan jarak tanam pohon atau tanaman (dibuat penjarangan). Pengaturan jarak akan menyebabkan kompetisi antar pohon berkurang sehingga akan memperbesar kualitas pertumbuhan pohon dan dimensi tegakkan. Disamping itu kandungan karbon memiliki korelasi dengan umur pohon. Suatu kawasan dengan populasi pohon yang berumur tua, semakin tua umur pohon akan meningkatkan jumlah serapan karbon karena semakin bertambah umur maka dimensi tegakan akan



bertambah sehingga potensi karbon menjadi lebih meningkat.

Dalam pengembangannya, keberadaan dan konservasi flora berhabitus pohon sangat disarankan ditanam dan dipelihara. Jenis flora pohon memiliki potensi dapat meningkatkan nilai cadangan karbon di kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kalipepe atau Hutan Wonopotro. Flora berhabitus pohon dapat dipilih yang mempunyai nilai konservasi tinggi seperti tercantum di PP No.7 Tahun 1999 Tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa; serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. P.20/Menlhk/Setjen/Kum.1/6/2018 Tentang Jenis Tumbuhan dan Satwa yang Dilindungi. Flora berhabitus pohon dengan nilai konservasi tinggi sangat disarankan untuk ditanam dalam rangka menunjang keberhasilan konservasi dan pelestarian ex-situ. Selain fungsi tersebut, keberadaan flora langka dapat membuka peluang menjadi tujuan wisata edukasi (eko wisata) pada area hijau yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali.

Di sisi ekonomi, kebijakan penanaman flora berhabitus pohon dengan nilai konservasi tinggi memiliki potensi membuka peluang peran serta masyarakat di lokasi yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali untuk mendukung, menjaga kelestarian dan berperan serta dalam proses pengelolaan sehingga kegiatan penambangan pasir serta batu di DAS Kalipepe yang bisa merusak sungai dapat diminimalisasi; demikian juga rencana pengembangan biofarmaka di Hutan Wonopotro dapat dioptimalkan. Hal tersebut bertujuan bahwa konservasi tidak semata-mata menjaga keberlangsungan fungsi ekologi dari konservasi flora tersebut, namun juga mampu memberikan serta menjaga fungsi ekonomi dari masyarakat sekitar area yang dikonservasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Total cadangan karbon yang dimiliki di area kerja PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali, yang meliputi kawasan operasional FT Boyolali, DAS Kali Pepe, dan Hutan Wonopotro sebesar 732,881 ton; yang setara dengan serapan karbondioksida (CO₂-eq) sebesar 2.689,672 ton. Nilai serapan karbon tersebut senilai 8,875.916US\$ - 51,103.760 US\$ yang setara dengan nilai Rp.130.032.171,597-Rp.746.670.078,894).

Saran

Keberhasilan dalam menjaga dan meningkatkan konservasi flora dapat meningkatkan nilai cadangan karbon serta serapan CO₂ secara signifikan di seluruh area hijau yang dikelola oleh PT. Pertamina (Persero) FT Boyolali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carrol, Archie B. and Brown, Jill A, et al., 2018, *Business & Society Ethics, Sustainability, and Stakeholder Management*, Boston, pp. 457
- [2] Aminudin, S., 2008, *Kajian potensi cadangan karbon pada perusahaan hutan rakyat (studi kasus: hutan rakyat Desa Dengok, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunungkidul)*. Thesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [3] Dachlan, E. N., 2013, *Kota Hijau Hutan Kota*. Bogor (ID): ISBN:979-8381-00-9.
- [4] Zhang, D., and Song, J., 2014, *Mechanisms for Geological Carbon Sequestration*. ScienceDirect, China.
- [5] McKenzie, R., 2010, *Soil Carbon Sequestration Under Pasture*. (Project MCK 13538). In *Australian McKenzie Soil Management*. Orange NSW: Dairy Regions, Dairy Australia.
- [6] Chan, K.Y., Cowie, A., Kelly, G., Singh, B., and Slavich, P., 2008, *Scoping Paper-Soil Organic Carbon Sequestration Potential for Agriculture in NSW*. NSW: DPI Science and Research Technical Paper.



- [7] Putri, A. H. M., dan Wulandari, C., 2015, Potensi penyerapan karbon pada tegakan damar mata kucing (*Shorea javanica*) di Pekon Gunung Kemala Krui Lampung Barat. *Jurnal Sylva Lestari*, No. 2, Vol. 3, pp. 13-20.
- [8] Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R.T., and Griffis, T. J., 2006, Tillage and Oil Carbon Sequestration-What Do We Really Know? Agriculture, Ecosystems and Environment.
- [9] Bell, M., and Lawrence, D., 2009, Soil Carbon Sequestration - Myths And Mysteries. (Report No. PR09-4345). Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane.
- [10] Nishina, K., 2013, Umpan Balik Biosfir untuk Peningkatan Karbon Dioksida Atmosfer Di Dunia Masa Depan yang Lebih Hangat. <http://www.earth-systdynamdiscuss.net/4/1035/2013/esdd4-1035-2013.html>.
- [11] Govers, G., Merckx, R., Van Oost, K., and van Wesemael, B., 2013, Managing Soil Organic Carbon for Global Benefits (A STAP Technical Report). Global Environment Facility, Washington, D.C.
- [12] Liddicoat, C., Schapel, A., Davenport, D., and Dwyer, E., 2010, Soil Carbon And Climate Change. for the Sustainable Systems Group, Agriculture, Food and Wine. Primary Industries and Resources SA, PIRSA Discussion Paper.
- [13] Noordwijk, V. M., Cerri, C., Woomer, P. L., Nugroho, K., and Bernoux, M., 2007. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest. *Elsevier Geoderma Journal*, Vol. 79, pp. 187- 225
- [14] Edwin, M., 2016, Penilaian Stok Karbon Tanah Organik pada beberapa Tipe Penggunaan Lahan di Kutai Timur, Kalimantan Timur. *Jurnal AGRIFOR*, No. 2, Vol. 15.
- [15] Hairiah, K., dan Rahayu, S, 2007, Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre, Bogor.
- [16] Trimanto, 2014, Analisis Vegetasi Dan Estimasi Biomassa Stok Karbon Pohon Pada Tujuh Hutan Gunung, Suaka Alam Pulau Bawean Jawa Timur. UPT BKT Kebun Raya Purwodadi-LIPI, Jawa Timur.
- [17] IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Published IGES, Japan.
- [18] Istomo, Hardjanto, Rahaju, S., Permana, E., Suryawan, Hidayat, S. I., dan Waluyo, A., 2006, Monitoring dan Evaluasi Delineasi Potensi Areal Proyek Karbon dan Pendugaan Cadangan Karbon Di Wilayah Kajian Taman Nasional Berbak dan Buffer-Zone, Provinsi Jambi dan Areal Eks-PLG, Provinsi Kalimantan Tengah. Laporan Kerja Sama Penelitian Fakultas Kehutanan IPB dan Wetland International, Bogor
- [19] Murdiyarso, D., and Wasrin, U. R., 2006, Estimating land use change and carbon release from tropical forests conversion using remote sensing technique. *J. Biogeography*, Vol. 22, pp. 715-721
- [20] Safriani, H., Fajriah, R., Sapnaranda, S., Mirfa, S., dan Hidayat, M., 2017, Estimasi biomassa serasah daun di gunung berapi Seulawah Agam Kecamatan Seulimuem Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ar-Raniry*.
- [21] Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., dan Rahayu, S., 2011, Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. Petunjuk Praktis. Edisi Kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia.
- [22] Fajri, M., dan Saridan, A., 2012, Kajian ekologi *parashorea malaanonan* merr di hutan penelitian Labanan Kabupaten Bera. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, No. 2, Vol. 6, pp. 141-154.
- [23] Manuri, S., Putra, C. A. S., dan Saputra, A. D., 2011, Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Merang REDD Pilot



-
- Project, German International Cooperation
– GIZ, Palembang.
- [24] Tosiani, A., 2015, Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon. Direktorat Inventarisasi dan Monitoring Sumber Daya Hutan Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- [25] Reza, D. D. A., Hermawan, R., dan Prasetyo, L. B., 2017, Potensi cadangan karbon di atas permukaan tanah di Taman Hutan Raya Pancoran Mas Depok. *Media Konservasi*, No. 1, Vol. 22, pp. 71-78.
- [26] Hairiah, K., dan Rahayu, S., 2007, Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Penggunaan Lahan. Buku World Agroforestry Center-ICRAF, Bogor.
- [27] Chanan, M., 2011, Potensi karbon di atas permukaan tanah di blok perlindungan Taman Wisata Alam Gunung Baung Pasuruan - Jawa Timur. *GAMMA*, No. 2, Vol. 6, pp. 101-112.



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN