PERAN BIOMASSA DAN BIOINDUSTRI KAKAO DALAM MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

THE ROLE OF COCOA BIOMASS AND BIOINDUSTRY IN CLIMATE CHANGE MITIGATION

Handi Supriadi

BALAI PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR
Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357
handibalittri@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan iklim merupakan fenomena alam yang mempunyai dampak terhadap kehidupan makhluk hidup di bumi, termasuk pada tanaman kakao. Perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu udara, peningkatan kejadian El Nino dan La Nina dan peningkatan tinggi permukaan air laut adalah dampak dari perubahan iklim yang mengakibatkan pertumbuhan dan produksi kakao terhambat. Upaya untuk mengatasi perubahan iklim di antaranya dapat dilakukan melalui pengelolaan biomassa dan penerapan teknologi bioindustri limbah kakao. Tanaman kakao dapat menyerap CO_2 dari udara dan menyimpan karbon (biomassa). Limbah kulit buah kakao (KBK) melalui proses bioindustri dapat dimanfaatkan untuk pupuk organik, arang hayati, bioetanol, dan biogas. Produk tersebut selain dapat memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah, juga dapat menambah stok karbon dan mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Baik biomassa maupun bioindustri, limbah kakao berperan dalam mitigasi perubahan iklim.

Kata kunci: *Theobroma cacao*, perubahan iklim, biomassa, bioindustri, mitigasi

ABSTRACT

Climate change is a natural phenomenon that has impact to life on earth, including the cocoa plant. Changes in rainfall patterns, increasing temperature, incidence of El Nino and La Nina and also increasing of the sea level are the impact of climate change. For the cacao plantation, it causes stunted growth and cocoa production. Some effort which can be done to address this problem are biomass management and application of cocoa bioindustry technology. Cocoa tree can absorb CO_2 from the air and store carbon. Cocoa pod husk (CPH) waste through bioindustry process can be used for organic fertilizer, biological charcoal, bioethanol, and biogas. The product addition can improve soil chemical and physical properties, and also can increase carbon stocks and reduce greenhouse gases (GHG) emissions. So, bioindustry based on cacao has important role on climate change mitigation.

Keywords: Theobroma cacao*, climate change, biomass, bioindustry, mitigation*

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang melanda dunia saat ini merupakan fenomena alam yang harus ditangani secara bersama antar sesama masyarakat dunia karena diperkirakan akan terus mengancam kehidupan makhluk hidup saat ini dan di masa yang akan datang. Dampak yang ditimbulkan akibat terjadinya perubahan iklim di antaranya: (1) suhu udara semakin meningkat, (2) pola curah hujan berubah, (3) tinggi muka air laut bertambah, dan (4) kejadian iklim ekstrim El Nino dan La Nina frekuensinya bertambah sehingga meningkatkan kejadian banjir dan kekeringan. Akibat dari dampak tersebut antara lain terjadinya bencana alam dan krisis pangan di berbagai negara (Badan Litbang Pertanian, 2011b). Kondisi ini berdampak luas pada berbagai aspek kehidupan termasuk keberlangsungan usahatani kakao.

Tanaman kakao rentan (*vurnerable*) terhadap perubahan iklim (Oyekale, Bolaji, & Olowa, 2009). Dampak perubahan iklim pada tanaman ini mencakup beberapa aspek, mulai dari biofisik, teknis, sosial sampai ekonomi. Perubahan iklim akan menurunkan produksi kakao (Nwachukwu, Ezeh, & Emerole, 2012) sehingga pendapatan yang diperoleh petani pun berkurang, akhirnya dapat menimbulkan gejolak sosial di tengah masyarakat. Jika kondisi ini tidak ditangani dengan serius dikhawatirkan akan mengancam keberlangsungan usahatani kakao.

Upaya Pemerintah untuk mengatasi perubahan iklim salah satunya adalah dengan mengeluarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 61 tahun 2011 tentang rencana aksi nasional penurunan emisi gas rumah kaca (RAN-GRK), pada tahun 2020 berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK (sebagai penyebab perubahan iklim) dengan kemampuan sendiri sebesar 26%, dan 41% jika dibantu oleh negara maju dan/atau lembaga internasional (Badan Litbang Pertanian, 2011a).

Tanaman memiliki peran dalam mitigasi perubahan iklim, yaitu dapat mengurangi jumlah emisi dan atau meningkatkan penyerapan CO_2 dan penyimpanan (sekuestrasi) karbon. Sebagai tanaman berkayu, kakao dapat menyerap CO_2 dari udara dan disimpan dalam bentuk karbon (C) di dalam tubuhnya (biomassa). Dengan mengukur kandungan C dalam tubuh tanaman kakao maka akan diketahui jumlah

CO_2 yang diserap dari udara. Semakin besar biomassa tanaman kakao maka jumlah CO_2 yang diserap, semakin tinggi sehingga kandungan CO_2 di udara akan semakin berkurang (Norgrove & Hauser, 2013). Selain itu, penerapan tenologi bioindustri dengan memanfaatan limbah kakao untuk menghasilkan pupuk organik, arang hayati, bioetanol, dan biogas, akan meningkatkan sekuestrasi dan menurunkan emisi karbon.

Makalah ini bertujuan mengidentifikasi dan membahas mengenai peran biomassa dan penerapan teknologi bioindustri tanaman kakao yang dapat meningkatkan penyerapan dan mengurangi emisi GRK.

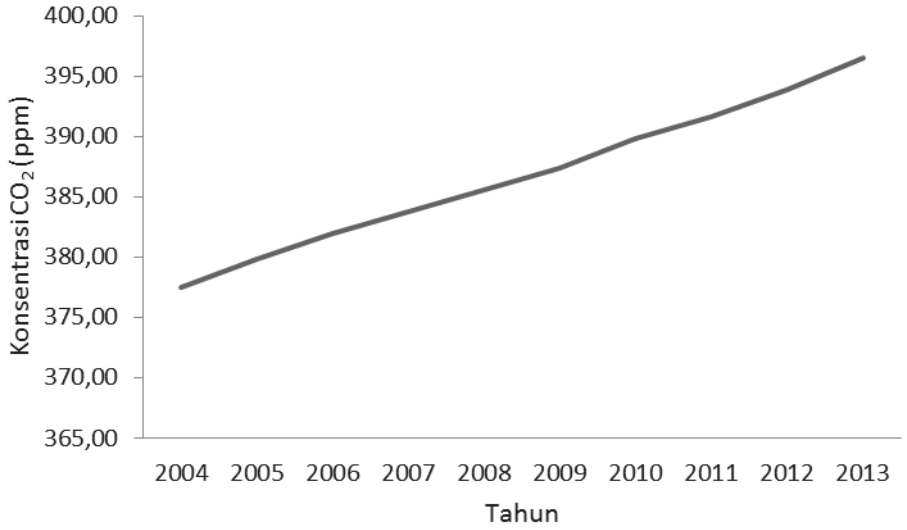
FENOMENA DAN DAMPAK PERUBAHAN IKLIM

Fenomena Perubahan Iklim

Aktivitas manusia (*antropogenik*) merupakan penyebab utama terjadinya perubahan iklim, terutama dari sektor industri yang berkembang cepat, lebih dari 50 tahun lalu yang mendorong peningkatan emisi dan konsentrasi GRK di udara (Badan Litbang Pertanian, 2011c). Gas rumah kaca dapat mengganggu keseimbangan antara radiasi matahari dan panas yang dipancarkan oleh permukaan bumi (Ramanathan & Feng, 2009), kondisi ini mengakibatkan suhu udara di bumi semakin meningkat sehingga terjadi pemanasan global dan perubahan iklim.

Menurut protokol Kyoto, jenis gas yang termasuk GRK *antropogenik* adalah *carbon dioxide* (CO_2), *methane* (CH_4), *nitrous oxide* (N_2O), *sulphur hexaflouride* (SF_6), *hydroflourocarbons* (HFCs), dan *perflourocarbons* (PFCs) (World Meteorological Organization [WMO], 2013). Secara global GRK terutama CO_2, CH_4, dan N_2O masing-masing menyumbang sekitar 60, 15, dan 6% dari potensi pemanasan global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2001; Desjardins *et al.*, 2002). Konsentrasi gas CO_2, CH_4, dan N_2O pada masa pra-industri (tahun 1750) masing-masing hanya sebesar 278 ppm, 722 ppb, dan 270 ppb. Pada tahun 2013 meningkat menjadi masing-masing 396±0,1 ppm, 1824 ±2,0 ppb, dan 325,9±0,1 ppb atau terjadi kenaikan masing-masing sebesar 142, 253, dan 121% (WMO, 2013). Hasil pengamatan dari Mauna Loa Observation, di Hawaii konsentrasi CO_2 di udara dalam kurun waktu sepuluh tahun mengalami kenaikan rata-rata 2,11 ppm per tahun. Pada tahun 2004 konsentrasi CO_2 di udara sebesar 377,49 ppm dan pada tahun 2013 meningkat menjadi 396,48 ppm (http://CO_2now.org/Current-CO_2/CO_2-Now/the-climate-sheet.html diakses 20 Maret 2014) (Gambar 1). Begitu juga dengan gas CH_4 dan N_2O, mengalami peningkatan masing-masing 3,8 dan 0,82 ppb per tahun (WMO, 2013).

Peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer disebabkan oleh terjadinya peningkatan emisi gas CO_2. Dalam kurun waktu sepuluh tahun emisi gas CO_2 di Indonesia terus mengalami peningkatan, jika pada tahun 2003 emisi gas CO_2 hanya 0,33 milyar ton, pada tahun 2008 meningkat menjadi 0,41 milyar ton dan pada 2012 meningkat kembali menjadi 0,49 milyar ton (Olivier, Janssens-Maenhout, Muntean, & Peters, 2013).



Gambar 1. Konsentrasi gas CO_2 selama 10 tahun (2004 –2013)
Sumber : (http://CO_2now.org/Current-CO_2/CO_2-Now/the-climate-sheet.html)
Figure 1. The concentration of CO2 gas for 10 years (2004-2013)
Source : (http://CO_2now.org/Current-CO_2/CO_2-Now/the-climate-sheet.html)

Dampak Perubahan Iklim

Peningkatan suhu udara

Laporan IPCC (2001) menunjukkan bahwa suhu udara global telah meningkat sebesar 0,6 °C sejak tahun 1861. Peningkatan suhu udara tersebut akan mencapai 2,1-3,9 °C pada periode tahun 2000 dan 2100 (IPCC, 2007). Beberapa hasil penelitian membuktikan kecenderungan peningkatan suhu rata-rata bumi di Indonesia. Sebagai contoh di Jakarta, terjadi peningkatan suhu udara 1,04-1,40 °C dan di Medan 1,55-1,98 °C selama 100 tahun terakhir (Badan Litbang Pertanian, 2011c). Suhu udara di Bali dalam kurun waktu 2004–2008 mengalami peningkatan rata-rata 0,02-0,08 °C (Setiawan, 2012). Berdasarkan hasil analisis data tahun 1976-2010, suhu udara di Provinsi Lampung mengalami kenaikan antara 0,32- 0,7 °C (Manik, Rosadi, & Nurhayati, 2014).

Perubahan pola musim/curah hujan

Peningkatan suhu udara akan menyebabkan terjadi pemanasan global di permukaan bumi dan perubahan iklim sehingga akan mempengaruhi pola curah hujan (Trenberth, 2011). Akibat terjadinya perubahan iklim, musim kemarau akan terjadi lebih lama sehingga mnimbulkan bencana kekeringan. Sebaliknya, musim hujan akan berlangsung dalam waktu singkat disertai dengan intensitas curah hujan yang lebih tinggi dari kondisi normal, dan akibatnya akan terjadi bencana banjir dan tanah longsor (Meiviana *et al.*, 2004 *cited in* Runtunuwu & Syahbuddin, 2007).

Hasil penelitian Runtunuwu & Syahbuddin (2007) menunjukkan pola curah hujan selama 128 tahun di daerah Tasikmalaya mengalami perubahan. Bulan basah (curah hujan di atas 200 mm/bulan) mengalami pengurangan selama dua bulan dan kejadian bulan kering (curah hujan di bawah 100 mm/bulan) meningkat dari 2-4 bulan/tahun menjadi 5-6 bulan/tahun. Curah hujan di Provinsi Lampung menurun sejak tahun 1990-an bersamaan dengan terjadinya EL Nino, hal tersebut ditandai dengan lebih banyaknya hujan yang turun di bawah nilai rata-rata (Manik *et al.*, 2014).

Peningkatan permukaan air laut

Perubahan iklim mengakibatkan terjadinya peningkatan tinggi permukaan air laut. Hasil analisis menggunakan data altimeter menunjukkan bahwa tingkat kenaikan permukaan laut di Indonesia dengan kisaran 0,2–1,0 cm per tahun, dengan rata-rata 0,6 cm per tahun. Kenaikan permukaan laut tertinggi terjadi di Samudera Pasifik Utara Papua, dengan tingkat estimasi 1 cm per tahun, sedangkan kenaikan terendah terjadi di sepanjang pantai selatan Jawa dengan kisaran 0,2–0,4 cm per tahun (Sofian, 2010).

Diperkirakan permukaan air laut pada tahun 2030 akan naik 52,5 cm, tahun 2050 naik 87,5 cm, tahun 2080 akan naik kembali menjadi 140 cm dan pada tahun 2100 akan mencapai 175 cm (Sofian, 2010). Menurut Förster *et al.* (2011), kenaikan permukaaan air laut setinggi 1 m diprediksi akan menenggelamkan wilayah pertanian pantai secara permanen sekitar 56 ribu ha, jika naik sampai 2 m maka wilayah yang tenggelam akan mencapai 110 ha. Jawa Barat merupakan daerah yang akan terkena dampak paling besar, kemudian diikuti oleh daerah Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Kalimantan Barat, Lampung, Banten, dan Sulawesi Selatan, sedangkan provinsi lainnya relatif kecil. Diperkirakan sekitar 55% wilayah pertanian di Jawa akan tenggelam.

Peningkatan kejadian El Nino dan La Nina

Terjadinya El Nino menyebabkan musim penghujan datang lebih akhir serta menurunkan total curah hujan. Adapun La Nina merupakan penyebab meningkatnya curah hujan di Indonesia (Qian, Robertson, & Moron, 2010). El Nino akan menyebabkan terjadinya kekeringan, sedangkan La Nina akan menyebabkan banjir. Menurut laporan Badan Litbang Pertanian (2011c), luas tanaman padi yang terkena kekeringan pada tahun El Nino 300-850 ribu ha, sedangkan pada tahun La Nina luas tanaman padi yang terkena banjir 200-350 ribu ha.

Pemanasan global (*global warming*) cenderung meningkatkan frekuensi kejadian El Nino dan menguatkan fenomena La Nina (Hansen *et al.*, 2006). Menurut Irawan (2006), pada periode tahun 1926–1950, El Nino terjadi sebanyak 2 kasus, pada tahun 1951–1975 meningkat menjadi 3 kasus dan pada tahun 1976–2000 kembali meningkat menjadi 7 kasus. La Nina mengalami peningkatan selama periode tahun 1926–1975, yaitu dari 2 kasus pada periode 1926–1950 menjadi 4 kasus pada tahun 1951-1975.

Penurunan dan peningkatan produksi kakao

Tanaman kakao tumbuh dan berproduksi dengan baik pada ketinggian tempat 0-600 m dpl. Curah hujan yang diperlukan tanaman ini berkisar 1.500-2.500 mm per tahun, dengan bulan kering (curah hujan < 60 mm/bulan) dalam setahun hanya terjadi selama 1-3 bulan. Tanaman kakao menghendaki suhu udara maksimum 30-32 °C dan minimum 18-21 °C. Kecepatan angin maksimum yang sesuai untuk tanaman kakao adalah 4 meter per detik (Direktorat Jenderal Perkebunan [Ditjenbun], 2014).

Faktor iklim berkontribusi sebesar 74,7%, yang menyebabkan berat buah kakao berkurang (Oyekale *et al.*, 2009). Produksi optimal kakao di Nigeria akan tercapai jika curah hujan per tahun mencapai 900–1.000 mm dengan suhu udara rata-rata 28,0 °C (Ojo & Sadiq, 2010). Penelitian Lawal & Emaku (2007) menunjukkan bahwa curah hujan 1.125 mm/tahun, suhu udara 29 °C dan kelembaban udara 74% akan memberikan produksi terbaik dan mengurangi tingkat serangan penyakit *black pod* (busuk buah).

Tabel 1. Estimasi pengaruh kejadian El Nino dan La Nina terhadap produksi kakao
Table 1. The estimate of El Nino and La Nina effect on cocoa production

Negara	Penurunan produksi kakao akibat El Nino (%)	Peningkatan produksi kakao akibat La Nina (%)
Dunia	2,43	-
Afrika	1,44	-
Kamerun	-	-
Pantai Gading	2,03	-
Ghana	1,72	-
Nigeria	1,15	-
Asia	-	-
Indonesia	2,39	-
Malaysia	-	-
Papua New Guinea	-	1,68
Amerika	1,14	-
Republik Dominika	-	-
Brasil	-	-
Ekuador	6,16	-

Keterangan : - tidak signifikan
Note *: - no significant*
Sumber: Executive Committee (2010)

Mitigasi Perubahan Iklim

Pengertian mitigasi perubahan iklim adalah kegiatan untuk mengurangi intensitas kekuatan radiasi dalam mengurangi pemanasan global, atau tindakan aktif untuk mencegah/ memperlambat perubahan iklim (pemanasan global) melalui upaya penurunan emisi dan/atau peningkatan penyerapan GRK (Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim [KP3I] Kementerian Pertanian, 2008 *cited in* Badan Litbang Pertanian, 2011b). Tujuan utama mitigasi adalah mengurangi emisi GRK melalui dua strategi: (1) penurunan emisi GRK, dan (2) peningkatan penyerapan CO_2 dan sekuestrasi karbon. Penyerapan dan sekuestrasi karbon adalah proses pemindahan karbon dari atmosfer ke wadah penampung, seperti ekosistem laut dan darat atau dalam berbagai organ tanaman melalui proses biologi, kimia, atau fisika seperti fotosintesis (Badan Litbang Pertanian, 2011a)

Pemerintah menargetkan penurunan emisi GRK pada bidang pertanian (termasuk kakao) adalah sebesar 8 juta ton CO_2e atas kemampuan sendiri (*unilateral*) dan 11 juta ton CO_2e jika dibantu negara donor (*multilateral*) (Badan Litbang Pertanian, 2011a; Badan Litbang Pertanian, 2011c).

PERAN BIOMASSA DAN BIOINDUSTRI LIMBAH KAKAO

Peran Biomassa Kakao

Tanaman menyerap gas CO_2 dari udara melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman (biomassa). Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (C- *sequestration*). Dengan demikian, pengukuran biomassa pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO_2 di udara yang diserap dan karbon yang disimpan oleh tanaman (Hairiah, Ekadinata, Sari, & Rahayu 2011).

Laju fotosintesis bersih tanaman kakao kisaran 3,4–5,7 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} dengan asumsi fotosintesis berlangsung dari pukul 08.00–16.00 (Daymond, Tricker, & Hadley, 2011). Jika kakao ditanam di bawah tanaman penaung maka laju fotosistesis semakin berkurang, untuk tingkat naungan 32, 55, dan 76% rata-rata laju fotosintesis masing-masing hanya 3,3; 1,6; dan 1,2 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1} (Acheampong, Hadley, & Daymond, 2013). Selanjutnya dikemukakan bahwa jumlah gas CO_2 yang diserap oleh tanaman kakao sebesar 80.000 kg/ha/tahun, sedangkan yang dilepas (emisi) sebesar 63.000 kg/ha/tahun sehingga serapan bersihnya mencapai 73.000 kg/ha/tahun (Abdoellah, 2008).

Pengukuran biomassa pada tanaman kakao yang paling akurat adalah dengan cara destruktif, yaitu dengan menimbang bobot seluruh bagian tanaman. Namun cara ini dalam pelaksanaannya termasuk sulit dan memerlukan biaya tinggi. Metode lain yang lebih mudah dan murah adalah melaui pendekatan allometrik. Menurut Yuliasmara, Wibawa, & Prawoto, (2009), persamaan allometrik yang dapat digunakan untuk menentukan biomassa tanaman kakao adalah $Y = 0{,}1208\ D^{1{,}98}$, Y biomasa tanaman, D diameter tanaman pada ketinggian 130 cm dari permukaan tanah. Selanjutnya karbon tersimpan dalam tanaman dapat ditentukan dengan persamaan C = 0,46 X biomassa tanaman, C karbon tersimpan, 0,46 kadar karbon terpasang (*default value*) dalam bahan organik.

Tabel 2. Biomassa dan stok karbon tanaman kakao umur 6 tahun di bawah tegakan kakao
Table 2. Biomass and carbon stocks of six years old cocoo plant under rubber tree

Bagian tanaman	Berat basah (kg/pohon)	Berat kering (biomassa) (kg/pohon)	Stok karbon (ton C/ha)
Daun	5,06	1,84	1,02
Batang	3,50	1,11	0,62
Cabang	11,69	3,84	2,13
Akar	8,55	2,59	1,45
Total	28,80	9,38	5,22

Keterangan : Kakao umur 6 tahun dengan jarak tanam 3 x 3 m dengan penaung karet umur 34 tahun jarak tanam 7 x 3 m Sumber: Cotta *et al.* (2008)
Notes : Cocoa age of 6 years with a spacing of 3 x 3 m at the age of 34 years old rubber shade spacing of 7 x 3 m Source: Cotta et al. (2008)

Tabel 3. Stok karbon pada berbagai tingkat umur tanaman kakao di Sulawesi Tengah
Table 3. Stock carbon at various age cacao plant in Central Sulawesi

Umur (tahun)	Stok karbon kakao (kg C/ha)		Total (kg C/ha)
	Bagian atas	Bagian bawah	
2	2.316,06	915,46	3.231,52
3	3.825,16	1.511,94	5.337,10
4	5.334,26	2.108,42	7.442,68
5	6.843,36	2.704,90	9.548,26
9	12.879,76	5.090,82	17.970,58
12	17.407,06	6.880,36	24.287,32
15	21.934,36	8.669,70	30.604,06

Sumber: Smiley and Kroschel (2008)
Source: Smiley and Kroschel (2008)

Tabel 4. Stok karbon pada berbagai selang umur tanaman kakao di Kamerun
Table 4. Stock carbon at various age of cacao plant in Cameroon

Lokasi	Stok Karbon (kg C/pohon)			
	Umur di bawah 8 tahun	Umur 9-20 tahun	Umur 21-40 tahun	Umur di atas 41 tahun
Bokito	1,9	4,4	7,6	8,8
Ngomedzab	0,6	2,0	1,9	3,1

Sumber: Saj, Jagoret, & Ngogue (2013)
Source: Saj, Jagoret, & Ngogue (2013)

Biomassa tanaman kakao berperan menyerap CO_2 di udara dan menyimpan dalam bentuk karbon di tubuhnya. Nilai karbon yang tersimpan bervariasi tergantung kepada komposisi biomassa, umur tanaman, dan sistem tanaman kakao.

Stok karbon pada berbagai komposisi biomassa

Gambaran mengenai komposisi biomassa pada setiap bagian tanaman kakao terdapat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil analisis pada tanaman kakao umur 6 tahun yang di tanam di bawah tegakan tanaman karet (Tabel 2), menunjukkan bahwa biomassa terbesar terdapat pada bagian cabang kemudian diikuti oleh akar, daun, dan terkecil terdapat pada bagian batang, begitu juga dengan karbon stoknya (Cotta *et al.*, 2008).

Stok karbaon pada berbagai tingkat umur tanaman

Karbon tersimpan pada tanaman kakao semakin meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman menurut persamaan $Y = -0{,}0518X^2 + 2{,}8976X - 4{,}524$. Kenaikan jumlah karbon tersimpan secara cepat terjadi pada awal pertumbuhan tanaman, yaitu umur 3 tahun dan mulai melambat pada umur 10 tahun (Yuliasmara *et al.*, 2009). Hasil penelitian Smiley & Kroschel (2008) menunjukkan bahwa pertambahan stok karbon pada tanaman kakao di Sulawesi Tengah berbanding lurus dengan pertambahan umur tanaman (Tabel 3). Saj *et al.* (2013) melaporkan bahwa stok karbon semakin meningkat dengan bertambahnya umur tanaman kakao yang ditanam di Kamerun (Tabel 4).

Tanaman kakao umur 0-3 tahun mengalami pertumbuhan lambat karena tanaman ini memiliki sifat dimorfisme sehingga pertumbuhannya melambat pada saat pembentukan jorket. Pada umur 3-10 tanaman kakao akan mengalami fase pertumbuhan cepat (Prawoto, 2008).

Stok karbon pada bagian atas dan bawah permukaan tanah

Biomassa total pohon kakao diperkirakan sebesar 269,3 ton/ha yang terbagi menjadi 218,1 dan 51,2 ton/ha pada bagian atas dan bawah permukaaan tanah. Stok karbon kakao umur 35 tahun pada bagian atas dan bawah permukaan tanah serta nekrosama masing-masing adalah 12,5; 1,9 ton dan 0,5 ton C/ha (Norgrove & Hauser, 2013).

Tabel 5. Biomassa dan stok karbon pada *agroforestry* kakao dengan berbagai tingkat umur di Sulawesi Tengah
Table 5. Biomass and carbon stocks in cacao agroforestry at various level of ages in Central Sulawesi

Penggunaan lahan	Biomassa (ton/ha)	Stok karbon (ton C/ha)
Kakao umur 7 tahun	2,46	1,23
Agroforestry kakao umur 7 tahun	3,46	1,73
Kakao umur di atas 12 thn	4,16	2,08
Agroforestry kakao umur di atas 12 tahun	6,74	3,37

Sumber: Monde (2009)
Source: Monde (2009)

Tabel 6. Komposisi biomassa dan stok karbon pada *agroforestry* kakao umur 10 tahun di Nigeria
Table 6. Composition of biomass and carbon stocks of 10 years cacao under agroforestry in Nigeria

Tipe *agroforestry*	Jenis tanaman	Biomassa (ton/ha)	Cadangan karbon (ton C/ha)
Agroforestry jarang	Kakao	6,44	3,22
	Tanaman Penaung	27,50	13,75
	Total	**33,94**	**16,97**
Agroforestry padat	Kakao	5,51	2,76
	Tanaman Penaung	90,50	45,25
	Total	**96,01**	**48,01**

Sumber : Oke & Olatiilu (2011)
Source: Oke & Olatiilu (2011)

Tabel 7. Stok karbon pada berbagai polatanam kakao di Trenggalek, Jawa Timur
Table 7. Stock carbon on various cacao cropping pattern at Trenggalek, East Java

Polatanam	Stok karbon (ton C /ha)			
	Kakao	Penaung	Serasah dan tumbuhan bawah	Total
Kakao + Lamtoro	9,50	8,03	17,81	35,34
Kakao + Jati (3x6 m)	7,88	45,34	53,53	106,75
Kakao + Jati (6x6 m)	7,34	46,33	54,00	107,67
Kakao + sengon	4,75	149,83	155,09	309,67

Sumber: Yuliasmara *et al*. (2009)
Source: Yuliasmara et al. (2009)

Stok karbon pada berbagai sistem pertanaman

Sistem pertanaman mempengaruhi jumlah stok karbon kakao. Nilai stok karbon pada tanaman kakao monokultur lebih rendah dibandingkan kakao polikultur (*agroforestry* berbasis kakao). Pada sistem kakao polikultur, stok karbon diperoleh dari tanaman kakao maupun dari tanaman penaung. Monde (2009) melaporkan, stok karbon pada *agroforestry* kakao umur 7 tahun di Sulawesi Tengah nilainya lebih tinggi 40,65% dibandingkan kakao monokultur dengan umur yang sama, sedangkan pada umur di atas 12 tahun nilainya 62,02% lebih tinggi dibandingkan kakao monokultur pada umur yang sama (Tabel 5).

Kepadatan populasi tanaman penaung pada sistem *agroforestry* berbasis kakao juga mempengaruhi besarnya stok karbon yang dihasilkan. Hasil penelitian Oke & Olatiilu (2011) menunjukkan *agroforestry* kakao dengan populasi yang lebih padat mempunyai nilai stok karbon 182,91% lebih tinggi dibandingkan *agroforestry* kakao yang jarang (Tabel 6).

Jenis tanaman penaung untuk kakao berpengaruh pada jumlah stok karbon yang dihasilkan. Menurut Yuliasmara *et al*. (2009), nilai stok karbon tertinggi terdapat pada kakao dengan penaung sengon, kemudian diikuti kakao dengan penaung jati (6x6 m), kakao dengan penaung jati (3x6 m), dan terendah kakao dengan penaung lamtoro (Tabel 7).

Peran Bioindustri Limbah Kakao

Tanaman kakao menghasilkan produk utama biji dan produk samping berupa kulit buah kakao (KBK). Rasio antara biji, kulit buah dan plasenta buah segar kakao masing-masing adalah 24:74:2 atau setara dengan 50,8:47,2:2 dalam perbandingan bahan kering (Haryati dan Hardjosuwito 1984 *cited in* Puastuti & Susana, 2014). Luas areal tanaman kakao pada tahun 2012 mencapai 1.774.463 ha. Dengan produksi biji kakao sebesar 740,51 ribu ton (Ditjenbun, 2013) dapat dihasilkan KBK kering 688,09 ribu ton/tahun.

Kulit buah kakao umumnya belum dimanfaatkan secara optimal sehingga hanya dianggap sebagai limbah. Melalui penerapan teknologi bioindustri dari limbah kulit buah kakao dapat dihasil pupuk organik, arang tempurung, bioetanol, dan biogas. Pupuk organik dan arang tempurung berbahan baku KBK, selain dapat menambah unsur hara dan memperbaikan sifat tanah, juga mempunyai peran ekologis, yaitu dapat menyerap CO_2 dari udara dan menyimpan karbon sehingga akan mengurangi emisi GRK. Dari beberapa hasil penelitian, penggunaan bioetanol dan biogas terbukti dapat mengurangi emisi GRK.

Tabel 8. Komposisi kimia pupuk kandang dan kompos kulit buah kakao

Table 8. Chemical composition of cocoa pod compost

Komposisi kimia	Kompos kulit kakao
Karbon (%)	25,79
Nitrogen (%)	1,42
Nisbah C/N	18,00
Forfor (%)	0,26
Kalium (%)	2,97
Kalsium (%)	3,53
Magnesium (%)	0,85
Sulfat (%)	0,52
Tembaga (%)	50,00
Besi total (%)	0,47
Mangan (%)	0,04
pH	8,10

Sumber: Sugiyanto, Baon, & Wijaya (2008)

Source: Sugiyanto, Baon, & Wijaya (2008)

Pupuk organik

Kulit buah kakao dapat dijadikan kompos. Penggunaan pupuk kompos kulit buah kakao selain dapat menambah unsur hara dan memperbaiki sifat fisik tanah, juga bermanfaat dalam penambahan stok karbon di dalam tanah (Sugiyanto *et al.*, 2008). Komposisi kimia, kandungan karbon, dan kemasaman (pH) kulit buah kakao dapat dilihat pada Tabel 8.

Hasil penelitian Adejobi, Famaye, Akanbi, Adeosun, Nduka, & Adeniyi (2013) menunjukkan bahwa pemberian kulit buah kakao 20, 25, dan 30 ton/ha meningkatkan kandungan N, P, K, Ca, Mg, pH, bahan organik tanah dan juga tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, bobot cabang segar dan kering, serta bobot akar bibit kakao. Hal ini disimpulkan bahwa abu kulit buah kakao bisa berfungsi sebagai pupuk yang baik dan bahan pengapuran untuk bibit kakao. Penggunaan abu kulit buah kakao sebanyak 25 ton/ha, efektif meningkatkan pertumbuhan dan komponen hasil kakao, sifat kimia tanah.

Arang hayati

Karbon hitam yang berasal dari biomassa, atau arang hayati (*biochar*), dihasilkan melalui pembakaran tidak sempurna (*pirolisis*) pada temperatur 300-500 °C dalam kondisi oksigen yang terbatas. Hasilnya, bahan organik sangat aromatis dengan konsentrasi karbon 70-80% (Lehmann, Gaunt, & Rondon, 2006). Arang hayati dapat mengurangi laju emisi CO_2 dan menyumbangkan stok karbon sekitar 52,8%. Arang tersebut dapat menyimpan karbon dalam waktu sertaus sampai seribu tahun dan dalam jumlah yang cukup besar (Lehman *et al.*, 2006; Ogawa *et al.*, 2006). Menurut Marris (2006) pada lahan pertanian seluas 250 ha (diberi arang hayati) dapat menyerap gas CO_2 sebesar 1900 ton CO_2e per tahun. Tanah yang diberi 10% arang hayati (biochar) dapat mereduksi emisi gas N_2O sebesar 80% (Yania, Toyota, & Okazaki, 2007). Selain gas N_2O pemberian arang hayati di tanah juga dapat mereduksi gas NH_4 (Rondon, Ramirez, & Lehmann, 2005)

Sifat kimia arang hayati dari kulit buah kakao adalah sebagai berikut: pH 10,8; C-organik 4,21%; N-total 0,83%; P_2O_5 0,33%; K_2O 11,25%; CaO 2,3% dan MgO 0,86% (Nurida, Dariah, & Rachman, 2013). Menurut laporan (Ayeni, Adetuji, Ojenyi, Ewulo, & Adeyemo, 2008), abu kulit buah kakao dapat meningkatkan pH tanah dan produksi jagung. Studi yang dilakukan di beberapa bagian Afrika mengungkapkan bahwa kulit buah kakao meningkatkan kandungan N, P, K, Ca, Mg, pH dalam tanah dan hasil sayuran, beras, millet, dan jagung (Ojeniyi, Oso, & Arowotolu, 2002;. Ojeniyi dan Adejobi, 2002;. Owolabi, Adeyeye, Oladejo, Ojeniyi, 2003;. Odedina *et al.*, 2003).

Bioetanol

Kulit buah kakao dapat dibuat bioetanol melalui proses delignifikasi, hidrolisis, dan fermentasi. Hasil penelitian Anvoh, Guéhi, Beugré, Kinimo, & Gnakri (2010) di Pantai Gading, menggunakan jus kulit buah kakao yang difermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* pada suhu 30 °C selama 2 hari, dapat dihasilkan bioetanol dengan kadar 8,4%. Sedangkan, Salim (2013) dengan menggunakan inokulasi *Saccharomyces cerevisiae* selama 6 hari hanya menghasilkan bioetanol dengan kadar 4,33%.

Bioetanol yang dicampur bensin menyebabkan penurunan yang signifikan dalam emisi gas buang. Untuk semua kecepatan mesin, nilai karbon monoksida (CO), CO_2, hidrokarbon (HC), dan nitrit oksida (Nox) telah berkurang (Srinivasan & Saravanan, 2010). Etanol campuran dan aditif oksigen memberikan hasil terbaik bagi kinerja mesin dan emisi gas buang sebagai berikut (Srinivasan & Saravanan, 2010):

1. Efisiensi rem termal adalah 26,86% pada 2.400 rpm.
2. Emisi CO dikurangi menjadi 0,05% pada 2.200 rpm dengan volume ke 2800 rpm.
3. Emisi CO_2 berkurang menjadi 5,3% dengan volume pada 2.200 rpm.
4. Emisi HC dikurangi menjadi 15 ppm pada 2600 rpm dan 2800 rpm
5. Emisi NOx dikurangi menjadi 316 ppm pada 2200 rpm

Etanol merupakan siklus CO_2 tertutup karena setelah pembakaran etanol, CO_2 dilepaskan dan didaur ulang kembali ke bahan tanaman. Tanaman menggunakan CO_2 untuk mensintesis selulosa selama siklus fotosintesis (Chadel *et al.*, 2007). Proses produksi etanol hanya menggunakan energi dari sumber energi terbarukan; tidak ada karbon dioksida bersih yang ditambahkan ke udara, hal ini membuat etanol menjadi sumber energi yang menguntungkan lingkungan. Selain itu toksisitas dari emisi gas buang etanol lebih rendah dibandingkan sumber minyak bumi (Wyman & Hinman, 1990 *cited in* Igbinadolor & Onilude, 2013).

Tabel 9. Beberapa aplikasi biogas dalam industri rumah tangga
Table 9. Several applications of biogas in home industry

Tipe penggunaan	Waktu (menit)	Konsumsi biogas (liter)
Merebus air 1 liter	13	40
Merebus air 5 liter	32	170
Memasak nasi 500 g	41	210
Penerangan 60 W	360	945
Roasting kopi 10 kg	45	980

Sumber : Mulato (2009)
Source : Mulato (2009)

Tabel 10. Potensi sumber energi dari biogas asal pabrik pengolahan kakao
Table 10. The potential of energy source from biogas of the cocoa processing factory

Perusahaan	Lokasi	Limbah kakao (Mt/tahun)	Estimasi potensi gas metan (m^3CH4/tahun)	Kapasitas listrik (kW terpasang)	
				Minimum	Maksimum
Barry Callebaut Ghana Limited	Tema	3.000	500.000	213	260
Cargill Ghana Ltd.	Tema	6.000	1000.000	427	520
Cocoa Processing Co. Ltd	Tema	3.000	500.000	213	260
Niche Cocoa Industry Ltd.	Tema	3.000	500.000	213	260
ADM Cocoa (Ghana) Ltd.	Kumasi	3.000	500.000	213	260
Plot Enterprise Ghana Ltd.	Takoradi	5.500	900.000	384	468
West African Mills Co. Ltd.	Takoradi	5.000	820.000	350	426
Total		28.500		2013	2454

Sumber : Daniel, Pasch, & Nayina (2014)
Source: Daniel, Pasch, & Nayina (2014)

Table 11. Estimasi manfaat ekonomi dari operasional digester biogas
Table 11. The estimate of economic benefits of operationally biogas digester

Uraian	Per hari	Per tahun
Minyak tanah (liter)	1,50	547,50
Penghematan biaya energi (Rp.)	Rp. 4.500	1.642.500
	(US$ 0,50)	(US$ 164)
Kompos (kg)	15	5475
Penjualan kompos (Rp.)	13.500	4.927.500
	(US$ 1,30)	(US$ 493)
Tambahan pendapatan (Rp.)	18.000	5.570.000
	(US$ 1,80)	(US$ 557)

Sumber: Mulato (2009)
Source: Mulato (2009)

Etanol yang berasal dari biomassa adalah satu-satunya bahan bakar cair untuk transportasi yang tidak berkontribusi terhadap efek gas rumah kaca (Foody, 1988 *cited in* Igbinadolor and Onilude, 2013). Sedangkan bahan bakar fosil membahayakan kesehatan manusia dan berkontribusi terhadap emisi GRK (Hahn-Hägerdal, Galbe, Gorwa-Grauslund, Lidén, & Zacchi, 2006). Konversi biomassa menjadi etanol dapat mengurangi emisi GRK (Yang & Wyman, 2008).

Biogas

Biogas asal KBK dapat diproduksi dengan mencampur KBK dengan kotoran ternak dalam sebuah digester. Biogas yang dihasilkan sebesar 0,33 m^3/hari/m^3 volume digester (Mulato, 2009). Menurut Mulato (2009), biogas memiliki nilai kalori sekitar 23,5 MJ/m^3. Pada prinsipnya, dapat digunakan dengan cara yang sama seperti gas yang mudah terbakar lainnya seperti *liquefied petroleum gas* (LPG) atau *liquefied natural gas* (LNG) untuk memasak dan penerangan. Tekanan biogas antara 30 dan 60 mm H_2O kolom mampu menghasilkan sumber pemanasan yang cukup di kompor sederhana untuk merebus air dan memasak nasi (Tabel 9).

Metana memberikan cahaya lembut, putih ketika dibakar dengan mantel pijar. Lampu membutuhkan tekanan sekitar 30 mm H_2O kolom. Efisiensi pencahayaan lampu biogas cukup rendah, rata-rata antara 4% dan 5%. Meskipun demikian, lampu biogas yang baik dapat menerangi ruang jauh lebih baik daripada lampu minyak tanah sumbu, dan

menghasilkan intensitas cahaya sebanding dengan apa yang dapat diperoleh dengan lampu minyak tanah tekanan atau bola lampu listrik dikisaran kekuatan 25-75 W (Mulato, 2009). Pemanfaatan biogas untuk industri rumah tangga terdapat pada Tabel 9.

Limbah basah kakao (kulit buah) di Ghana mencapai 700.000 ton per tahun atau setara 595.000 ton limbah kering. Sebanyak 25% dari limbah tersebut diubah menjadi sumber energi yang setara dengan 639.676 MWh. Pemanfaatan limbah tersebut dapat mereduksi emisi GRK sebesar 361.660 ton CO_2 per tahun (Unep Riso Centre, 2013; Duku, Gu, & Hagan, 2011).

Daniel *et al.* (2014) melaporkan, dari 7 perusahaan pengolah kakao dihasilkan limbah kakao yang mencapai 28.500 MT/tahun. Jika limbah tersebut diubah menjadi sumber energi listrik maka akan diperoleh 2.013–2.454 kW kapasitas listrik terpasang (Tabel 10).

Memiliki reaktor biogas ditingkat keluarga dapat menghasilkan pendapatan alternatif. Petani bisa memperoleh pendapatan tambahan dari penjualan kompos dan penghematan biaya dari tidak membeli minyak tanah atau LPG untuk memasak sehari-hari (Tabel 11). Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa keluarga petani (1 orangtua dan 2 anak-anak) mengkonsumsi 1,50 sampai 2,0 liter minyak tanah untuk memasak sehari-hari. Jumlah minyak tanah bisa digantikan oleh 1,10 sampai 1,20 m^3 biogas.

Konversi kakao dan residu peternakan untuk biogas secara signifikan dapat mengurangi masalah lingkungan yang terkait dengan limbah. Uji coba lapangan menunjukkan bahwa COD *chemical oxygent demand* (COD) dan *biochemical oxygent demand* (BOD) dari limbah pengolahan kopi dapat dikurangi secara signifikan ke tingkat yang diijinkan untuk pembuangan langsung. Bahkan, limbah dari digester adalah bubur yang dapat digunakan sebagai bahan kompos pupuk organik yang memiliki penampilan pupuk pertanian dan memiliki nilai nutrisi tanaman (Tabel 13).

Emisi GRK dari pembangkit listrik asal biogas bervariasi antara 0,143 sampai 0,160 kg CO_2 e kWh^{-1} (Dressler, Loewen, & Nelles, 2012). Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, produksi listrik menggunakan biogas dapat mereduksi emisi GRK 0,188-1,193 kg CO_2 e kWh^{-1} (Bacenetti, Negri, Fiala, & González-García, 2013). Mitigasi gas rumah kaca (GRK) dari pembangkit listrik asal biogas kisaran 0,206-0,298 kg CO_2 e kWh-1. (Nekrošius, Navickas, Venslauskas, Kadžiuliene, & Tilvikiene, 2014). Menurut Horbelt, Maciejczyk, Olzem, & Rauh (2011), satu kWh listrik yang dihasilkan dari biogas menyebabkan emisi GRK sebesar 290 g CO_2e, sedangkan satu kWh listrik yang dihasilkan dari campuran energi fosil melepaskan emisi GRK 720 g CO_2 e. Kondisi ini menunjukkan bahwa biogas dapat mereduksi emisi GRK sebesar 430 g CO_2 e atau 60% dari setiap kWh yang dihasilkan.

PENUTUP

Perubahan iklim mengakibatkan pola curah hujan berubah, suhu udara semakin meningkat, frekuensi kejadian iklim ekstrim El Nino dan La Nina bertambah, dan tinggi permukaan air laut meningkat. Kondisi ini berdampak buruk pada pertumbuhan dan produksi kakao. Upaya untuk mengatasi perubahan iklim di antaranya dapat dilakukan melalui pengelolaan biomassa dan penerapan teknologi bioindustri limbah kakao. Biomassa kakao dapat menyerap CO_2 dari udara dan menyimpan karbon. Limbah KBK melalui proses bioindustri dapat dimanfaatkan untuk pupuk organik, arang hayati, bioetanol, dan biogas. Produk tersebut selain dapat memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah, juga dapat menambah stok karbon dan mengurangi emisi GRK. Baik biomassa maupun bioindustri limbah kakao berperan dalam mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

Abdoellah, S. (2008). CO_2 Absorption-emission Balance in Cocoa Plantation. *Prosiding Simposium Kakao 2008* (pp. 15-18). Denpasar, 28–30 Oktober 2008. Jember: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.

Acheampong, K., Hadley, P., & Daymond, A.J. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Expl Agric.*, *49*(1), 31–42.

Adejobi, K. B., Famaye, A. O., Akanbi, O.S.O., Adeosun, S. A., Nduka, A. B., & Adeniyi, D. O. (2013). Potentials of cocoa pod husk ash as fertilizer and liming materials on nutrient uptake and growth performance of cocoa. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*, *2*(9), 243-251.

Ajewole, D.O., & Iyanda, S. (2010). Effect of climate change on cocoa yield: A case Cocoa Research Institute (CRIN) Farm, Oluyole Local Governnent Ibadan, Oyo State, Nigeria. *Journal of Sustainable Development in Africa*, *12*(1), 350-358.

Anvoh, K.Y.B., Guéhi, T.S., Beugré, G.A.M., Kinimo, J.M., & Gnakri, D. (2010). Comparison of biochemical changes during alcoholic fermentation of cocoa juice conducted by spontaneous and induced processes for the production of ethanol. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development*, *10*(6), 2740-2754.

Ayeni, L.S., Adetuji, M.T., Ojenyi, S.O., Ewulo, B.S., & Adeyemo, A.J. (2008). Comparative and cumulative effect of cocoa pod husk ash and poultry manure on soil and maize nutrient contents and yield. *Am.-Eur. J. Sustain. Agric.*, *2*(1). 92-97.

Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M., & González-García, S. (2013). Anaerobic digestion of different feedstocks: impact on energetic and environmental balances of biogas process. *Science of the Total Environment*, *463*, 541–551.

Badan Litbang Pertanian. (2011a). *Panduan inventori gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim sektor pertanian* (p. 85). Jakarta: Badan Litbang Pertanian.

Badan Litbang Pertanian. (2011b). *pedoman umum adaptasi perubahan iklim sektor pertanian* (p. 67). Jakarta : Badan Litbang Pertanian.

Badan Litbang Pertanian. (2011c). *Road map strategi pertanian menghadapi perebahan iklim (revisi)* (p. 89). Jakarta : Badan Litbang Pertanian.

Chadel, A.K., Chan, E.C., Rudravaram, R., Narasu, M.L., Rao, L.V., & Ravindra, P. (2007). Economic and environmental impact of bioethanol production technologies: An appraisal. *Biotechnol. Mol. Biol. Rev.*, *2*, 14–32.

Cotta, M.K., Jacovine, L.A.G., de Paiva, H.N., Soares, C.P.B., Filho, A.C.V., & Valverde, S.R. (2008). Biomass quantification and emission reduction certificates for rubber - cocoa intercropping. *R. Árvore, Viçosa-MG*, *32*(6), 969-978.

Daniel, U., Pasch, K.H., & Nayina, G.S. (2014). *Biogas in Ghana sub-sector analysis of potentian and framework condition* (p. 30). Berlin, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).

Daymond, A.J., Tricker, P.J., & Hadley, P. (2011). Genotypic variation photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum*, *55*(1), 99-104.

Desjardins, R.L, Smith, W., Grant, B., Campbell, C., Janzen, H., & Riznek, R. (2002). Management Strategies to Sequester Carbon in Agricultural Soils and to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Paper presented at the International Workshop on Reducing Vulnerability of Agriculture and Forestry to Climate Variability and Climate Change* (p. 16). Ljubljanu, Slovenia, 7–9 October 2002.

Direktorat Jenderal Perkebunan. (2013). *Statistik perkebunan Indonesia 2012-2014 Kakao* (p. 57). Jakarta : Direktorat Jenderal Perkebunan.

Direktorat Jenderal Perkebunan. (2014). *Pedoman teknis budidaya kakao yang baik* (p. 101). Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.

Dressler, D., Loewen, A., & Nelles, M. (2012). Life cycle assessment of the supply and use of bioenergy: Impact of regional factors on biogas production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *17*(9), 1104–1115.

Duku, M.H., Gu, S., & Hagan, E.B. (2011). A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 404-415.

Executive Committee. (2010). Impact Of El Niño/ La Niña weather events on the world cocoa economy. *In One Hundred and Forty-second Meeting* (pp. 1-20). London, 13-17 September 2010.

Förster, H., Sterzel, T., Pape, C.A., Moneo-Laín, M., Niemeyer, I., Boer, R., & Kropp, J.P. (2011). Sea-level rise in Indonesia: On adaptation priorities in the agricultural sector. *Regional Environmental Change*, *11*(4), 893-904.

Hahn-Hägerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, G., Lidén, G., & Zacchi, G. (2006). Bio-ethanol: The fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnol*, *24*, 549-556.

Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R.R., & Rahayu, S. (2011). *Petunjuk praktis pengukuran cadangan karbon: Dari tingkat lahan ke bentang lahan. Edisi kedua* (p. 88). Bogor: World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, Bogor.

Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W., & Medina-Elizade, M. (2006). Global temperature change. *PNAS*, *103*(39), 14288-14293.

Horbelt, A., Maciejczyk, M., Olzem, B., & Rauh, S. (2011). *Biogas can do it: Facts, arguments and potentials* (p. 40). Berlin, Germany: Fachverband Biogas e.V.

http://CO_2now.org/Current-CO_2/CO_2-Now/the-climate-sheet.html

Igbinadolor, R.O., & Onilude, A.A. (2013). Bioprocess systems applied for the production of bioethanol from lignocellulosic biomass of cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) and other agricultural residues: A review. *African Journal Biotechnology*, *12*(35), 5375-5388.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). Climate change 2001: The scientific basis. In Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C.A. Johnson (Eds.), *Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 881). Cambridge, United Kingdom and New York USA: Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Climate change 2007: The physical science basis. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 996). Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.

Irawan, B. (2006). Fenomena anomali iklim El Nino dan La Nina: Kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, *24*(1), 28–45.

Isaac, M.E., Gordon, A.M., Thevathasan, N., Oppong, S.K., & Quashie-Sam, J. (2005). Temporal changes in soil carbon and nitrogen in west African multistrata agroforestry systems: A chronosequence of pools and fluxes. *Agroforestry Systems*, *65*, 23-31.

Isaac, M. E., Timmer, V.R., & Quashie-Sam, S.J. (2007). Shade tree effects in an 8 - year - old cocoa agroforestry system: Biomass and nutrient diagnosis of Theobroma cacao by vector analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *78*, 155-165.

Lawal, J.O., & Emaku, L.A. (2007). Evaluation of the effect of climatic changes on cocoa product in Nigeria: Cocoa Research Institute of Nigeria (CRIN) as a case study. *African Crop Science Conference Proceeding, 8*, 423-426.

Lehmann J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *11*, 403–27.

Manik, T.K., Rosadi, B., & Nurhayati, E. (2014). Mengkaji dampak perubahan iklim terhadap distribusi curah hujan lokal di Propinsi Lampung. *Forum Geografi*, *28*(1), 73-86.

Marris, E. (2006). Black is the new green. *Nature*, *442*(10), 469–624.

Monde, A. (2009). Degradasi stok karbon (c) akibat alih guna lahan hutan menjadi lahan kakao di DAS Nopu, Sulawesi Tengah. *J. Agroland, 16*(2), 110 -117.

Mulato, S. (2009). Case study of biogas production materials and animal manure in the cocoa and coffee farms. *International Workshop on Developing Bioenergy and Conserving the Natural Ecosystem in APEC Member Economies* (pp. 79-96). Seoul, Korea, 15-17 September 2009.

Nekrošius, A., Navickas, K., Venslauskas, K., Kadžiuliene, Ž., & Tilvikiene, V. (2014). Assessment of energy biomass potential and greenhouse gas emissions from biogas production from perennial grasses. *Zemdirbyste-Agriculture*, *101*(3), 271–278.

Norgrove, L., & Hauser, S. (2013). Carbon stocks in shaded *Theobroma cacao* farms and adjacent secondary forests of similar age in Cameroon. *Tropical Ecology*, *54*(1), 15-22.

Nurida, N.L., Dariah, A., & Rachman, A. (2013). Peningkatan kualitas tanah dengan pembenah tanah biochar limbah pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim*, *37*(2), 69-78.

Nwachukwu, I.N., Ezeh, C.I., & Emerole, C.O. (2012). Effect of climate change on cocoa productivity in Nigeria. *African Crop Science Journal*, *20*, 487–491.

Odedina, S.A., Odedina, J.N., Ayeni, S.O., Arowojolu, S.A.A., Adeyeye, S.D., & Ojeniyi, S.O. (2003). Effect of types of ash on soil fertility nutrient availability and yield of tomato and pepper. *Niger. J. Soil Sci.*, *13*, 61-62.

Ogawa, M., Okimori., Y., & Takashi, F. (2006). Carbon sequestration by carbonisation of biomass and forestation: Three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *11*, 421–36.

Ojeniyi, S.O., & Adejobi, K.B. (2002). Effect of ash and goat dung manure on leaf nutrient composition, growth and yield of Amaranthus Niger. *Agric. J.*, 33, 46- 57.

Ojeniyi, S.O., Oso, O.P., & Arowotolu, A.A. (2002). Response of Vegetables to Wood Ash Fertilizer. *Proceeding 35th. Annual Conference of Agriculture Society of Nigeria* (pp. 39-43). Abeokuta, 16-20 Spetember 2002.

Ojo, A.D., & Sadiq, I. (2010). Effect of climate change on cocoa yield: A case of Cocoa Research Institute (CRIN) farm, Oluyole local government Ibadan Oyo State. *Journal of Sustainable Development in Africa*, *12*(1), 350-358.

Oke, D., & Olatiilu, A. (2011). Carbon storage in agroecosystems: A case study of the cocoa based agroforestry in Ogbese Forest Reserve, Ekiti State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*, *2*, 1069-1075.

Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., Peters, J.A.H.W. (2013). *Trends in global CO_2 emissions: Report 2013* (p. 60). Netherlands: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.

Owolabi, O., Adeyeye, A., Oladejo, B.T., & Ojeniyi, S.O. (2003). Effect of wood ash on soil fertiliy and crop yield in south west Nigeria. *Niger. J. Soil Sci.*, *13*, 15- 60.

Oyekale, A.S., Bolaji, M.B., & Olowa, O.W. (2009). The effect of climate change on cocoa production and Vulnerability assessment in Nigeria. *Agricultural Journal*, *4*(2), 77-85.

Prawoto, A. (2008). Pangkasan. *In* Wahyudi, T., T.R., Pangabean & Pujiyanto (Eds.), *Panduan lengkap kakao: Managemen agribisnis dari hulu hingga hilir* (pp. 122—132). Jakarta: Penebar Swadaya.

Puastuti, W., & Susana, I.W.R. (2014). Potensi dan pemanfaatan kulit buah kakao sebagai pakan alternatif ternak ruminansia. *Wartazoa*, *24*(3), 151-159.

Qian, J.H., Robertson, A.W., & Moron, V. (2010). Interaction among ENSO, the monsoon, dan diurnal cycle in rainfall variability over Java, Indonesia. *Journal of the Atmospheric Sciences*, *67*, 3509–3524.

Ramanathan, V., & Feng, Y. (2009). Air pollution, greenhouse gases and climate change: Global and regional perspectives. *Atmospheric Environment, 43*, 37–50.

Rondon, M., Ramirez, J.A., & Lehmann, J. (2005). Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere. *Proceedings of the 3rd USDA symposium on greenhouse gases and carbon sequestration* (p. 208). Baltimore, Md, USA, 21-24 March 2005.

Runtunuwu, E., & Syahbuddin, H. (2007). Perubahan pola curah hujan dan dampaknya terhadap periode masa tanam. *Jurnal Tanah dan Iklim*, *26*, 1-12.

Saj, S., Jagoret, P., & Ngogue, H.T. (2013). Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforestry Systems*, *87*(6), 1309-1320.

Salim, M.A. (2013). The time variation of *Saccharomyces cerevisiae* inoculation in simultaneous saccharification and fermentation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod for bioethanol production. *Journal of Asian Scientific Research, 3*(3), 268-274.

Setiawan, O. (2012). Analisis variabilitas curah hujan dan suhu di Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, *9*(1), 66 – 79.

Smiley, G.L., & Kroschel, J. (2008). Temporal change in carbon stocks of cocoa–gliricidia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia. *Agroforest Syst.*, *73*, 219–231.

Sofian, I. (2010). *Scientific basis: Analysis and projection of sea level rise and extreme weather event. Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap-ICCSR* (p. 70). Jakarta: National Planning and Development Agency (Bappenas).

Srinivasan, C.A., & Saravanan, C.G. (2010). Emission Reduction on Ethanol–Gasoline Blends using 1, 4 Dioxan. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010* (p. 4). London, U.K.: June 30-July 2, 2010.

Sugiyanto, Baon, J.B., & Wijaya, K.A. (2008). Sifat kimia tanah dan serapan hara tanaman kakao akibat bahan organik dan pupuk fosfat yang berbeda. *Pelita Perkebunan*, *24*(3), 188—204.

Trenberth, K.E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, *47*, 123–138.

Unep Risø Centre. (2013). *Emissions reduction profile Ghana* (p. 29). Roskilde, Denmark: Unep Risø Centre.

World Meterological Organization. (2014). The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2013. *WMO Greenhouse Gases Bulletin*, *10*, 1-8.

Wyman, C.E., & Hinman, N.D. (1990). Ethanol, Fundamentals of production from renewable feedstocks and use as transportation fuel. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, *24*(25), 735–753.

Yang, B., & Wyman, C.E. (2008). Pretreatment: The key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. A Review. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, *2*, 26–40.

Yania, Y., Toyota, K., & Okazaki, M. (2007). Effects of charcoal addition on N_2O emissions from resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Science and Plant Nutrition*, *53*, 181–188.

Yuliasmara, F., Wibawa, A., & Prawoto, A.A. (2009). Karbon tersimpan pada berbagai umur dan sistem pertanaman kakao: Pendekatan allometrik. *Pelita Perkebunan*, *25*(2), 86—100.