

Budidaya Kopi Rakyat dengan Pengelolaan Bahan Organik Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca dan Cadangan Karbon

Hesti Yulianingrum¹, Ika Ferry Yunianti¹, Maria Angelina Nai Ulu²

¹Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jalan Raya Jakenan Jaken KM 5 Pati, Jawa Tengah Indonesia; e-mail: hestiyulianingrum@gmail.com

²Dinas Pertanian Provinsi Nusa Tenggara Timur, Jalan Polisi Militer 7A Kupang Nusa Tenggara Timur Indonesia

ABSTRAK

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) akibat dari kegiatan pertanian akan menyebabkan perubahan iklim. Dampak perubahan iklim akan mengancam produktivitas tanaman kopi. Upaya mitigasi GRK perlu dilakukan untuk mencegah penurunan produktivitas kopi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui emisi GRK dan cadangan karbon dari perbedaan jenis pupuk yang diberikan (sistem organik dan konvensional) di perkebunan kopi rakyat di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Penelitian dilaksanakan pada lahan perkebunan kopi rakyat di Desa Radabata, Kecamatan Golewa, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Kegiatan penelitian dilaksanakan pada dua lokasi dengan sistem budidaya konvensional (tanpa penambahan bahan organik) dan organik (penambahan bahan organik). Kegiatan yang dilakukan adalah pengukuran gas rumah kaca (GRK) serta cadangan karbon. Pengukuran GRK menggunakan metode sungkup tertutup dengan 4 titik pengambilan sampel. Perhitungan cadangan karbon dengan pengambilan sampel biomassa kering dengan metode RaCSA (*Rapid Carbon Stock's Assessment*). Hasil penelitian menunjukkan perkebunan kopi mampu menurunkan GWP sebesar 24,77 % dibandingkan pada sistem konvensional. Perkebunan kopi rakyat dengan sistem konvensional menghasilkan cadangan karbon dan serapan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan sistem organik. Keragaman jenis tanaman penutup, umur tanaman dan sistem budidaya sangat mempengaruhi cadangan karbon yang dihasilkan pada suatu lahan. Pengelolaan perkebunan secara organik dengan tanaman tahunan sebagai penutup (*Agroforestri*) merupakan kegiatan ramah lingkungan sebagai upaya mitigasi gas rumah kaca.

Kata kunci: Emisi GRK, Tanaman kopi, Cadangan karbon, Mitigasi, Agroforestri

ABSTRACT

Increasing the concentration of greenhouse gases (GHG) due to agricultural activities will cause climate change. The impact of climate change will threaten the productivity of coffee plants. GHG mitigation efforts need to be carried out to prevent decline in coffee productivity. The aim is to determine GHG emissions and carbon stocks from the different types of fertilizers given (organic and conventional systems) in smallholder coffee plantations in the East Nusa Tenggara Province. The study was carried out on smallholder coffee plantations in Radabata Village, Golewa District, Ngada Regency, East Nusa Tenggara Province (NTT). Research activities were carried out in two locations with conventional cultivation systems (without organic materials) and organic (organic matter amendment). The activities carried out are measurements of greenhouse gases (GHG) and carbon stocks. Measurement of GRK uses a closed chamber method with 4 sampling points. Calculation of carbon stocks with dry biomass sampling with the RaCSA (*Rapid Carbon Stock Assessment*) method. The results showed that coffee plantations were able to reduce GWP 24,77 % compared to conventional system. Smallholder coffee plantation with conventional system produce greater carbon stock and carbon uptake compared to organic system. Diversity of shade plan, age of plants and cultivation system greatly affect the carbon stock produced on a land. Organic plantation management with annual crops as shade (*Agroforestry*) is an environmentally friendly activity as an effort to mitigate greenhouse gases.

Keywords: GHG emission, Coffee plant, Carbon stock, Mitigation, Agroforestry

Citation: Yulianingrum, H., Yunianti, I.F., dan Ulu M.A.N. (2020). Budidaya Kopi Rakyat dengan Pengelolaan Bahan Organik Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca dan Cadangan Karbon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1),97-106, doi:10.14710/jil.18.1.97-106

1. Pendahuluan

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) akibat dari kegiatan antropogenik dan non antropogenik akan menyebabkan perubahan iklim. Dampak perubahan iklim akan mengancam produktivitas tanaman kopi. IPCC (2014) menyatakan pada akhir abad 21 diperkirakan kenaikan suhu udara

akan mencapai 2° C apabila tidak dilakukan kegiatan mitigasi. Akibat dari peningkatan suhu tersebut menyebabkan kejadian iklim yang ekstrim (kemarau panjang, curah hujan tinggi, angin kencang, naiknya permukaan air laut). Kemarau panjang akibat El nino dapat mengakibatkan penurunan produksi kopi sebanyak 10%, sebaliknya curah hujan yang tinggi

akibat La Nina dapat menurunkan produksi kopi hingga 80% (Syakir dan Surmaini, 2017). Selain itu, perubahan iklim dapat mempengaruhi dinamika dan status populasi hama yang dapat mengancam produksi kopi (Bale *et al.*, 2002; Jaramillo *et al.*, 2011; Widayat *et al.*, 2015; Groenen, 2018). Menurut Cerdan *et al.* (2012), sebanyak 37% petani merasakan perubahan iklim akan menjadi masalah mendatang di perkebunan kopi. Beberapa petani merasakan dampak perubahan iklim dengan berubahnya waktu berbunga tanaman kopi.

Tanaman kopi merupakan salah satu komoditas utama perkebunan yang menyumbang devisa negara. Pada tahun 2016 kopi menempati posisi ke 4 komoditas perkebunan yang di ekspor ke luar negeri. Perkebunan kopi tersebar di seluruh Indonesia, propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) menempati urutan ke 8 yang memiliki areal perkebunan kopi yang cukup luas di Indonesia. Di provinsi NTT luas areal perkebunan kopi mencapai 64.716 ha, dengan produksi kopi sebesar 21.079 ton (Pusdatin, 2017). Pada tahun 2019, Kementerian Pertanian menargetkan produksi kopi 0,79 juta ton. Namun, selama periode 1970-2015 tidak terjadi kenaikan produksi kopi yang signifikan (Kementan, 2015). Permintaan kopi yang meningkat, khususnya kopi arabika tidak dapat terpenuhi karena terbatasnya area pertanaman kopi serta produksi yang rendah yang disebabkan oleh perubahan iklim.

Budidaya kopi sangat rentan terhadap perubahan iklim karena memiliki lingkungan tumbuh yang sempit. Terjadinya perubahan iklim dapat mengurangi area produksi kopi mencapai 50% (Bisang *et al.*, 2016). Sebesar 40,1% variasi terhadap produktivitas kopi robusta di Malang dipengaruhi suhu (Prasetyo *et al.*, 2017). Pada tahun 2050 beberapa negara akan mengalami penurunan area perkebunan kopi sebanyak 40-50% akibat peningkatan suhu. Perubahan pola hujan, suhu, angin serta cuaca ekstrem lainnya memberi dampak pada kualitas dan produktivitas kopi (UNDP, 2005; Fain *et al.*, 2017; Groenen, 2018).

Produksi kopi sangat dipengaruhi oleh iklim, namun kopi juga sebagai kontributor perubahan iklim dari gas rumah kaca yang dipancarkan. Sumber emisi GRK utama dalam budidaya kopi sebanyak 94% adalah penggunaan input organik dan anorganik (Maina *et al.*, 2015). Pertanian di lahan kopi menyumbang gas CO₂ dan N₂O. Karbondioksida (CO₂) dari pertanian dihasilkan melalui kegiatan konversi lahan, pengelolaan tanah. Gas N₂O dari pertanian terkait dengan penggunaan pupuk (Sevenster and Verhagen, 2010). Manajemen kegiatan budidaya kopi memberi pengaruh terhadap emisi yang dikeluarkan tanaman. Penggunaan bahan organik, sistem

budidaya monokultur/tumpang sari, kandungan air tanah, dan perubahan daya guna lahan dari hutan ke lahan pertanian memberi pengaruh terhadap emisi yang dikeluarkan (Verhot *et al.*, 2006).

Dampak perubahan iklim pada perkebunan kopi dapat diantisipasi dengan teknik budidaya tanaman yang baik (Prasetyo *et al.*, 2017). Penanaman tanaman hutan atau tanaman perkebunan memiliki potensi untuk berkontribusi dalam kegiatan mitigasi dari akumulasi emisi GRK yang dihasilkan karena cenderung lebih tinggi serapan C (Houghton *et al.*, 1993; IPCC, 2000). Penanaman jenis *leguminose* di antara tanaman perkebunan mempunyai peranan penting dalam memfiksasi N. Penerapan sistem tersebut dapat mengurangi sumbangan emisi GRK ke atmosfer.

Sumber utama emisi GRK dari budidaya kopi berasal dari pengelolaan pupuk. Emisi GRK yang disebabkan oleh pengelolaan pupuk sebesar 96% (Rachawat *et al.*, 2015). Sebanyak 84,3% dari total emisi berasal dari hilangnya karbon yang berasal dari bahan organik tanah, bahan organik penggabungan dan dekomposisi serasah daun kopi adalah 84,3% ,dan sisanya 15,7% dihasilkan dari emisi dari pemupukan nitrogen (Jaramillo *et al.*, 2017). Penggunaan pupuk organik dapat memberi dampak positif terhadap penurunan emisi GRK. (Graham *et al.*, 2017). Pengembangan budidaya kopi secara organik sudah mulai dilakukan banyak di Indonesia. Informasi atau penelitian emisi GRK serta cadangan karbon belum banyak tersedia sehingga perlu informasi dan penelitian mengenai emisi GRK dari pengelolaan lahan secara organik dan anorganik di Indonesia. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengetahui emisi GRK dan cadangan karbon dari perbedaan jenis pupuk yang diberikan (sistem organik dan konvensional) di perkebunan kopi rakyat di Provinsi Nusa Tenggara Timur.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan pada lahan perkebunan kopi rakyat di Desa Radabata, Kecamatan Golewa, Kabupaten Ngada, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). Perkebunan kopi ini berada pada ketinggian sekitar 1.000-1.550 mdpl dengan curah hujan sekitar 2.500 mm/tahun. Lokasi penelitian terletak pada 2 tipe penggunaan lahan. Tipe lahan dengan sistem organik berumur 6 tahun, dan tipe penggunaan lahan lainnya secara konvensional dengan umur 15 tahun. Kebun bercampur dengan tanaman tahunan (Sengon dan Ampupu) dan tanaman berumur pendek (pisang). Jenis kopi yang ditanam adalah arabika. Lokasi juga didominasi dengan gulma berdaun lebar.

2.2. Rancangan perlakuan

Kegiatan penelitian dilaksanakan pada dua lokasi dengan sistem budidaya yang berbeda. Sistem budidaya yang diterapkan konvensional (tanpa penambahan bahan organik) dan organik (penambahan bahan organik). Kegiatan pengambilan data dengan pengambilan sampel gas pada 2 sistem budidaya dengan 4 titik pengulangan. Pengambilan sampel gas bertujuan untuk melihat emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari 2 sistem budidaya berbeda. Selain itu juga dilakukan pengukuran cadangan karbon dengan mengumpulkan sampel biomassa bawah, seresah dan ranting serta biomassa pohon. Pengambilan data untuk pengukuran cadangan karbon dengan mengambil sampel dengan ukuran plot tertentu. Pengambilan sampel plot untuk mengukur cadangan karbon pada biomassa bawah, seresah dan ranting diulang sebanyak 3 kali.

2.3. Pengukuran emisi GRK

Pengambilan sampel gas rumah kaca CO₂ dan N₂O dilaksanakan sebanyak 2 kali pada tanggal 25 Oktober 2018 dan 1 November 2018. Waktu pengambilan contoh gas dilakukan pada pagi (07.00 WITA) dan siang (13.00 WITA). Pengambilan contoh gas CO₂ dan N₂O dilakukan di empat titik sampling pada jarak 40 m dengan metode sungkup tertutup (*close chamber*) (Minamikawa *et al*, 2015). Peralatan yang digunakan yang digunakan untuk pengambilan sampel gas antara lain penampang ukuran 43 x 23 cm dan sungkup ukuran 40 x 20 x 30 cm, termometer, jarum suntik (*syringe*), dan vial.

Penampang dipasang satu hari sebelum dilakukan pengambilan contoh gas. Penampang dipasang rata di atas permukaan tanah. Sungkup dipasang diatas penampang yang sudah diberi air agar tidak mengalami kebocoran. Termometer dipasang pada pada lubang bagian atas sungkup. Penutup karet (*septum*) diletakkan pada lubang pengambil contoh gas. Septum dipasang 2-3 menit setelah pemasangan sungkup di penampang agar udara dalam sungkup stabil. Pengambilan sampel gas menggunakan *syringe* ukuran 20 ml sebanyak 5 kali dengan interval waktu 10, 20, 30, 40 dan 50 menit. Sampel gas yang telah diambil dengan *syringe* segera dimasukkan ke dalam vial. Setiap kali melakukan pengambilan contoh gas dilakukan pencatatan ketinggian air dari tanah (*headspace*) serta perubahan suhu di dalam sungkup. Contoh gas dibawa ke laboratorium GRK untuk dianalisis gas CO₂ dan N₂O. Analisis contoh gas menggunakan alat *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu 14A yang dilengkapi dengan TCD (*Thermal Conductivity Detector*) untuk mendeteksi gas CO₂ dan ECD (*Electron Capture Detector*) untuk mendeteksi

gas N₂O. Pengukuran fluks menggunakan rumus berdasarkan IAEA (1992) :

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T}$$

Dimana :

- E : Emisi gas CO₂ dan N₂O (mg/m²/hari) (CO₂ and N₂O emission (mg/m²/day))
 dc/dt : Perbedaan [CO₂ dan N₂O] per waktu (ppm/menit)
 V_{ch} : Volume boks (m³)
 A_{ch} : Luas boks (m²)
 mW : Berat molekul CO₂, N₂O (g)
 mV : Tetapan volume molekul (22,41 l)
 T : Suhu rata-rata selama pengambilan sampel (°C); Nilai 273,2 : Tetapan suhu Kelvin

2.4. Pengukuran cadangan karbon (C-stok)

Pengukuran cadangan karbon diatas tanah meliputi karbon yang tersimpan dalam biomassa pohon, tumbuhan bawah (gulma), seresah dan ranting yang ada dipermukaan tanah. Pengukuran cadangan karbon pada pohon kopi dilakukan dengan metode RaCSA (*Rapid Carbon Stock's Assesment*). Metode yang dikembangkan oleh ICRAF (International Center for Reseach in Agroforestry) dengan mengukur berat kering biomassa di atas permukaan tanah dalam petak berukuran (Hairiah dan Rahayu, 2007). Ukuran petak dimodifikasi menjadi 10 x 4 m.

Pengukuran cadangan karbon dilakukan secara destruktif dan non destruktif. Pengukuran cadangan karbon secara destruktif dilakukan pada biomassa di atas permukaan tanah dengan merusak biomassa (destruktif), bobot basah dan bobot kering biomassa ditimbang serta kandungan karbon dianalisa setiap bagian tanaman. Cadangan karbon juga dihitung untuk biomassa bawah (*understorey*) dan seresah (nekromas non kayu). Pehitungan cadangan karbon menggunakan rumus :

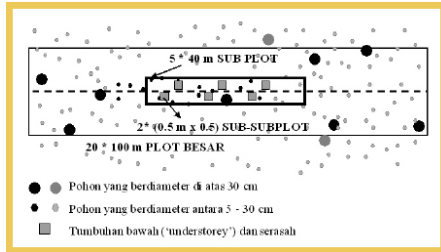
Cadangan karbon = Berat Kering biomass x % C Organik tanaman

Pengukuran cadangan karbon juga dilakukan dengan cara tanpa merusak biomasa tanaman (non destructive), yaitu dengan cara mengukur keliling dan tinggi contoh tanaman, mengidentifikasi jenis tanaman, kemudian dihitung cadangan karbon dengan menggunakan persamaan tertentu (allometrik) (Tabel 1). Pengukuran cadangan karbon dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut plot contoh untuk pengukuran ditentukan, pengukuran biomassa tanaman (destruktif dan non destruktif), nekromas, serta persentase kandungan karbon tanaman dan berat kering tanaman. Pengukuran estimasi kandungan karbon pada suatu lahan. Skema contoh pengukuran cadangan karbon terdapat pada Gambar 1.

Tabel 1. Estimasi Biomassa pohon dengan persamaan alometrik (Hairiah *et al.*, 2011)

Jenis Pohon	Estimasi Biomasa pohon (kg/pohon)
Pohon bercabang	$BK = 0,11 \rho D^{2,62}$
Pohon tidak bercabang	$BK = \pi \rho H^* D^2/40$
Kopi pangkas	$BK = 0,281 D^{2,06}$
Pisang	$BK = 0,030 D^{2,13}$
Bambu	$BK = 0,031 D^{2,28}$
Sengon	$BK = 0,0272 D^{2,831}$
Pinus	$BK = 0,0417 D^{2,6576}$
Kelapa sawit	$BK = (0,0976 \times H^{**}) + 0,0706$

Keterangan: BK: berat kering (g); D: diameter pohon (cm); H*: tinggi pohon (cm); H**: tinggi pohon (m); ρ: berat jenis kayu (gr cm⁻³); Diameter = Keliling/3,14



Gambar 1. Contoh plot pengukuran (Hairiah dan Rahayu, 2007)

2.5. Pengukuran biomassa tanaman

Pengukuran biomassa tanaman dilakukan dengan mencatat semua jenis pohon serta keliling pohon yang masuk dalam sub plot pada blangko pengamatan. Apabila terdapat pohon yang berdiameter > 30 cm atau keliling > 94 cm maka dibuat plot besar. Diameter of breast height (dbh) untuk semua pohon dengan diameter > 30 cm diukur (Gambar 1). Nama semua pohon yang berdiameter > 30 cm dicatat.

2.6. Pengukuran tanaman bawah (understorey)

Tanaman yang memiliki diameter < 5 cm yang berada di dalam SUB SUB PLOT (6 contoh)(Gambar 1) diambil contoh tanamannya dan dimasukkan kedalam kantong kertas. Berat basah dari tanaman ditimbang (daun dan batang dipisahkan). Sub contoh tanaman dari masing-masing biomasa daun, batang diambil

sekitar 100-300 gr lalu dikeringkan untuk dianalisis persen kandungan C tanaman. Berat Kering biomassa dan persentase karbon dalam tanaman dicatat.

2.7. Pengukuran nekromas/serasah tanaman

Serasah yang terdapat di dalam SUB SUB PLOT (6 contoh) diambil dan dimasukkan ke dalam kantong kertas. Berat basah serasah ditimbang. Sub contoh serasah dari masing-masing SUB SUB PLOT diambil 100-300 gram lalu dikeringkan untuk dianalisis persen kandungan C tanaman. Berat kering biomassa dan persen karbon tanamannya dicatat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Emisi GRK dari lahan perkebunan kopi rakyat

Hasil pengukuran emisi gas rumah kaca (GRK) harian di perkebunan kopi rakyat pada di sistem pertanian organik menghasilkan nilai fluks N₂O rata rata 0,561 mg/m²/hari dan fluks CO₂ 5.826 mg/m²/hari (Tabel 2). Hasil perhitungan emisi gas N₂O dari lahan perkebunan dengan sistem organik sebesar 2,05 kg/ha/tahun (Tabel 3) atau setara 611 kg CO₂-e/ha/tahun. Besaran emisi tersebut di NTT lebih kecil dibandingkan emisi pada perkebunan kopi rakyat di Nusa Tenggara Barat (NTB). Menurut Pramono dan Sadmaka (2018), emisi N₂O dari perkebunan kopi rakyat di NTB sebesar 2,29 kg N₂O-N/ha/tahun atau sebesar 1.073 kg CO₂-e/ha/tahun.

Tabel 2. Fluks harian N₂O dan CO₂ dari 2 sistem budidaya pada perkebunan kopi rakyat di NTT.

Waktu	Fluks N ₂ O (mg/m ² /hari)					
	Organik			Konvensional		
	1	2	Rata-Rata	1	2	Rata-Rata
Pagi	0,555	0,668	0,612	0,504	0,563	0,533
Siang	0,448	0,570	0,510	0,751	0,535	0,643
Rata Rata			0,561			0,588
Waktu	Fluks CO ₂ (mg/m ² /hari)					
	1	2	Rata-Rata	1	2	Rata-Rata
Pagi	6.060	5.581	5.820	8.557	7.482	8.019
Siang	6.149	5.515	5.832	8.607	6.514	7.561
Rata Rata			5.826			7.790

Hasil pengukuran emisi gas rumah kaca harian (GRK) pada di perkebunan kopi rakyat dengan sistem/konvensional menghasilkan nilai fluks N₂O rata rata 0,5888 mg/m²/hari dan fluks CO₂ 7.790 mg/m²/hari (Tabel 2). Hasil perhitungan emisi gas

N₂O dari sistem konvensional sebesar 2,15 kg/ha/tahun (Tabel 3) atau setara 641 kg CO₂-e/ha/tahun. Lahan yang ditanami tanaman kopi berumur 10 tahun menghasilkan emisi N₂O sebesar 1,8 kg N/ha/tahun (Verchot *et al.*, 2006). Hergoualc'h

et al.(2008), menambahkan faktor yang berpengaruh terhadap emisi N₂O tidak hanya dari segi pemupukan nitrogen, tetapi faktor lingkungan dan teknis budidaya juga memberi pengaruh antara lain ketersediaan nutrisi dalam tanah, suhu tanah, kandungan air dalam tanah, manajemen persiapan lahan, dan kondisi iklim sekitar.

Hasil pengukuran emisi GRK pada pagi dan siang hari terdapat perbedaan. Perbedaan tersebut disebabkan perbedaan kondisi lingkungan (suhu dan kelembaban) antara padi dan siang hari. Pada pagi hari rata rata suhu pada lokasi organik lebih rendah dibanding lokasi konvensional. Suhu pada lokasi organik berkisar 15-26 °C sedangkan pada lokasi konvensional suhu berkisar 22-33 °C. Pada siang hari suhu pada lokasi organik lebih tinggi dibandingkan pada lokasi konvensional. Pada lokasi organik berkisar 26-41°C sedangkan pada lokasi konvensional berkisar 21-28 °C. Perbedaan suhu tersebut yang mungkin menjadi penyebab fluks pada lokasi organik lebih besar pada pagi hari sedangkan lokasi konvensional lebih besar pada siang hari.

Total emisi CO₂ tahunan pada sistem konvensional sebesar 21,26 ton/ha/tahun sedangkan pada sistem organik sebesar 28,43 ton/ha/tahun (Tabel 3). Penggunaan pupuk organik dalam kegiatan budidaya di perkebunan kopi mampu mengurangi emisi CO₂ sebesar 25,2 %. Emisi CO₂ dipengaruhi oleh

proses biotik dan abiotik yang berhubungan dengan aktivitas di perakaran tanaman dan respirasi organisme (Berisso et al, 2013). Proses tersebut dipengaruhi oleh iklim mikro setempat. Pemberian bahan organik dalam bentuk matang siap di serap tanaman dapat mengurangi aktivitas mikroba yang berpengaruh terhadap respirasi mikroba. Respirasi mikroba berkaitan erat dengan suhu tanah, dimana suhu tanah berhubungan dengan fluks CO₂ (Javed Iqbal et al, 2009).

Emisi GRK dari lahan perkebunan kopi di dominasi oleh gas CO₂. Kontribusi gas N₂O terhadap total keseluruhan emisi GRK hanya 3 %. Nilai tersebut diperoleh dengan mengkalikan emisi N₂O dengan 298 dan di tambah dengan emisi CO₂ (IPCC, 2006). Potensi pemanasan global/ *Global Warming Potential* (GWP) dari gas N₂O dan CO₂ yang di emisikan berkisar 21,87-29,07 ton CO₂e/ha/tahun dari sistem budidaya yang diterapkan (Tabel 3). Nilai GWP tersebut lebih kecil dibandingkan perkebunan kopi rakyat di NTB. Perkebunan kopi rakyat di NTB menghasilkan GWP sebesar 47 ton CO₂-e/ha/tahun (Pramono, Sadmaka, 2018). Noponen et al. (2013), menyatakan bahwa emisi GRK tertinggi diperoleh dari perlakuan konvensional dibandingkan perlakuan organik pada sistem budidaya kopi. Penggunaan pupuk organik dalam upaya mitigasi gas rumah kaca mampu menurunkan GWP sebesar 24.76 %.

Tabel 3. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan *Global Warming Potential* (GWP) dari dua sistem budidaya pada perkebunan kopi rakyat di NTT

Lokasi	Emisi GRK/ GHG emission		GWP (ton CO ₂ e/ha/tahun)
	N ₂ O (kg/ha/tahun)	CO ₂ (ton/ha/tahun)	
Mitigasi	2,05	21,26	21,87
Konvensional	2,15	28,43	29,07

Keterangan: GWP : (298 x emisi N₂O)+ emisi CO₂

3.2 Cadangan Karbon Dari Lahan Perkebunan Kopi Rakyat

Perhitungan cadangan karbon merupakan salah satu alternatif dalam upaya kegiatan mitigasi di lahan perkebunan untuk mengurangi emisi GRK serta meningkatkan penyerapan CO₂ melalui sekuestrasi karbon tanah dan tanaman. Cadangan karbon merupakan jumlah karbon yang tersimpan dari berbagai bagian. Pengukuran cadangan karbon di

perkebunan kopi dilakukan dari biomassa tanaman/pohon serta tumbuhan bawah. Hasil perhitungan cadangan karbon dari lahan perkebunan kopi pada tumbuhan bawah di lokasi konvensional dan organik tersaji pada Tabel 4 dan Tabel 5. Hasil Perhitungan karbon biomassa tanaman/pohon dengan ukuran sampel plot 4 x 10 m tersaji pada Tabel 6 dan Tabel. 7.

Tabel 4. Berat kering tumbuhan bawah (*understorey*), seresah, dan ranting (dalam plot 1 x 1 m) di lokasi sistem konvensional.

No	Vegetasi	Berat Basah (g)	Sub Contoh Berat Basah (g)	Sub Contoh Berat Kering (g)	Total Berat Kering (g/m ²)	C Tanaman (%)	Cadangan C (kg C/ha)
1	<i>Understorey</i> 1	30	30	15	15	0,49	73,19
2	<i>Understorey</i> 2	170	170	85	85	0,38	321,43
3	<i>Understorey</i> 3	210	210	105	105	0,41	426,04
4	Seresah 1	210	210	105	105	0,48	507,05
5	Seresah 2	90	90	45	45	0,48	216,05
6	Seresah 3	20	20	10	10	0,52	52,09
7	Ranting 1	200	200	100	100	0,45	450,1
8	Ranting 2	80	80	40	40	0,46	183,8
9	Ranting 3	50	50	25	25	0,47	116,55
		Total			530	4,13	2.346

Tabel 5. Berat kering tumbuhan bawah (*understorey*), seresah, dan ranting (dalam plot 1 x 1 m) di lokasi sistem organik

No.	Vegetasi	Berat Basah	Sub Contoh Berat Basah (g)	Sub Contoh Berat Kering (g)	Total Berat Kering (g/m ²)	C Tanaman (%)	Cadangan C (kg C/ha)
1	<i>Understorey</i> 1	130	130	65	65	0,38	247,2
2	<i>Understorey</i> 2	110	110	55	55	0,40	222,3
3	<i>Understorey</i> 3	110	110	55	55	0,41	223,7
4	Seresah 1	20	20	10	10	0,50	50,1
5	Seresah 2	20	20	10	10	0,49	49,9
6	Seresah 3	10	10	5	5	0,52	26,0
7	Ranting 1	60	60	30	30	0,46	137,4
8	Ranting 2	60	60	30	30	0,46	136,9
9	Ranting 3	10	10	5	5	0,45	22,49
Total					265	4,08	1.116

Tabel 6. Cadangan karbon pada biomasa tanaman/pohon (dalam plot berukuran 4 m x 10 m) pada lokasi konvensional.

No	Nama Pohon	Keliling Pohon (cm)	Tinggi Pohon (cm)	Diameter Pohon (cm)	Berat Jenis tanaman (ρ) (g/cm ³)	Berat Kering (Kg/pohon)/	C-Tanaman (Kg C/Pohon)
1	Pisang	46	350	14,65		7,816	3,595
2	Pisang	47,5	380	15,13		8,350	3,841
3	Ampupu	25	170	7,96	0,89	22,461	10,332
4	Sengon	183	257	58,28	0,55	2555,180	1175,383
5	Kopi	10,5	310	3,34		3,378	1,554
6	Kopi	7,11	315	2,26		1,513	0,696
7	Kopi	14,5	170	4,62		6,568	3,021
8	Kopi	14,5	380	4,62		6,568	3,021
9	Kopi	15,5	410	4,94		7,536	3,466
10	Kopi	6,11	315	1,95		1,107	0,509
11	Kopi	13,5	170	4,30		5,669	2,608
12	Kopi	18,5	600	5,89		10,849	4,991
13	Kopi	15,2	180	4,84		7,238	3,330
14	Kopi	16,2	460	5,16		8,253	3,797
15	Kopi	13,5	570	4,30		5,669	2,608
16	Kopi	14	530	4,46		6,110	2,811
17	Kopi	15,5	550	4,94		7,536	3,466
18	Kopi	15,5	610	4,94		7,536	3,466
19	Kopi	22,5	510	7,17		16,238	7,469
20	Kopi	16	460	5,10		8,045	3,701
21	Kopi	11	140	3,50		3,718	1,710
22	Kopi	11,5	470	3,66		4,074	1,874
23	Kopi	12,5	520	3,98		4,838	2,225
24	Kopi	18,5	460	5,89		10,849	4,991
25	Kopi	19	2010	6,05		11,462	5,273
26	Kopi	4,1	230	1,31		0,487	0,224
27	Kopi	10,5	140	3,34		3,378	1,554
28	Kopi	17,5	160	5,57		9,676	4,451
29	Kopi	14,5	120	4,62		6,568	3,021
30	Kopi	19	330	6,05		11,462	5,273
31	Kopi	11,5	420	3,66		4,074	1,874
32	Kopi	16	165	5,10		8,045	3,701
33	Kopi	18	320	5,73		10,254	4,717
34	Kopi	14	330	4,46		6,110	2,811
35	Kopi	14	270	4,46		6,110	2,811
36	Kopi	18,5	180	5,89		10,849	4,991
37	Kopi	21	500	6,69		14,086	6,480
38	Kopi	16	210	5,10		8,045	3,701
39	Kopi	26	3	8,28		21,871	10,061
40	Kopi	14	175	4,46		6,110	2,811
41	Kopi	15	140	4,78		7,043	3,240
42	Kopi	14	135	4,46		6,110	2,811
43	Kopi	16	410	5,10		8,045	3,701
44	Kopi	15,5	165	4,94		7,536	3,466
Total (kg C/Pohon)							1331,435
Total (kg C /ha)							332.858

Keterangan : Total C (kg/ha) : Total C (kg/pohon) * 10.000 m²/luas pengambilan sampel (m²)

Tabel 7. Cadangan karbon pada biomasa tanaman/pohon (dalam plot berukuran 4 m x 10 m) Pada Lokasi Sistem Organik

No	Nama Pohon	Keliling Pohon (cm)	Tinggi Pohon (cm)	Diameter Pohon (cm)	Berat Jenis tanaman (ρ) (g/cm ³)	Berat Kering (Kg/pohon)	C-Tanaman (Kg C/Pohon)
1	Sengon	104	250	33,121	0,55	546,99	251,62
2	Sengon	77	200	24,522	0,55	233,57	107,44
3	Kopi	9	150	2,866		2,459	1,131
4	Kopi	6,2	130	1,975		1,141	0,525
5	Kopi	12	150	3,822		4,448	2,046
6	Kopi	12	130	3,822		4,448	2,046
7	Kopi	13	130	4,140		5,245	2,413
8	Kopi	6,5	120	2,070		1,258	0,579
9	Kopi	16	160	5,096		8,045	3,701
10	Kopi	16	130	5,096		8,045	3,701
11	Kopi	14	130	4,459		6,110	2,811
12	Kopi	10	140	3,185		3,055	1,405
13	Kopi	6,5	115	2,070		1,258	0,579
14	Kopi	5,7	120	1,815		0,960	0,441
15	Kopi	3,2	130	1,019		0,292	0,134
16	Kopi	5,1	160	1,624		0,763	0,351
17	Kopi	4	140	1,274		0,463	0,213
18	Kopi	17,5	130	5,573		9,676	4,451
19	Kopi	12	120	3,822		4,448	2,046
20	Kopi	10,1	150	3,217		3,118	1,434
21	Kopi	16	130	5,096		8,045	3,701
22	Kopi	18,5	130	5,892		10,849	4,991
23	Kopi	18	130	5,732		10,254	4,717
24	Kopi	4	130	1,274		0,463	0,213
25	Kopi	6,5	170	2,070		1,258	0,579
26	Kopi	7	145	2,229		1,465	0,674
27	Kopi	5,3	170	1,688		0,826	0,380
28	Kopi	3,6	230	1,146		0,372	0,171
29	Kopi	5,5	140	1,752		0,892	0,410
30	Kopi	8	132	2,548		1,929	0,887
31	Kopi	8	165	2,548		1,929	0,887
32	Kopi	8	115	2,548		1,929	0,887
33	Kopi	9,5	150	3,025		2,749	1,264
34	Kopi	8	150	2,548		1,929	0,887
35	Kopi	6,5	150	2,070		1,258	0,579
36	Kopi	17,5	160	5,573		9,676	4,451
37	Kopi	12	180	3,822		4,448	2,046
Total (kg C/ Pohon)							416,79
Total (kg C/ha)							104.198

Keterangan : Total C (kg/ha) : Total C (kg/pohon) * 10.000 m²/luas pengambilan sampel (m²)

Tabel 8. Cadangan Karbon, *Global Warming Potential* (GWP) dan Serapan Karbon dari 2 sistem budidaya pada perkebunan kopi rakyat di NTT

Lokasi	Cadangan Carbon (ton C/ha)		Total Cadangan Karbon (ton CO ₂ e/ ha)	GWP (ton CO ₂ e /ha/thn)	Serapan Karbon (ton CO ₂ e/ ha)
	Biomassa Tanaman	Understorey			
Organik	104,20	1,116	382,06	21,87	360,19
Konvensional	332,86	2,346	1220,49	29,07	1191,42

Keterangan: Total Cadangan Karbon : Total C/ha x 44/12 CO₂e/ ha

Cadangan karbon dari tumbuhan bawah (*understorey*), seresah dan ranting pada lokasi sistem konvensional sebesar 2.346 kg C/ha (2,3 Mg C/ha) (Tabel 4), dan pada lokasi sistem organik sebesar 1.116 kg C/ha (1,1 Mg C/ha) (Tabel 5). Hasil perhitungan tersebut sesuai dengan cadangan karbon yang dihasilkan seresah pada perkebunan kopi rakyat di kecamatan Sumberbaru dan Silo Provinsi Jawa Timur yang berkisar 1,03-2,95 Mg/ha (Wibawa *et al*, 2010). Cadangan karbon juga dilakukan pada biomassa tanaman atau pohon pada lokasi konvensional sebesar 332.858 kg C/ha (332,86 Mg C/ha) (Tabel 6). Pada lokasi organik cadangan karbon dari biomassa tanaman/pohon sebesar 104.198 kg C/ha (104,2 Mg C/ha) (Tabel 7). Simpanan karbon pada kopi Arabika sebesar 22,02 Mg/ha Cadangan

karbon pada lokasi dengan sistem konvensional lebih besar dibandingkan pada lokasi dengan sistem organik. Cadangan karbon pada perkebunan kopi dipengaruhi oleh tipe pengelolaan kebun termasuk pemilihan jenis dan kerapatan pohon penayang, umur kebun, pemupukan dan penyiangan (Hairiah dan Rahayu, 2010).

Cadangan karbon pada kegiatan budidaya tanaman kopi di lokasi penelitian sebesar 382,06 ton CO₂e/ ha pada lokasi organik serta 1220,49 ton CO₂e/ ha pada lokasi konvensional (Tabel 8). Pada lokasi konvensional memiliki umur tanaman 15 tahun sedangkan pada lokasi organik yang memiliki umur tanaman 6 tahun. Umur tanaman mempunyai pengaruh terhadap diameter tanaman yang akan berpengaruh terhadap berat kering biomassa

tanaman. Cadangan karbon pada agroforestri kopi tua sebesar 63,69, sedangkan cadangan karbon pada agroforestri muda sebesar 27,92 ton C/ha (Rochmayanto et al, 2014). Pramono dan Sadmaka (2018) menambahkan perkebunan kopi rakyat yang berumur kurang dari 10 tahun menyimpan cadangan karbon sebesar 91,4 ton C/ha.

Beragamnya jenis tanaman yang terdapat pada lokasi penelitian menunjukkan petani sudah menerapkan budidaya secara agroforestri. Terdapatnya tanaman tahunan sebagai penyangga juga memberi kontribusi terhadap cadangan karbon yang dihasilkan dari suatu lahan. Kontribusi tanaman penyangga kopi mencapai 83% dari total cadangan karbon (bagian atas tanah) pada sistem agroforestri multistrata dan sekitar 76% untuk agroforestri sederhana, sedangkan dari pohon kopi sekitar 17-24% (Hairiah dan Rahayu, 2010). Beberapa wilayah di Indonesia, cadangan karbon pada agroforestri multistrata berbasis kopi sebesar 43 Mg/h, agroforestri sederhana (naungan tunggal) berbasis kopi pada lahan milik masyarakat rata-rata 23 Mg/ha dan 38 Mg/ha diperoleh pada lahan percobaan. Sedang cadangan karbon lahan kopi monokultur sekitar 13 Mg/ha. Laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri multistrata berbasis kopi adalah 0,9 - 1,86 Mg/ha/th dan agroforestri sederhana (milik masyarakat) rata-rata 0,6 - 0,97 Mg/ha/th dan 2,8 Mg/ha/th di kebun percobaan. Sedang pada lahan kopi monokultur hanya sekitar 0,5 Mg/ha. Dengan demikian time averaged C stock agroforestri kopi diestimasi sekitar 41 Mg/ha, sedang lahan kopi monokultur hanya sekitar 12,5 Mg/ha (Hairiah dan Rahayu, 2010).

Kemampuan tanaman dalam menyerap karbon menunjukkan bahwa tanaman tersebut efektif dan aktif dalam melakukan kegiatan fotosintesis. Serapan karbon diperoleh dari pengurangan emisi GRK dengan cadangan karbon dari suatu lahan. Perkebunan kopi rakyat dengan sistem organik menyerap karbon sebesar 360,19 ton CO₂e/ha, sedangkan pada perkebunan kopi rakyat dengan sistem konvensional menyerap karbon sebesar 1191,42 ton CO₂e/ha (Tabel 8). Terdapatnya tanaman penyangga berjenis tanaman tahunan (sengon, ampupu dan albesia) pada lokasi sistem organik dan konvensional mampu meningkatkan serapan karbon pada suatu lahan. Serapan karbon dari suatu lokasi bergantung jenis tanaman naungan dan pengelolaan pohon untuk menghasilkan sekuestrasi karbon yang tinggi. Serapan karbon pada lokasi yang mempunyai naungan tanaman tahunan akan menghasilkan serapan karbon yang lebih tinggi (Hergoualc'h et al. 2008; Noponen et al., 2013). Hairiah dan Rahayu (2010) menambahkan biomassa pohon penyangga kopi menyumbang 40-70% total cadangan karbon pada

lahan agroforestri multistrata. Wibawa et al (2010) menambahkan sistem agroforestri pada tanaman kopi menambah serapan karbon mencapai 19 Mg/ha.

Perhitungan jejak karbon pada suatu lahan berguna untuk mengetahui apakah cara budidaya yang diterapkan meningkatkan atau mengurangi karbon. Jejak karbon pada tingkat produksi kopi untuk 1 kg kopi segar 0,05 kg CO₂-e, 0,24 kg CO₂-e 0,54 kg CO₂-e untuk kategori rendah, sedang dan tinggi (Maina et al, 2015). Jejak karbon untuk menghasilkan 1 kg kopi berkisar 1,77 - 3,05 kg CO₂-e (Killian et al, 2013). Hasil penelitian Noponen et al (2013) menyatakan jejak karbon pada kegiatan budidaya konvensional berkisar 0,26-0,67 kg CO₂e dan pada kegiatan budidaya organik berkisar 0,12-0,52 kg CO₂e. Kegiatan budidaya organik menghasilkan jejak karbon yang lebih rendah.

Pengelolaan perkebunan kopi dengan menggunakan sistem organik mampu menurunkan emisi GRK. Penggunaan bahan organik mampu mengurangi emisi N₂O yang dihasilkan suatu lahan. Terdapatnya beragam jenis tanaman penyangga pada budidaya organik maupun konvensional menunjukkan sistem perkebunan rakyat di NTT dilaksanakan dengan sistem agroforestri. Pengelolaan tanaman kopi dengan sistem agroforestri/ ada tanaman penyangga mampu meningkatkan cadangan karbon dan serapan karbon. Serapan karbon pada lokasi penelitian berkisar 98-325 ton C/ha. Serapan karbon tersebut lebih besar dibanding dengan serapan karbon di perkebunan kopi rakyat di NTB. Besarnya cadangan karbon 91,4 ton C/ha (Pramono dan Sadmaka, 2018). Pengelolaan perkebunan secara organik dengan tanaman tahunan sebagai penyangga (Agroforestri) merupakan kegiatan ramah lingkungan sebagai upaya mitigasi gas rumah kaca.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penerapan budidaya dengan sistem organik pada perkebunan kopi mampu menurunkan GWP sebesar 24,77 % dibandingkan pada lokasi konvensional. Sistem budidaya perkebunan kopi rakyat di NTT sudah dilaksanakan dengan sistem agroforestri. Keragaman jenis tanaman penyangga, umur tanaman yang lebih tua dan sistem budidaya menghasilkan sistem budidaya konvensional menghasilkan cadangan karbon dan serapan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan sistem organik

Penggunaan bahan organik serta tanaman penyangga dengan sistem agroforestri pada budidaya kopi rakyat perlu ditingkatkan karena mampu menurunkan emisi gas rumah kaca dan menaikkan cadangan karbon. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data untuk penyuluhan kepada petani untuk

mau menggunakan bahan organik dan sistem budidaya agroforestri pada lahan perkebunan kopi milik petani sebagai upaya untuk mitigasi terhadap perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Bale J, Masters GJ, Hodkinson ID, Awmack C, et al. (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob Change Biol* 8: 1–16.
- Berisso FE, P Schjønning, T Keller, M Lamandé, A Simojoki, BV Iversen, L Alakukku & J Forkman (2013). Gas transport and subsoil pore characteristics: anisotropy and long-term effects of compaction. *Geoderma* 195–196, 184–191.
- Bisang, B.W., F. Jansen., K. Linne., T. Nguyen., H. Wals. 2016. Climate Change And Vietnamese Coffee Production (Manual On Climate Change Adaptation And Mitigation In The Coffee Sector For Local Trainers and Coffee Farmers). Implementing Agent Coffe Climate Care (C3) : 46p
- Cerdan, C.R., M.C. Rebolledo., G.Soto., B. Rapidel., and F.L Sinclair. 2012. Lokal Knowledge of Impact of Tree Cover on Ecosystem Services in Smallholder Coffe Production System. *Journal Agricultural System* 111: 119-130 p.
- Fain, S.J., M. Quinones., L. Nora., A. Berroz., K. Isabel., P. Ramos., and W.A. Gould. 2017. Climate Change and Coffe: Assessing Vulnerability by Modelling Future Climate Suitability in the Caribbean Island of Puerto Rico. *Climatic Change*: 12p. DOI 10.1007/s10584-017-1949-5
- Graham RF, SE Wortman & CM Pittelkow (2017). Comparison of organic and integrated nutrient management strategies for reducing soil N₂O emissions. *Sustainability* 9, 510; doi:10.3390/su9040510www.mdpi.com/journal/sustainability.
- Groenen, Danielle. 2018. The Effect of Climate Change on the Pest and Disease of Coffe Crops in Mesoamerica. *Journal of Climatology & Weather Forecasting* 6(3): 5p. DOI: 10.4172/2332-2594.1000239
- Hairiah K & S Rahayu (2007). Pengukuran 'karbon tersimpan' di berbagai macam penggunaan lahan. Bogor. World. Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77 p. 979-3198-35-4.
- Hairiah, K dan S. Rahayu. 2010. Mitigasi Perubahan Iklim: *Agroforestry* kopi untuk mempertahankan cadangan karbon lanskap. Simposium Kopi: 31 hal.
- Hairiah, K., S. Dewi, F. Agus, S. Velarde, A. Ekadinata, S. Rahayu, and M. van Noordwijk, 2011, Measuring Carbon Stock Across Land Use Systems: A manual, World Agroforestry Centre, ICRAFSEA Asia Regional Office, Bogor, 154 pp.
- Houghton, R, A., J, D, Unruh, and P, A, Lefebvre (1993), Current land cover in the tropics and its potential for sequestering carbon, *Global Biogeochem, Cycles*, 7: 305–320.
- Hergoualc'h, K., 2008. Soil Greenhouse Gases Emissions and Carbon Storage in Coffee Plantations on Andosols in Tropical Climate. CATIE/CIRAD Costa Rica/ Montpellier, PhD Thesis, 229 p.
- IAEA-International Atomic Energy Agency 1992. 1992. "Manual on Measurement of Methane." *Manual on Measurement ofMethane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural*.52.https://inis.iaea.org/collection/NCLC ollectionStore/_Public/24/019/24019160.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2000), Land Use, Land-Use Change, and Forestry: 2000 Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by R, T, Watson et al., Cambridge Univ, Press, New York.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part a: Global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Report.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme, In Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (Eds.). IPCC National Greenhouse Gas Inventory Programme, Published by IGES
- Jaramillo, J., E. Muchugu., F.E. Vega., A. Davis., C. Borgemeister., A.C. Olaye. 2011. Some Like It Hot : The Influence and Implication of Climate Change on Coffe Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) and Coffe Production in East Africa. *PLoS ONE* 6 (9) : 14p
- Jaramillo, SE., Osario A, dan Coreea GA. 2017. Emission and Fixation of greenhouse gases in potential specialty coffee production zones in Antiquia-Colombia. *Rev.Fac.Nac.Agron* 70(3): 8341-8349p
- Javed, I., R.Hu., S. Lin, R. Hatano, M.Feng , L. Lu, B. Ahamadoau, and L. Du. 2009. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (ultisol) as affect by straw and N-Fertilizer application : A case study in SOutthertn China. *Agricultural, Ecosytem and Environment* 131 : 292-302.
- Kementan (Kementerian Pertanian). 2015. Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2015-2019. Sekretariat Jenderal, Kemenratiena Pertanian. 339 hlm.
- Kilian, B., L. Rivena., M. Soto and D. Navichoc. 2013. Carbon footprint across the coffe supply chain: the case of Costa Rican coffee. *Journal of Agricultural Science and Technologi B* (3): 151-170p.
- Maina, JJ., UN Mutwiwa., GM Kituu and M. Githiru. 2015. Evaluatioan of greenhouse gas emission along teh small-holder coffe supply chain in Kenya. *Journal of Sustainable Research in Engineering* 2(4): 111-120p.
- Minamikawa, K., T.Tokida., S. Sudo., A. Padre., K. Yagi., P. Setyanto., TD Hoa., A Chidthaisong., EB Sibayan., Y Takata., dan T Yamaguchi. Guidelines for Measuring CH₄ and N₂O Emissions from Rice Paddies by a Manually Operated Closed Chamber Methode (version1). National Institute for Agro Environmental Science. Japan. 80p.
- Noponen, M.R.A., J.P. Haggar., G. E. Jones., and J. R. Healey. 2013. Intensification of Coffe System Can Increase The

- Effectiveness of REDD Mechanisms. *Agricultural System* 119 : 1-9p
- Peng S, S Piao, T Wang, T Sun & Shen Z (2009). Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems in China. *Soil Biol Biochem* 41(5): 1008–1014p.
- Pramono, A dan Sadmaka. 2018. Emisi Gas Rumah Kaca, Cadangan Karbon, serta Strategi Adaptasi dan Mitigasi pada Perkebunan Kopi Rakyat di Nusa Tenggara Barat. *Menara Perkebunan* 86(2):62-71.
- Prasetyo, SB., N. Aini dan D. Maghfoer. 2017. Dampak Perubahan Iklim terhadap Produktivitas Kopi Robusta di Kabupaten Malang. *Jurnal produksi Tanaman* 5(5): 805-811.
- Pusdatin. 2017. Statistik Pertanian, Kementerian Pertanian, 408 hal
- Rachawat, T., Chiarakorn, S., Chidthaisong, A. 2015. Greenhouse gas Emission of Robusta Coffe Plantation in Thailand. *The Asian Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2015 Official Conference Proceedings*. 8p
- Rochmayanto, Y., A. Wibowo., M. Lugina., T. Butarbutar., RM. Mulyadin., dan D. Wicaksono. 2014. Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia (Seri 2). Kanisius. Yogyakarta. 108 hal.
- Sevenster, M and J Verhagen. 2010. GHG Emission of green coffe production: Toward standart metodologi for carbon footprinting. CE Delft. 47 p.
- Syakir, M dan E. Surmaini. 2017. Perubahan iklim dalam konteks system produksi dan pengembangan kopi di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian* 36(2): 77-90.
- United Nations Development Programme (UNDP). 2005. *Adaptation Policy Framework for Climate Change*.
- Verchot, L,V,, L. Hutabarat,, K. Hairiah,, and M. Van Noordwijk, 2006, Nitrogen Availability and Soil N2O Emission Following Conversion of Forest to Coffe in Southern Sumatra, *Global Biogeochemical Cycle* 20, GB4008
- Wibawa, A., F. Yuliasmara dan R. Erwiyono. 2010. Estimasi Cadangan Karbon pada Perkebunan Kopi di Jawa Timur. *Pelita Perkebunan* 26: 1-11.
- Widayat, HP., A. Anhar., dan A. Baihaqi. 2015. Dampak Perubahan iklim terhadap Produksi, Kualitas Hasil serta Pendapatan Petani Kopi Arabika di Aceh Tengah. *Agrisep* 16(2):8-16