

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 8, Nomor 1, Maret 2021

**EMISI GAS RUMAH KACA DAN CADANGAN KARBON PADA PERKEBUNAN
KOPI ORGANIK DAN KONVENSIONAL DI KABUPATEN BADUNG, BALI**

**GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND CARBON STOCK IN ORGANIC AND CONVENTIONAL
COFFEE PLANTATION AT BADUNG REGENCY, BALI**

* Ika Ferry Yunianti¹, I.D.A. Yona Aprianthina², Rina Kartikawati¹, Eni Yulianingsih¹

¹⁾ **Balai Penelitian Lingkungan Pertanian**

Jalan Raya Jakenan-Jaken Km. 05, Jaken, Pati, Jawa Tengah

²⁾ **Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Bali**

Jalan Raya WR Supratman No.71 Denpasar, Bali

* ikkaferry@yahoo.co.id

(Tanggal diterima: 7 September 2020, direvisi: 25 Januari 2021, disetujui terbit: 30 Februari 2021)

ABSTRAK

Kopi merupakan komoditas penting dalam perekonomian nasional. Budidaya kopi saat ini dihadapkan pada ancaman perubahan iklim akibat peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi. Perkebunan organik dinilai dapat meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman, menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK), dan meningkatkan serapan karbon secara efektif dibanding perkebunan konvensional. Tujuan penelitian adalah mengestimasi emisi GRK dan cadangan karbon pada perkebunan kopi organik dan konvensional di Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Penelitian dilaksanakan di perkebunan kopi rakyat di Kabupaten Badung, Provinsi Bali, dan analisis dilakukan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati, Provinsi Jawa Tengah, pada bulan Juli 2018. Penelitian menggunakan metode survey dengan cara pengambilan contoh menggunakan metode *purposive sampling* di perkebunan kopi yang dikelola secara organik dan konvensional. Pengukuran emisi GRK dilakukan dengan metode *close chamber*, sedangkan pengukuran cadangan karbon dilakukan dengan metode *non destructive* untuk biomassa tanaman kopi dan penutup, dan *destructive* untuk biomassa tanaman bawah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkebunan kopi organik dan konvensional masing-masing mengemisikan GRK 20,71 dan 39,75 ton CO₂e/ha, serta menyimpan karbon 248,27 dan 288,31 ton CO₂e/ha. Perbedaan emisi dan cadangan karbon antara lain disebabkan oleh perbedaan cara pengelolaan dan keragaman jenis tanaman. Peningkatan perbaikan sistem pengelolaan perkebunan kopi organik perlu diupayakan untuk mendukung penanganan dampak perubahan iklim di Provinsi Bali.

Kata kunci: Cadangan karbon; emisi gas rumah kaca; perkebunan kopi konvensional; perkebunan kopi organik

ABSTRACT

Coffee is a commodity that has an important role in the national economy. Currently, coffee cultivation is threatened by climate change caused by global warming due to increased green house gas (GHG) emissions. The organic plantation model is a farming model that is considered to increase soil and crop productivity, reduce GHG emissions, and increase carbon sequestration effectively. The study was aimed to estimate GHG emissions and carbon stocks in organic and conventional coffee plantations in Badung Regency, Bali Province and Laboratory in Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Pati, Jawa Tengah Province, in July 2018. The study was conducted in smallholder coffee plantations in Badung Regency and the analysis was carried out at Laboratory of Indonesian Agricultural Environment Research Institute. This study used a survey method, while the sampling used a *purposive sampling* method in organic and conventional coffee plantation. GHG emissions measurement was carried out with a *close chamber* method

by simultaneously the carbon stocks measurement was carried out with the non-destructive method for plant biomass and destructive for understorey. The results showed that organic and conventional coffee plantations emitted GHG by 20.71 and 39.75 ton CO₂e ha⁻¹ and stored carbon stock by 227.56 and 288.31 ton CO₂e ha⁻¹, respectively. The differences in GHG emissions and carbon stocks are partly due to differences in management system and the diversity of plant. The management system of the organic coffee plantation should be improved to support handling of the impacts of climate change in Bali Province.

Keywords: Carbon stock; conventional coffee plantation; greenhouse gas emission; organic coffee plantation

PENDAHULUAN

Fenomena perubahan iklim saat ini sedang menjadi perhatian serius masyarakat global, salah satu bukti nyata dari adanya perubahan iklim adalah terjadinya peningkatan suhu permukaan bumi. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap perubahan iklim. Peningkatan emisi GRK terbesar dihasilkan dari sektor alih fungsi lahan dan kehutanan (53%), kemudian diikuti oleh sektor energi (33%), sektor pertanian (6%), dan pengelolaan limbah (5%) (KLHK, 2017). Sektor pertanian berkontribusi melepaskan GRK seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Dalam konteks perubahan iklim, sektor pertanian mempunyai peran strategis karena sektor pertanian dapat berperan sebagai sumber sekaligus rosot GRK (Surmaini *et al.*, 2011). Sektor pertanian berkontribusi terhadap emisi GRK melalui berbagai praktek budidaya pertanian dan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kaidah konservasi. Akan tetapi, di sisi lain sektor pertanian juga berpotensi dalam mengurangi emisi GRK melalui upaya-upaya adaptasi dan mitigasi.

Tanaman kopi merupakan komoditas perkebunan yang memiliki peran penting bagi perekonomian nasional karena menyumbang devisa negara dari hasil ekspor ke berbagai negara. Luas areal perkebunan kopi di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 1.241,5 ribu ha yang terdiri dari 47,9 ribu ha perkebunan kopi besar dan 1.193,6 ribu ton perkebunan kopi rakyat dengan total produksi 722,5 ribu ton (BPS, 2019). Bali merupakan provinsi yang mempunyai areal perkebunan kopi yang cukup luas, yaitu 35,2 ribu ha dengan total produksi 15,4 ribu ton (BPS Bali, 2019). Namun keberadaan dan pengembangan tanaman kopi di Bali saat ini dihadapkan pada berbagai kendala, diantaranya adalah ancaman perubahan iklim. Tanaman kopi sangat tergantung pada perubahan lingkungan (Cheserek & Gichimu, 2012), terutama oleh variasi fotoperiodik, distribusi curah hujan, dan suhu udara (de Camargo, 2010). Perubahan iklim dapat menyebabkan menurunnya kuantitas produksi dan kualitas biji kopi (Yuliasmara, 2019).

Penerapan sistem pertanian konvensional pada budidaya kopi dengan input pupuk anorganik, fungisida, herbisida, dan insektisida yang tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Noponen *et al.*, 2012). Pertanian organik memiliki efek lingkungan yang konservatif karena emisi karbonnya rendah (Trinh *et al.*, 2020). Menurut Wani *et al.* (2013), pertanian organik berpotensi dalam mengurangi emisi GRK dan meningkatkan serapan karbon dalam tanah melalui pemanfaatan bahan organik. Pemanfaatan bahan organik dalam jangka panjang berperan terhadap peningkatan simpanan karbon yang bersifat stabil yaitu dalam bentuk humus (Dariah, 2013). Budidaya tanaman kopi yang dapat menurunkan emisi GRK, mempertahankan kualitas lingkungan, dan meningkatkan produktivitas serta kualitas kopi secara berkelanjutan merupakan prioritas utama yang perlu dilakukan. Pengembangan sistem pertanian organik berbasis komoditas kopi di Bali sudah dilakukan petani sejak tahun 2014 melalui integrasi tanaman dan ternak. Setidaknya terdapat 18 kelompok tani yang sudah menerapkan sistem integrasi tanaman kopi dan ternak sapi dengan total luas lahan ± 550 ha. Sistem ini merupakan sistem tertutup agar karbon dapat dimanfaatkan secara efektif dan tidak terlepas ke atmosfer (Wihardjaka *et al.*, 2020). Tanaman menghasilkan hijauan untuk ternak, sedangkan ternak menghasilkan pupuk kandang yang dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Bahan organik berperan menurunkan defisit kejenuhan air daun kopi hingga 10%, meningkatkan kadar air tanah 2,5%–4,7%, serta meningkatkan kuantitas buah kopi per pohon 24,26%–72,78% (Pujiyanto, 2011).

Tanaman dan tanah mempunyai peran yang sangat penting dalam perubahan iklim, yaitu sebagai penyimpan karbon. Tanaman menyerap gas CO₂ melalui proses fotosintesis kemudian menyimpannya dalam bentuk biomassa (Yunita, 2016). Tanah mengakumulasi karbon dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan biomassa tanaman (Asbur & Ariyanti, 2017). Penerapan sistem pertanian organik melalui sistem integrasi tanaman dan ternak perlu dikembangkan mengingat teknologi ini bersifat spesifik lokasi sehingga mudah diadopsi oleh petani setempat, selain itu juga berpeluang dalam menurunkan emisi

GRK dan meningkatkan cadangan karbon tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Penelitian bertujuan mengestimasi emisi GRK dan cadangan karbon pada perkebunan kopi organik dan konvensional di Kabupaten Badung, Provinsi Bali.

BAHAN DAN METODE

Pengukuran emisi GRK dan cadangan karbon dilaksanakan pada bulan Juli 2018 di perkebunan kopi rakyat yang berada di Desa Pelaga, Kecamatan Petang, Kabupaten Badung, Provinsi Bali (Gambar 1), sedangkan analisis contoh GRK dan biomassa tanaman dilaksanakan di Laboratorium Balai Penelitian Lingkungan Pertanian yang berada di Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah.

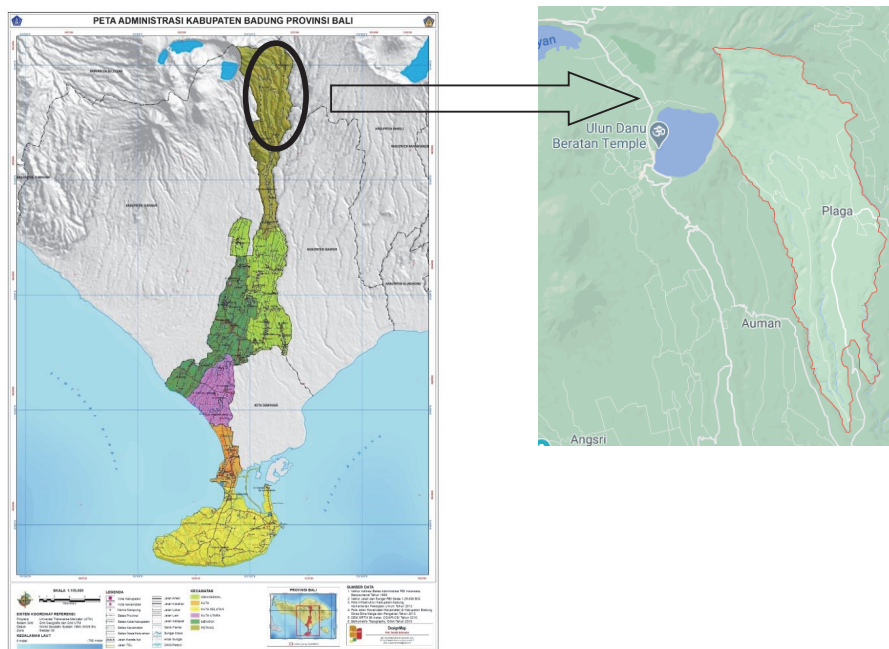
Desa Pelaga merupakan salah satu desa dengan luas perkebunan kopi terbesar di Kabupaten Badung, yaitu sekitar 6.301 ha dan produksinya sebesar 1.071 ton (BPS, 2018). Wilayah ini mempunyai topografi berupa perbukitan dengan ketinggian 500–1000 mdpl (di atas permukaan laut) dan tingkat kemiringan lereng 30%–70%. Jenis tanah yang terdapat di wilayah ini didominasi oleh Regosol dan Latosol dengan tingkat kesuburan yang cukup subur. Tanaman kopi yang dibudidayakan oleh petani adalah jenis kopi Arabika. Perkebunan kopi organik diusahakan oleh petani dengan cara memanfaatkan pupuk kandang dari kotoran ternak sapi sebagai bahan organik, sedangkan perkebunan kopi

konvensional diusahakan dengan masih menggunakan input pupuk anorganik. Tanaman penayang yang terdapat pada perkebunan kopi organik antara lain lamtoro dan duren, sedangkan tanaman penayang yang terdapat pada perkebunan kopi konvensional antara lain lamtoro, gamal dan pisang.

Penelitian ini menggunakan metode survei. Cara pengambilan contoh GRK dan biomassa tanaman dilakukan dengan metode *purposive sampling*, yaitu dengan menentukan satu lokasi perkebunan kopi organik dan satu lokasi perkebunan kopi konvensional milik petani yang masing-masing mempunyai luasan $\pm 1000 \text{ m}^2$. Pengambilan data dilakukan pada masing-masing perkebunan dengan cara membuat plot berukuran 40 m x 5 m, selanjutnya dalam plot tersebut ditentukan 6 titik secara acak untuk pengambilan contoh GRK dan biomassa tanaman.

Pengukuran Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

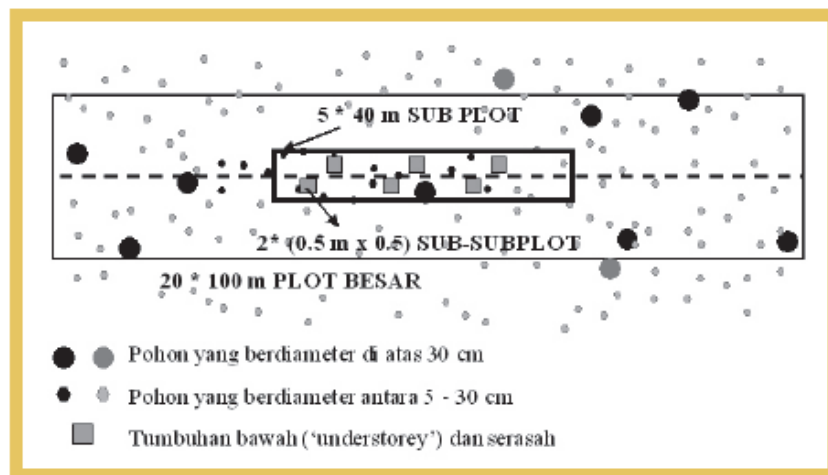
Alat yang digunakan untuk pengambilan contoh GRK antara lain sungkup tertutup (Gambar 2) dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi yaitu 40 cm x 20 cm x 20 cm, penampang sungkup, termometer, jarum suntik ukuran 20 ml, dan vial ukuran 10 ml. Alat yang digunakan untuk pengambilan contoh biomassa tanaman antara lain meteran, tali rafia, timbangan cangkul, gunting tanaman, dan kantong plastik. Alat yang digunakan untuk analisis GRK adalah *Gas Chromatography* dan *CN Analyzer* untuk analisis total C dan N dari biomassa tanaman.



Gambar 1. Lokasi pengukuran gas rumah kaca dan cadangan karbon
Figure 1. Location for measuring greenhouse gases and carbon stocks



Gambar 2. Sungkup tertutup (kiri) dan penampang sungkup (kanan)
Figure 2. Close chamber (left) and the chamber base (right)



Gambar 3. Sub-plot contoh pengukuran
Figure 3. Sub-plot of measurement samples

Pengambilan contoh GRK dilakukan dengan metode sungkup tertutup atau *close chamber* (Minamikawa *et al.*, 2015). Penampang sungkup dipasang sehari sebelum pengambilan contoh GRK. Sampling GRK dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada tanggal 11 dan 16 Juli 2018. Pengambilan contoh GRK dilakukan pada pagi hari pukul 06.00-08.00 WITA dan siang hari pukul 12.00-14.00 WITA dengan interval waktu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Contoh GRK selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis. Emisi GRK dihitung menggunakan persamaan (IAEA, 1992):

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{273,2+T} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

E = emisi GRK (mg/m²/hari)
dc/dt = perbedaan konsentrasi GRK per waktu (ppm/menit)

V_{ch} = volume sungkup (m³)
A_{ch} = luas dasar sungkup (m²)
mW = berat molekul GRK (g)
mV = tetapan volume molekul (22,41 l)
T = suhu rata-rata selama pengambilan contoh (°C).

Pengukuran Cadangan Karbon

Pengukuran cadangan karbon pada biomassa tanaman dilakukan melalui 3 tahap, yaitu pembuatan plot contoh pengukuran, pengukuran biomassa tanaman kopi dan penaung, dan pengukuran biomassa tumbuhan bawah (*understorey*). Pengukuran biomassa tanaman dilakukan dengan metode tanpa merusak tanaman (*non destructive*), yaitu dengan mencatat nama species tanaman dan mengukur diameter batang setinggi dada (*dbh*) atau ± 130 m dari permukaan tanah untuk tanaman kopi dan tanaman penaung yang berada dalam plot. Pengukuran *dbh* dilakukan pada tanaman berdiameter 5–30 cm, sedangkan tanaman dengan *dbh*

<5 cm dikategorikan sebagai *understorey*. Jika ditemukan tanaman dengan diameter batang >30 cm maka pengukuran dilakukan dengan memperbesar ukuran plot menjadi 100 m x 20 m. Pengukuran biomassa *understorey* dilakukan pada sub plot dengan ukuran 0,5 m x 0,5 m yang terletak di dalam plot berukuran 40 m x 5 m (Gambar 3). Pengukuran dilakukan dengan metode merusak tanaman (*destructive*), yaitu dengan memangkas pada 0 cm di atas permukaan tanah untuk semua tumbuhan bawah yang berdiameter <5 cm, herba, dan rerumputan dalam sub plot. Semua *understorey* yang terdapat dalam sub plot diambil 100–300 gram, kemudian dimasukkan ke dalam kantong contoh untuk dianalisis di laboratorium. Cadangan karbon dihitung menggunakan persamaan allometrik (Hairiah & Rahayu, 2007):

$$\text{Cadangan karbon} = \text{berat kering biomassa} \times 0,46 \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Cadangan karbon} = \text{berat kering biomassa} \times \% \text{ C organik tanaman} \dots \dots \dots (3)$$

Data emisi GRK dianalisis menggunakan metode *independent t-test* untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan rata-rata emisi pada dua sistem perkebunan kopi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Emisi GRK yang diukur pada penelitian ini adalah N₂O dan CO₂. Hasil pengukuran fluks N₂O dan CO₂ pada perkebunan kopi di Kabupaten Badung ditampilkan pada Tabel 1.

Rata-rata fluks N₂O dan CO₂ pada perkebunan kopi konvensional lebih tinggi dibanding perkebunan organik. Perkebunan kopi konvensional menghasilkan fluks N₂O 2,81% lebih tinggi dibanding perkebunan organik. Tingginya fluks N₂O pada sistem konvensional dikarenakan petani masih menggunakan pupuk anorganik, khususnya urea dan NPK dalam praktek budidayanya. Sumber emisi N₂O dari tanah utamanya berasal dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi, dimana proses ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan NH₄⁺ dan NO₃⁻, karbon, suhu tanah, dan kadar air (Ponti *et al.*, 2020). Pemberian pupuk N di lahan meningkatkan konsentrasi NH₄⁺ dan NO₃⁻ yang memengaruhi aktivitas mikroba dalam mengemisikan N₂O dan NO. Proses nitrifikasi dianggap sebagai sumber emisi N₂O dan NO pada tanah dalam kondisi aerobik yang dipupuk N (Tian *et al.*, 2020). Li *et al.* (2020) menyampaikan bahwa >60% emisi N₂O dihasilkan dari proses nitrifikasi setelah tujuh hari aplikasi pupuk N.

Tabel 1. Fluks N₂O dan CO₂ pada perkebunan kopi di Kabupaten Badung, Bali
Table 1. N₂O and CO₂ fluxes in coffee plantation at Badung Regency, Bali

Model Perkebunan	Rata-rata fluks (mg/m ² /hari)	
	N ₂ O	CO ₂
Organik	0,656	5,480
Konvensional	0,675	10,689
Nilai peluang (p)	0,949	0,002
Koefisien keragaman (%)	34,600	52,020

Tabel 2. Jumlah emisi gas rumah kaca (GRK) dan *global warming potential* (GWP) pada perkebunan kopi di Kabupaten Badung, Bali
Table 2. Total greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) in coffee plantation at Badung Regency, Bali

Model Perkebunan	Total emisi (ton/ha/tahun)		GWP* (ton CO ₂ e/ha/tahun)
	N ₂ O	CO ₂	
Organik	0,00239	20,00	20,71
Konvensional	0,00246	39,02	39,75

Keterangan: *GWP dihitung menggunakan persamaan $GWP = 298N_2O + 1CO_2$ (IPCC, 2007)

Notes : *GWP is calculated using equations of $GWP = 298N_2O + 1CO_2$ (IPCC, 2007)

Perkebunan kopi konvensional menghasilkan fluks CO₂ 48,73% lebih tinggi dibanding perkebunan organik. Fluks CO₂ dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya ketersediaan N, kualitas substrat, suhu tanah, kelembaban tanah, biomassa akar, biomassa mikroba, dan serasah (Li *et al.*, 2011). Saat ini penggunaan pupuk N meningkat secara signifikan untuk meningkatkan produksi, namun tidak sedikit pula pupuk yang diberikan menjadi tidak efisien dan efektif. Pemberian pupuk N cukup signifikan dalam meningkatkan emisi CO₂ dibanding tanpa pupuk N (Chi *et al.*, 2020; Gon *et al.*, 2012). Lebih lanjut Li *et al.* (2011) menjelaskan bahwa pemberian pupuk N di perkebunan kopi tanpa penanang memacu laju fluks CO₂. Penerapan perkebunan organik dengan memanfaatkan pupuk organik dari kotoran ternak sapi merupakan upaya yang dapat dilakukan petani dalam mitigasi N₂O dan CO₂, serta menjamin keberlanjutan budidaya kopi di Bali.

Global warming potential (GWP) merupakan nilai yang digunakan untuk mengetahui potensi pemanasan global dari GRK selama periode waktu tertentu yang disetarakan dengan nilai potensi CO₂, dimana CH₄ dan N₂O masing-masing memiliki potensi 25 dan 298 kali lebih besar dibanding CO₂ (IPCC, 2007). Meskipun N₂O yang diemisikan ke atmosfer rendah, namun karena memiliki nilai potensi pemanasan yang tinggi maka dapat menyebabkan efek pemanasan global yang lebih tinggi dibanding CO₂ dan CH₄. Total emisi GRK dan GWP yang dihasilkan dari perkebunan kopi di Kabupaten Badung ditampilkan pada Tabel 2. Seperti halnya emisi harian, total emisi N₂O dan CO₂ yang dihasilkan dari perkebunan kopi organik lebih rendah dibandingkan perkebunan kopi konvensional. Total emisi N₂O dari perkebunan kopi organik 2,85% lebih kecil, sedangkan CO₂ 48,74% lebih kecil dibanding perkebunan kopi konvensional. Karbon dioksida sangat penting dalam proses fotosintesis. Peningkatan CO₂ di atmosfer dapat direspon oleh tanaman-tanaman tipe C3 termasuk kopi, baik secara morfologis, fisiologis maupun biokimia (Yuliasmara, 2019).

Nilai GWP yang dihasilkan dari perkebunan kopi organik dan konvensional masing-masing 39,75 dan 20,71 ton CO₂e/ha/tahun. Perkebunan kopi organik mampu menekan GWP sebesar 19,04 ton CO₂e/ha/tahun. Nilai GWP yang dihasilkan dari perkebunan kopi organik ini masih lebih rendah dibanding perkebunan kopi di Kabupaten Pati, Jawa Tengah yaitu sebesar 24,4 ton CO₂e/ha/tahun (Adriany *et al.*, 2019), perkebunan kopi di Kabupaten Ngada,

Nusa Tenggara Timur yaitu sebesar 21,87 ton CO₂e/ha/tahun (Yulianingrum *et al.*, 2020), dan perkebunan kopi di Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat yaitu sebesar 47 ton CO₂e/ha/tahun (Pramono & Sadmaka, 2018).

Cadangan Karbon

Cadangan karbon merupakan jumlah karbon yang tersimpan di berbagai tempat, seperti tanah, biomassa tanaman, dan jaringan tanaman yang mati (Agus *et al.*, 2011; Hairiah *et al.*, 2011). Perkebunan kopi konvensional menghasilkan cadangan karbon pada biomassa tanaman kopi dan penanang 12.144,14 kg C/ha lebih tinggi dibandingkan perkebunan kopi organik (Tabel 3). Tanaman kopi dan tanaman penanang mempunyai peranan penting terhadap cadangan karbon (Yuliasmara, 2019). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jenis dan diameter tanaman yang terdapat pada perkebunan kopi konvensional lebih beragam dibanding perkebunan kopi organik. Besarnya cadangan karbon pada suatu lahan bervariasi, tergantung pada tingkat kesuburan tanah, iklim, elevasi, jenis tanaman, tingkat pertumbuhan tanaman, kerapatan tanaman, tipe penggunaan lahan, dan sistem pengelolaannya (Hairiah *et al.*, 2001; Agus, 2013). Priyadarshini *et al.* (2009) menyampaikan bahwa kontribusi perkebunan kopi terhadap cadangan karbon meningkat seiring dengan meningkatnya umur tanaman kopi.

Pengukuran cadangan karbon juga dilakukan pada *understorey*, serasah, dan nekromas yang terdapat di sekitar tanaman utama. Cadangan karbon pada *understorey*, serasah, dan ranting di perkebunan kopi organik 1.227,42 kg C/ha lebih tinggi dibanding perkebunan kopi konvensional (Tabel 4). Berat kering yang dihasilkan dari *understorey*, serasah, dan nekromas di perkebunan kopi organik lebih besar, sehingga cadangan karbon yang dihasilkan juga lebih tinggi dibanding perkebunan kopi konvensional. Vegetasi dengan tingkat gugur daun yang sangat tinggi berpengaruh terhadap siklus hara karbon. Lamtoro dan sengo menghasilkan serasah dan tumbuhan bawah dalam jumlah yang besar (Yuliasmara *et al.*, 2009). Selain itu, kapasitas penyimpanan karbon pada biomassa juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Rata-rata cadangan karbon pada biomassa menurun sebesar 11,4% akibat intervensi manusia (Wood *et al.*, 2019). Aktivitas seperti penebangan pohon dan perubahan komposisi *understorey* dapat memengaruhi akumulasi karbon melalui kematian akar dan perubahan produksi serasah (de Beenhouwer *et al.*, 2016; Wood *et al.*, 2019).

Tabel 3. Cadangan karbon pada biomassa tanaman kopi dan penabung pada perkebunan kopi di Kabupaten Badung, Bali
Table 3. Carbon stocks of coffee and shading plant biomass in coffee plantations at Badung Regency, Bali

Jenis pohon	Keliling (cm)	Diameter (cm)	ρ (g/cm ³)	Berat kering (kg/pohon)	C-tanaman (kg C/pohon)
.....Perkebunan organik.....					
Lamtoro 1	36	11,46	0,55	36,08	16,60
Lamtoro 2	37	11,78	0,55	38,77	17,83
Lamtoro 3	47	14,97	0,55	72,56	33,38
Lamtoro 4	67	21,34	0,55	183,70	84,50
Lamtoro 5	27	8,60	0,55	16,98	7,81
Lamtoro 6	59	18,79	0,55	131,65	60,56
Lamtoro 7	19	6,05	0,55	6,76	3,11
Duren 1	23	7,32	0,64	12,98	5,97
Duren 2	22	7,01	0,64	11,55	5,32
Kopi 1	23	7,32	-	16,99	7,82
Kopi 2	29	9,24	-	27,39	12,60
Kopi 3	23	7,32	-	16,99	7,82
Kopi 4	23	7,32	-	16,99	7,82
Kopi 5	29	9,24	-	27,39	12,60
Kopi 6	31	9,87	-	31,42	14,45
Kopi 7	28	8,92	-	25,48	11,72
Kopi 8	30	9,55	-	29,37	13,51
				Total (kg C/pohon)	323,41
				Total (kg C/ha)	64.682,25
.....Perkebunan konvensional.....					
Lamtoro 1	83	26,43	0,55	321,95	148,10
Lamtoro 2	69	21,97	0,55	198,42	91,27
Lamtoro 3	43	13,69	0,55	57,48	26,44
Lamtoro 4	43	13,69	0,55	57,48	26,44
Lamtoro 5	26	8,28	0,55	15,38	7,08
Lamtoro 6	33	10,51	0,55	28,73	13,21
Lamtoro 7	6	1,91	0,55	0,23	0,11
Gamal 1	21	6,69	0,30	4,79	2,21
Gamal 2	24	7,64	0,30	6,80	3,13
Pisang 1	32	10,19	-	4,21	1,94
Pisang 2	31	9,87	-	3,94	1,81
Kopi 1	26	8,28	-	21,87	10,06
Kopi 2	30	9,55	-	29,37	13,51
Kopi 3	29	9,24	-	27,39	12,60
Kopi 4	24	7,64	-	18,55	8,53
Kopi 5	17	5,41	-	9,11	4,19
Kopi 6	30	9,55	-	29,37	13,51
				Total (kg C/pohon)	384,13
				Total (kg C/ha)	76.826,39

Tabel 4. Cadangan karbon pada *understorey*, serasah, dan nekromas
Table 4. Carbon stocks in *understorey*, litter, and necromas

Biomassa	Berat basah (g)	Berat kering (g/m ²)	C tanaman (%)	Cadangan karbon (kg C/ha)
.....Perkebunan organik.....				
<i>Understorey</i>	1.300	203	0,280	568,81
Serasah	420	152	0,462	702,54
Nekromas	900	394	0,447	1.759,60
Total	-	749	1,190	3.030,95
.....Perkebunan konvensional.....				
<i>Understorey</i>	600	126	0,290	362,38
Serasah	500	183	0,440	798,61
Nekromas	300	138	0,470	642,53
Total	-	447	1,190	1.803,53

Tabel 5. Cadangan karbon pada perkebunan kopi di Kabupaten Badung, Bali
Table 5. Carbon stocks in coffee plantations at Badung Regency, Bali

Model Perkebunan	Cadangan karbon (ton C/ha)		Total cadangan karbon (ton CO ₂ e/ha)
	Biomassa tanaman	<i>Understorey</i> , serasah, dan nekromas	
Organik	64,68	3,03	248,27
Konvensional	76,83	1,80	288,31

Praktek budidaya kopi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan adalah budidaya yang dapat menekan emisi GRK dan memaksimalkan cadangan karbon tanpa mengorbankan produktivitas tanaman. Cadangan karbon pada biomassa tanaman di perkebunan kopi konvensional 12,15 ton C/ha lebih tinggi dibanding perkebunan kopi organik, namun cadangan karbon pada *understorey* di perkebunan kopi organik 1,23 ton C/ha lebih tinggi dibanding perkebunan kopi konvensional. Menurut (Hergoualc'h *et al.*, 2012), input bahan organik yang berasal dari serasah dan biomassa tanaman yang dipangkas dapat meningkatkan kandungan karbon dalam tanah.

Total cadangan karbon pada perkebunan kopi konvensional 40,04 ton CO₂e/ha lebih tinggi dibanding perkebunan kopi organik (Tabel 5). Hal ini berarti bahwa perkebunan kopi yang dikelola secara konvensional lebih efektif menyimpan karbon dibanding perkebunan kopi organik. Faktor utama yang menentukan laju akumulasi dan kehilangan karbon tanah adalah kuantitas, kualitas, dan distribusi bahan organik. Masukan bahan organik terutama yang berasal dari serasah dan eksudat akar akan memperkaya *pool* karbon tanah (Hergoualc'h *et al.*, 2012).

KESIMPULAN

Perkebunan kopi organik di Kabupaten Badung, Provinsi Bali mengemisikan GRK ke atmosfer sebesar 20,71 ton CO₂e/ha dan menyimpan karbon sebesar 248,27 ton CO₂e/ha, sedangkan perkebunan kopi konvensional mengemisikan GRK sebesar 39,75 ton CO₂e/ha dan menyimpan karbon sebesar 288,31 ton CO₂e/ha. Perkebunan kopi organik di Kabupaten Badung, Provinsi Bali mampu menekan emisi GRK, namun belum mampu meningkatkan cadangan karbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Provinsi Bali yang telah mendanai penelitian melalui APBN tahun anggaran 2018.

KONTRIBUSI PENULIS

1. Ika Ferry Yunianti (Kontributor utama)
2. I.D.A. Yona Aprianthina (Kontributor utama)
3. Rina Kartikawati (Kontributor utama)
4. Eni Yulianingsih (Kontributor anggota)

DAFTAR PUSTAKA

- Adriany, T. A., Yulianingsih, E., Sopiawati, T., Jumari, & Ruhiana. (2019). Emisi gas rumah kaca dari perkebunan kopi di Kabupaten Pati, Jawa Tengah. In *Prosiding Seminar Nasional 2019 Pembangunan Rendah Karbon Dalam Mendukung Peningkatan Kualitas Lingkungan Hidup* (Vol. 2, pp. 26–27).
- Agus, F. (2013). Konservasi tanah dan karbon untuk mitigasi perubahan iklim mendukung keberlanjutan pembangunan pertanian. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 6(1), 23–33.
- Agus, F., Hairiah, K., & Mulyani, A. (2011). *Pengukuran cadangan karbon tanah gambut. Petunjuk Praktis*. World Agroforestry Centre-ICRAF SE Asia Regional Office dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Asbur, Y.; Ariyanti, M. (2017). Peran konservasi tanah terhadap cadangan karbon, bahan organik, dan pertumbuhan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *Kultivasi*, 16(3), 402–411. <https://doi.org/https://doi.org/10.24198/kltv.v16i3>
- BPS. (2018). *Kecamatan Petang dalam angka 2018*. BPS Kabupaten Badung.
- Cheserek, J. J., & Gichimu, B. M. (2012). Drought and heat tolerance in coffee: a review. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2(December), 498–501. Retrieved from <http://www.interestjournals.org/IRJAS>
- Chi, Y., Yang, P., Ren, S., Ma, N., Yang, J., & Xu, Y. (2020). Effects of fertilizer types and water quality on carbon dioxide emissions from soil in wheat-maize rotations. *Science of the Total Environment*, 698, 134010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134010>
- Dariah, A. (2013). Sistem pertanian efisien karbon sebagai bentuk adaptasi dan mitigasi sektor pertanian terhadap perubahan iklim. In *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim* (pp. 195–213).
- de Beenhouwer, M., Geeraert, L., Mertens, J., Van Geel, M., Aerts, R., Vanderhaegen, K., & Honnay, O. (2016). Biodiversity and carbon storage co-benefits of coffee agroforestry across a gradient of increasing management intensity in the SW Ethiopian highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.017>
- de Camargo, M. B. P. (2010). The impact of climatic variability and climate change on Arabica coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), 239–247. <https://doi.org/10.1590/s0006-87052010000100030>
- Gong, W., Yan, X., & Wang, J. (2012). The effect of chemical fertilizer on soil organic carbon renewal and CO₂ emission-a pot experiment with maize. *Plant and Soil*, 353(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-1011-8>
- Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., Rahayu, S., & Van Noordwijk, M. (2011). *Measuring carbon stock across land use systems: A manual*. World Agroforestry Centre. ICRAF Southeast Asia Regional Office. Bogor.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., Van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. ASB Lecture Note 4B. ICRAF. Bogor.
- Hairiah, Kurniatun, & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran “Karbon Tersimpan” di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor: World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia.
- Hergoualc’h, K., Blanchart, E., Skiba, U., Hénault, C., & Harmand, J. M. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 294, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.018>
- IAEA. (1992). *Manual on measurement of methane and nitrous oxide emission from agriculture. Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emission from Agricultural*. Austria: International Atomic Energy Agency.
- IPCC. (2007). *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KLHK. (2017). *Indonesia Third National Communication Under UNFCCC*. Minister of Environment and Forestry.
- Li, H., Fu, S., Zhao, H., & Xia, H. (2011). Forest soil CO₂ fluxes as a function of understory removal and N-fixing species addition. *Journal of Environmental Sciences*, 23(6), 949–957. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60502-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60502-5)

- Li, Z., Xia, S., Zhang, R., Zhang, R., Chen, F., & Liu, Y. (2020). N₂O emissions and product ratios of nitrification and denitrification are altered by K fertilizer in acidic agricultural soils. *Environmental Pollution*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115065>
- Minamikawa, K., Tokida, T., Sudo, S., Padre, A., & Yagi, K. (2015). *Guidelines for measuring CH₄ and N₂O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method*. Scientific reports (Vol. 235). National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.011>
- Nojonen, M. R. A., Edwards-Jones, G., Haggard, J. P., Soto, G., Attarzadeh, N., & Healey, J. R. (2012). Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 151, 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019>
- Ponti, S. M. C., Videla, C. C., Monterubbiansi, M. G., Andrade, F. H., & Rizzalli, R. H. (2020). Crop intensification with sustainable practices did not increase N₂O emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 292, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106828>
- Pramono, A., & Sadmaka. (2018). Emisi gas rumah kaca, cadangan karbon serta strategi adaptasi dan mitigasi pada perkebunan kopi rakyat di Nusa Tenggara Barat (Greenhouse gas emission, carbon stock, adaptation and mitigation strategies at smallholder coffee plantation in West Nusa Tenggara. *Menara Perkebunan*, 86(2), 62–71. <https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v86i2.294>
- Priyadarshini, R., Yulistyarini, T., & Yuniwati, D. (2009). Cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan kopi : Apakah umur tegakan memengaruhi besarnya karbon tersimpan? *Konservasi Flora Indonesia Dalam Mengatasi Dampak Pemanasan Global*, 716–723.
- Pujiyanto. (2011). Use of sub-surface soil water in Robusta coffee field through organic matter wicks. *Pelita Perkebunan*, 27(90), 191–203.
- Surmaini, E., & Runtunuwu, Eleonora, Las, I. (2011). Upaya sektor Pertanian dalam Menghadapi Perubahan Iklim. *Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi Perubahan Iklim*, 30(1), 1–7. <https://doi.org/10.21082/jp3.v30n1.2011.p1-7>
- Tian, D., Zhang, Y., Mu, Y., Liu, J., & He, K. (2020). Effect of N fertilizer types on N₂O and NO emissions under drip fertigation from an agricultural field in the North China Plain. *Science of the Total Environment*, 715, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136903>
- Trinh, L. T. K., Hu, A. H., Lan, Y. C., & Chen, Z. H. (2020). Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3), 1307–1324. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02539-5>
- Wani, S. A., Chand, S., Najar, G. R., & Teli, M. A. (2013). Organic farming : As a climate change adaptation and mitigation strategy. *Current Agriculture Research Journal*, 1(1), 45–50.
- Wihardjaka, A., Pramono, A., & Sutriadi, M. T. (2020). Peningkatan produktivitas padi sawah tadah hujan melalui penerapan teknologi adaptif dampak perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1), 25–36.
- Wood, A., Tolera, M., Snell, M., O'Hara, P., & Hailu, A. (2019). Community forest management (CFM) in south-west Ethiopia: Maintaining forests, biodiversity and carbon stocks to support wild coffee conservation. *Global Environmental Change*, 59, 1–11.
- Yulianingrum, H., Yunianti, I. F., & Ullu, 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. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.97-106>
- Yuliasmara, F. (2019). Peningkatan kadar CO₂ di udara dan pengaruhnya pada tanaman kopi. *Warta*, 31(1), 1–4. <https://doi.org/10.31793/1680-1466.2019.24-4.367>
- Yuliasmara, F., Wibawa, A., & Prawoto, A. (2009). Carbon stock in different ages and plantation system of cocoa: allometric approach. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 26(3), 86–100. <https://doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v26i3.137>
- Yunita, L. (2016). Pendugaan cadangan karbon tegakan meranti (*Shorea leprosula*) di hutan alam pada area silin PT Inhutani II Pulau Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 187–197.