

Laporan Tahun Pertama
Penelitian Unggulan sesuai mandat Divisi (PUD)



**Kuantifikasi Emisi Gas CO₂ dan Neraca Karbon Dalam
Pengembangan Lahan Gambut Untuk Produksi Biomasa
yang Berkelanjutan**

Tahun ke satu dari rencana dua tahun

Oleh

:

Ketua Tim Peneliti:

Dr. Yudi Chadirin, STP.M.Agr

NIDN 0026097403

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
Oktober, 2015

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI

Judul Kegiatan : Kuantifikasi Emisi Gas CO₂ dan Neraca Karbon
Dalam Pengembangan Lahan Gambut Untuk Produksi
Biomasa yang Berkelanjutan

Peneliti / Pelaksana

Nama Lengkap : Dr. Yudi Chadirin S.TP., M.Agr.
NIDN : 0026097403
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Sipil dan Lingkungan
Nomor HP : 081314833110
Surel (e-mail) : gooday926@yahoo.com

Anggota (1)

Nama Lengkap : Dr. Satyanto Krido Saptomo S.TP., M.Si
NIDN : 0011047303
Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor

Anggota (2)

Nama Lengkap : Dr. Rudiyanto, STP., M.Si.
NIDN : -
Perguruan Tinggi : Institut Pertanian Bogor

Institusi Mitra (Jika Ada)

Nama Institusi Mitra : Universitas Utsunomiya, Jepang
Alamat : Dept. Environmental Engineering, Utsunomiya univ
Penanggungjawab : Dr. Kazutoshi Osawa
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 95.000.000
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp 180.700.000



Bogor, 30 - 10 - 2015,
Ketua Peneliti,



(Dr. Yudi Chadirin, S.TP., M.Agr.)
NIP/NIK 197409261999031004

RINGKASAN

Indonesia yang merupakan negara kepulauan Indonesia memiliki luas daratan sekitar 188,2 juta ha, terdiri dari lahan kering dan lahan rawa. Di wilayah Asia Tenggara, Indonesia termasuk negara dengan luas lahan rawa yang terbesar, yakni luasnya sekitar 33 juta ha, 20,6 juta ha diantaranya merupakan lahan gambut. Lahan Gambut tersebut sebagian besar tersebar di tiga pulau besar, yaitu Sumatera (35%), Kalimantan (32%), Papua (30%), Sulawesi (3%), dan sisanya (3%) tersebar pada areal yang sempit. Luas lahan gambut yang demikian besar menjadi tantangan untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian untuk menghasilkan bahan pangan maupun bahan baku industri kehutanan. Melalui pengelolaan lahan gambut berkelanjutan (*sustainable peatland management*), lahan gambut dapat dikelola menjadi perkebunan kelapa sawit dan hutan tanaman industri dengan meminimalkan dampak kerusakan lingkungan.

Emisi karbon telah menjadi atau dijadikan isu penting yang dapat mempengaruhi perdagangan dan akhirnya pada keberlangsungan industri di suatu negara, tak terkecuali di Indonesia. Emisi karbon dari tanah sangatlah berfluktuasi tergantung banyak faktor di antaranya iklim, tanah dan hidrologis. Faktor-faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah, suhu dan kelembaban tanah, tinggi muka air tanah, *electrical conductivity* (EC), atau daya hantar listrik. Dua faktor kritis lingkungan biofisik yang berfluktuatif namun besar pengaruhnya terhadap emisi CO₂ tanah adalah suhu dan kelembaban tanah. Kondisi suhu dan kelembaban tanah dipengaruhi oleh radiasi matahari, curah hujan, dan tinggi muka air tanah yang kondisinya berubah dengan waktu. Untuk itu perlu dikembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik dan emisi CO₂ yang dapat mengukur secara kontinyu sehingga dapat diketahui jumlah emisi karbon tahunan yang lebih akurat, bukan hasil ekstrapolasi

Pada tahun pertama penelitian ini telah dapat dikembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik yang meliputi parameter cuaca (suhu, kelembaban udara, curah hujan, radiasi matahari) dan lingkungan biofisik dalam tanah (suhu, kelembaban tanah, tinggi muka air, dan konduktivitas listrik). Hasil pengukuran emisi menunjukkan fluks CO₂ dari lahan gambut terbuka tanpa vegetasi sebesar 62.25 ton CO₂/ha/thn. Emisi karbon memiliki hubungan positif dengan temperature tanah namun memiliki hubungan negatif dengan kelembaban tanah dan curah hujan. Model pendugaan emisi karbon yang dikembangkan dengan menggunakan metode ANN berdasarkan data temperature dan kelembaban tanah serta curah hujan dapat digunakan untuk menduga fluks CO₂ nilai koefisien korelasi R² dan RMSE berturut-turut adalah sebesar 0.71 dan 0.49 untuk training dan 0.5 dan 0.76 untuk testing.

Keywords: tanah gambut, emisi karbon, gas CO₂, stok karbon, allometrik, carbon budget, lingkungan biofisik.

PRAKATA

Penelitian ini dilakukan guna mengetahui nilai emisi karbon dari lahan gambut Indonesia yang sering menjadi isu sensitif dalam perdagangan internasional, terutama menyangkut produk-produk hasil pertanian. Laporan akhir tahun pertama ini merupakan paparan hasil penelitian unggulan sesuai mandat divisi (PUD) dari Divisi Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, yang dilaksanakan pada tahun pertama. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat luas.

Ketua Tim Peneliti

DAFTAR ISI

I. Pendahuluan	1
1.1. Latar belakang	1
II. Tinjauan Pustaka	3
III. Tujuan dan Manfaat Penelitian	6
3.1. Tujuan	6
3.2. Manfaat Penelitian	6
IV. Metode Penelitian	8
4.1. Waktu dan Tempat	8
4.2. Pengukuran lingkungan biofisik	8
4.3. Pengukuran pengukuran emisi karbon	9
V. Hasil Yang Dicapai	13
5.1. Sistem Pengukuran dan Monitoring Lingkungan Biofisik yang berpengaruh terhadap emisi karbon pada lahan gambut	13
5.2. Emisi Karbon	18
5.3. Hubungan antara emisi karbon dan parameter lingkungan biofisik	20
5.3. Model pendugaan emisi karbon	21
V. Rencana Tahapan Berikutnya	25
VI. Kesimpulan Dan Saran	26
VIII. Daftar Pustaka	27
Lampiran	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lokasi penelitian	8
Gambar 2. Alat pengukur emisi CO ₂ tanah (LiCor 8100)	10
Gambar 3. Pengembangan model pendugaan emisi karbon	11
Gambar 4. Model Artificial Neural Network (ANN) CO ₂ flux	12
Gambar 5. Sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik	13
Gambar 6. Instalasi sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik di stasiun MRV	14
Gambar 7. Dinamika intensitas radiasi matahari	15
Gambar 8. Dinamika suhu dan kelembaban udara	15
Gambar 9. Dinamika suhu tanah di lokasi penelitian	16
Gambar 10. Dinamika nilai hisapan matriks tanah	16
Gambar 11. Dinamika tinggi muka air tanah.....	17
Gambar 12. Emisi CO ₂ harian dan akumulasinya yang berasal dari lahan gambut terbuka	19
Gambar 13. Dinamika Emisi CO ₂ , suhu tanah, kelembaban tanah dan curah hujan	20
Gambar 14. Grafik hubungan fluks CO ₂ dengan suhu, kelembaban tanah dan curah hujan.	21
Gambar 15. Pengaruh gradient temperature terhadap fluks CO ₂	22
Gambar 16. Hasil pendugaan nilai fluks CO ₂ dengan menggunakan metode ANN	23
Gambar 17. Hubungan antara nilai fluks CO ₂ hasil pengukuran dengan hasil pendugaan.....	23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto-foto kegiatan penelitian	30
Lampiran 2. Bahan ajar mata kuliah SIL 625 rekayasa lingkungan pertanian	31
Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6 th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015	35
Lampiran 4. Makalah yang disajikan pada Seminar Internasional: The 6 th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015	40
Lampiran 5. Sertifikat keikutsertaan sebagai presenter dalam Seminar Internasional: The 6 th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015	45
Lampiran 6. Pengalaman penelitian peneliti	46
Lampiran 7. Biodata peneliti	49

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia yang merupakan negara kepulauan Indonesia memiliki luas daratan sekitar 188,2 juta ha, terdiri dari lahan kering dan lahan rawa. Di wilayah Asia Tenggara, Indonesia termasuk negara dengan luas lahan rawa yang terbesar, yakni luasnya sekitar 33 juta ha, 20,6 juta ha diantaranya merupakan lahan gambut. Lahan Gambut tersebut sebagian besar tersebar di tiga pulau besar, yaitu Sumatera (35%), Kalimantan (32%), Papua (30%), Sulawesi (3%), dan sisanya (3%) tersebar pada areal yang sempit (Wibowo dan Suyatno, 1998; Wahyunto et al. 2005a dan 2005b). Lahan gambut merupakan tanah organik yang mempunyai kandungan karbon tinggi dan salah satu sumberdaya alam yang mempunyai fungsi hidrorologi,

Sebagian besar lahan gambut masih berupa tutupan hutan dan berfungsi untuk, menyimpan karbon (C) dalam jumlah besar. Gambut juga mempunyai daya menahan air yang tinggi sehingga berfungsi sebagai penyangga hidrologi areal sekelilingnya. Dalam keadaan hutan alami, lahan gambut berfungsi sebagai penambat (sequester) karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer, walaupun proses penambatan berjalan sangat pelan setinggi 0 - 3 mm gambut per tahun (Parish et al., 2007) atau setara dengan penambatan 0-5,4 ton CO₂ ha/tahun (Agus et al., 2011). Apabila hutan gambut ditebang dan lahan dilakukan pengeringan melalui pembuatan sistem drainase, maka karbon yang tersimpan pada gambut akan mudah teroksidasi menjadi gas CO₂ yang dianggap sebagai salah satu gas rumah kaca (GRK).

Luas lahan gambut yang demikian besar menjadi tantangan untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian untuk menghasilkan bahan pangan maupun bahan baku industri kehutanan. Melalui pengelolaan lahan gambut berkelanjutan (sustainable peatland management), lahan gambut dapat dikelola menjadi perkebunan kelapa sawit dan hutan tanaman industri dengan meminimalkan dampak kerusakan lingkungan. Tanaman sawit dan akasia yang ditanam di lahan gambut berfungsi sebagai penambat (sequester) karbon melalui proses fotosintesa dan karbon disimpan sebagai biomasa tanaman. Proses

penambahan karbon melalui proses fotosintesa ini mampu mengimbangi hilangnya cadangan karbon dalam tanah yang teroksidasi menjadi emisi gas CO₂.

Disisi lain, dalam era pemanasan global dewasa ini, pembangunan berkelanjutan di segala sektor semakin dituntut untuk mampu menurunkan emisi gas rumah kaca, di antaranya adalah emisi karbon. Tidak bisa dipungkiri lagi emisi karbon telah menjadi atau dijadikan isu penting yang dapat mempengaruhi perdagangan dan akhirnya pada keberlangsungan industri di suatu negara, tak terkecuali di Indonesia. Produk-produk pertanian dan kehutanan Indonesia yang diekspor dan dihasilkan dari pengelolaan lahan gambut rentan terhadap isu lingkungan yang dihembuskan dalam konteks persaingan dagang internasional, sebagai contoh minyak kelapa sawit dan produk kertas Indonesia. Seperti diketahui, baru-baru ini Indonesia dikejutkan oleh EPA-USA yang merilis bahwa produk biodiesel dari kelapa sawit tidak memenuhi standar program reduksi emisi karbon dari bahan bakar. Para peneliti di tanah air lebih terkejut lagi karena data emisi karbon dari lahan gambut yang menjadi rujukan nilainya begitu besar. Sementara, hasil-hasil pengukuran emisi karbon yang dilakukan oleh berbagai kalangan peneliti dan akademisi tidaklah sedemikian besarnya. Perbedaan nilai nilai rujukan emisi karbon ini disebabkan oleh karena umumnya pengukuran emisi karbon dilakukan pada rentang waktu pengukuran yang pendek dan tidak dilakukan secara kontinyu.

Disadari bahwa emisi karbon dari lahan gambut sangatlah berfluktuasi tergantung banyak faktor di antaranya iklim, tanah dan hidrologis. Faktor-faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah, suhu dan kelembaban tanah, serta *electrical conductivity* (EC), atau daya hantar listrik. Ketiga faktor ini sangat berfluktuasi dari hari ke hari tergantung dari faktor iklim dan hidrologis sehingga berdampak pada tingginya fluktuasi emisi karbon. Untuk itu diperlukan pengukuran emisi karbon yang dilakukan secara kontinyu. Diharapkan hasil pengukuran yang kontinyu dan dalam jangka panjang ini dapat menghasilkan nilai akumulasi emisi karbon dalam setahun sehingga dapat dijadikan sebagai nilai rujukan emisi karbon yang lebih akurat di lahan gambut. yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Selanjutnya nilai rujukan emisi karbon tersebut dapat digunakan untuk advokasi perdagangan hasil-hasil pertanian dan kehutanan di tingkat internasional.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam era pemanasan global dewasa ini, pembangunan berkelanjutan di segala sektor semakin dituntut untuk mampu menurunkan emisi gas rumah kaca, di antaranya adalah emisi karbon. Tidak bisa dipungkiri lagi emisi karbon telah menjadi atau dijadikan isu penting yang dapat mempengaruhi perdagangan dan akhirnya pada keberlangsungan industri di suatu negara, tak terkecuali di Indonesia. Seperti diketahui, baru-baru ini Indonesia dikejutkan oleh EPA-USA yang merilis bahwa produk pertanian yang dibudidayakan di lahan gambut tidak memenuhi standar program reduksi emisi karbon dari bahan bakar. Para peneliti di tanah air lebih terkejut lagi karena data emisi karbon dari lahan gambut yang dirujuknya begitu besar. Sementara, hasil-hasil pengukuran emisi karbon yang dilakukan oleh berbagai kalangan peneliti dan akademisi tidaklah sedemikian besarnya. Perbedaan nilai nilai rujukan emisi karbon ini disebabkan oleh karena umumnya pengukuran emisi karbon dilakukan pada rentang waktu pengukuran yang pendek dan tidak dilakukan secara kontinyu. Disisi lain faktor lingkungan biofisik yang mempengaruhi emisi karbon dari dalam tanah sangat fluktuatif sehingga menghasilkan deviasi yang cukup besar emisi karbon dari waktu ke waktu. Hasil pengukuran dalam waktu singkat tersebut biasanya dikalikan dengan waktu (satu tahun) untuk mendapatkan jumlah emisi karbon dalam satu tahun. Jika pengukuran emisi karbon dilakukan pada saat kondisi cuaca cerah maka akan menghasilkan emisi karbon sesaat yang tinggi. Hal ini akan menyebabkan terjadi perbedaan angka emisi karbon yang cukup besar jika dibandingkan dengan pengukuran secara kontinyu, sehingga dapat menghasilkan angka emisi karbon tahunan yang tidak akurat.

Emisi karbon dari tanah sangatlah berfluktuasi tergantung banyak faktor di antaranya iklim, tanah dan hidrologis. Faktor-faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap besarnya emisi karbon dari lahan gambut adalah, suhu dan kelembaban tanah, tinggi muka air tanah, *electrical conductivity* (EC), atau daya hantar listrik (Chimer and Cooper, 2003; Scala et.al. 2000; Davidson et.al., 2000; Smart and Peneulas, 2005; Buchmann). Dua faktor kritis lingkungan biofisik yang berfluktuatif namun besar pengaruhnya terhadap emisi CO₂ tanah adalah suhu dan kelembaban tanah (Epron et.al.

1999; Davidson and Janssens, 2006). Kondisi suhu dan kelembaban tanah dipengaruhi oleh radiasi matahari, curah hujan, dan tinggi muka air tanah yang kondisinya berubah dengan waktu. Untuk itu perlu dikembangkan sistem monitoring lingkungan biofisik dan emisi CO₂ yang dapat mengukur secara kontinyu sehingga dapat diketahui jumlah emisi karbon tahunan yang lebih akurat, bukan hasil ekstrapolasi.

Secara umum emisi karbon akan naik jika temperatur tanah mengalami kenaikan. Pada saat terjadi penurunan temperatur tanah, maka emisi karbon juga akan mengalami penurunan. Sebaliknya kenaikan kelembaban tanah maka akan menyebabkan penurunan emisi karbon dari tanah akibat menurunnya aktivitas mikroorganisme dalam tanah dalam proses dekomposisi. Di sisi lain temperatur dan kelembaban tanah saling berhubungan erat sehingga perlu dilakukan studi tentang pengaruhnya secara bersama terhadap emisi karbon dalam tanah. Dari data hasil pengukuran temperatur dan kelembaban tanah akan digunakan untuk menduga emisi karbon dalam tanah. Dengan menggunakan metode *artificial neural network* (ANN), dapat dibangun model matematika untuk menduga nilai emisi karbon dalam tanah data temperatur dan kelembaban tanah. Nilai emisi karbon hasil pendugaan dengan menggunakan ANN dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran untuk mengetahui akurasi model matematika yang dibangun.

Pengukuran emisi CO₂ dari dalam tanah secara kontinyu dapat dilakukan dengan menggunakan Licor Li-8100. Alat ini dapat mengukur emisi CO₂ secara kontinyu dengan interval pengukuran dapat diprogram sesuai dengan keinginan kita karena digerakkan secara otomatis dengan program komputer. Namun alat pengukur emisi CO₂ secara otomatis dan kontinyu umumnya memiliki harga jual yang cukup mahal, berkisar sekitar 1 milyar rupiah. Di sisi lain, pengukuran temperatur dan kelembaban tanah tidak memerlukan alat yang mahal. Untuk itu diharapkan model matematika yang dibangun berdasarkan data pengukuran temperatur dan kelembaban tanah dengan ANN dapat digunakan untuk menduga emisi karbon secara akurat dengan biaya yang cukup murah.

Emisi gas CO₂ yang dilepaskan dari dalam tanah maupun gas CO₂ yang berada di udara dapat ditambat (*sequenced*) dan disimpan dalam bentuk biomasa oleh pohon. Tambatan biomasa tersebut merupakan jumlah stok karbon di

atas permukaan. Gas CO_2 akan dirubah oleh klorofil dengan bantuan sinar matahari menjadi karbon melalui proses fotosintesa dan disimpan sebagai biomasa bagian dari pohon (daun, batang, ranting, akar). Untuk mengetahui jumlah tambatan CO_2 melalui proses fotosintesa, perlu diketahui jumlah biomasa yang tersimpan sebagai bagian dari pohon (daun, batang, ranting, akar). Jika diameter dan tinggi suatu pohon diketahui, jumlah biomasa pohon dapat diketahui dengan menggunakan persamaan allometrik. Persamaan allometrik perlu dikembangkan karena setiap pohon memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

Carbon budget merupakan selisih antara emisi dan tambatan (sink and source) karbon dalam suatu wilayah. Dengan mengetahui jumlah emisi dan tambatan karbon dalam satu tahun maka akan terlihat apakah pemanfaatan lahan gambut memiliki dampak terhadap pemanasan global atau tidak. Jika hasil perhitungan carbon budget bernilai negatif maka pelepasan karbon dari dalam tanah lebih tinggi dibandingkan tambatan karbon di atas permukaan tanah. Akibatnya cadangan karbon akan semakin menipis dan emisi karbon yang tinggi dapat menyumbang pemanasan global. Namun sebaliknya jika perhitungan carbon budget menghasilkan nilai positif maka terjadi penambahan stok karbon di atas permukaan tanah. Dengan demikian pengelolaan lahan gambut dapat dikatakan berhasil mengurangi emisi CO_2 dan telah menerapkan prinsip-prinsip pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. Dengan demikian sangat penting untuk melakukan perhitungan carbon budget dalam wilayah berlahan gambut yang dibuka untuk lahan pertanian dan kehutanan.

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah emisi yang dikeluarkan dari lahan gambut (bare peatland) melalui pengukuran emisi tahunan karbon dari lahan gambut melalui pengukuran secara terus menerus (kontinyu) sebagai upaya untuk mendapatkan nilai rujukan emisi karbon lahan gambut yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penelitian ini direncanakan selama 2 tahun dengan tujuan penelitian tahun pertama adalah:

- 1) Mengembangkan sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik yang berpengaruh terhadap emisi karbon pada lahan gambut
- 2) Menentukan emisi karbon tahunan yang berasal dari dalam tanah melalui pengukuran emisi CO₂ secara kontinyu
- 3) Menganalisis pengaruh parameter lingkungan biofisik terhadap emisi karbon dari dalam tanah di lahan gambut
- 4) Mengembangkan model pendugaan emisi karbon dari data pengukuran parameter lingkungan biofisik

3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengetahui nilai emisi karbon tahunan lahan gambut yang dapat digunakan sebagai angka rujukan. Nilai emisi karbon dari lahan gambut yang ada saat ini biasanya merupakan hasil pengukuran sesaat yang kemudian dilakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan nilai emisi tahunan. Hal ini memiliki keakuratan yang rendah karena emisi karbon dari lahan gambut tidak konstan dan sangat bergantung pada kondisi lingkungan biofisik. Dengan pengukuran emisi karbon secara kontinyu diharapkan dapat memberikan nilai emisi karbon lahan gambut yang lebih akurat. Penelitian ini diharapkan juga dapat memberikan manfaat tersusunnya model matematika pendugaan emisi karbon berdasarkan data suhu dan kelembaban tanah mengetahui emisi karbon tahunan lahan gambut sehingga selanjutnya dapat menggantikan peralatan pengukur emisi karbon lahan gambut yang memiliki harga sangat mahal. Selain itu melalui kerjasama dengan peneliti Universitas

Utsunomiya, Jepang, dapat meningkatkan kemampuan peneliti IPB untuk melakukan kerjasama penelitian internasional.

4. Sensor mps, *digunakan* mengukur matrik potensial (*water potential*) tanah dan temperature
5. Data *logger* EM 50, digunakan untuk merekam data hasil pengukuran sensor- sensor 5-TE, ARG, AWLR, mps.
6. Licor LI-8100, digunakan untuk mengukur CO₂ flux pada tanah secara otomatis, dan kontinyu. Alat ini terdiri dari gas analyzer dan chamber. Emisi karbon yang masuk ke dalam chamber akan dialirkan ke bagian gas analyzer untuk dilakukan analisa kandungan CO₂. Durasi dan interval pengukuran dapat diatur dengan program komputer, dalam penelitian ini diatur LI-8100 melakukan pengukuran selama 3 kali setiap jamnya.
7. Genset, digunakan untuk sumber energi untuk recharge batere basah yang digunakan sebagai sumber energi untuk Licor-8100
9. Bateray Kering 9 Volt, digunakan sebagai catu daya untuk EM50, dan peralatan sensor-sensor yang ada

4.3. Metode pengukuran emisi karbon

Pengukuran emisi karbon dilakukan dengan metode *closed chamber* menggunakan Licor LI-8100. Kelebihan alat ini adalah dapat mengukur emisi karbon secara otomatis dan periode pengukuran yang panjang. Licor LI-8100 di install di lokasi pengukuran yang merupakan lahan gambut terbuka yang sekaligus berfungsi sebagai lokasi stasiun pemantau cuaca di lahan konsensi milik RAPP di Pulau Padang. Licor LI-8100 ini merupakan milik Utsunomiya University, Japan, yang dipinjamkan kepada Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB dalam rangka kerjasama penelitian.

Pada prinsipnya Licor LI-8100 terdiri dari 2 bagian yakni chamber dan *analyzer control unit* seperti terlihat pada Gambar 2. Alat pengukur emisi karbon ini diinstal pada lahan gambut terbuka yang permukaan relatif datar. Selanjutnya Licor LI-8100 dihubungkan dengan komputer menggunakan software LI-8100 Automated soil CO₂ flux system untuk dilakukan pengaturan kondisi pengukuran, yakni durasi pengukuran, interval pengukuran dan cara penyimpanan data hasil pengukuran. Interval pengukuran diatur sehingga Licor LI-8100 akan melakukan pengukuran sebanyak 3 kali setiap jam selama 24 jam dalam periode pengukuran yang direncanakan. Secara periodik setiap bulan data hasil pengukuran yang tersimpan dalam kartu memori akan dipindahkan ke dalam komputer.



Gambar 2. Alat pengukur emisi CO₂ tanah (LiCor 8100)

Pada saat pengukuran dimulai, chamber akan bergerak menutupi area tanah gambut selama 3 menit. Gas CO₂ yang diemisikan oleh permukaan tanah yang tertutupi oleh chamber akan dialirkan ke dalam *gas analyzer* control untuk dilakukan analisa perubahan konsentrasi gas CO₂ dalam chamber per satuan waktu.

$$\text{fluks CO}_2 = \text{gCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1} = \frac{44 \times 273,15 \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times 10^{-6} \times V}{0,0224 \times (273,15 + T) \times A}$$

dimana :

V = volume *chamber* (m³)

$\Delta c/\Delta t$ = laju perubahan konsentrasi gas CO₂ dalam chamber (m³ m⁻³ h⁻¹)

T = temperatur (°C)

A = Luas permukaan tanah dalam chamber (m²)

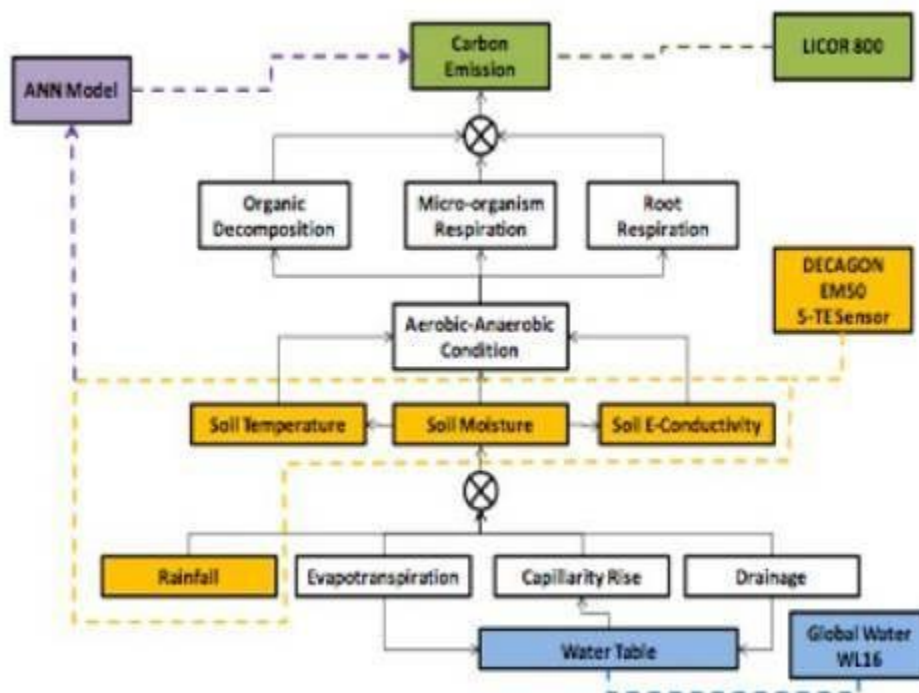
Hasil pengukuran Licor LI-8100 berupa nilai fluks CO₂ dengan satuan $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ selama periode pengukuran. Data pengukuran ini akan digunakan untuk menghitung akumulasi emisi karbon selama periode pengukuran. Dengan demikian pada akhir periode pengukuran tahun pertama akan didapatkan nilai emisi karbon akumulasi lahan gambut yang lebih akurat karena merupakan hasil akumulasi pengukuran, bukan ekstrapolasi dari pengukuran singkat.

Pada saat yang bersamaan dilakukan juga instalasi alat pengukur parameter lingkungan biofisik tanah yakni temperatur tanah, kelembaban tanah, daya hantar listrik (EC) tanah, matriks potensial tanah (pf), tinggi muka air tanah (water level), dan intensitas curah hujan dengan menggunakan sensor-sensor 5-TE, mps, AWLR, dan ARG. Instalasi dilakukan dalam satu lokasi dengan pengukuran emisi karbon, yakni dalam stasiun cuaca mini, yang merupakan stasiun *monitoring, reporting, verification* (MRV), dalam lahan konsensi milik PT RAPP. Sensor 5-TE letakkan pada kedalaman 5

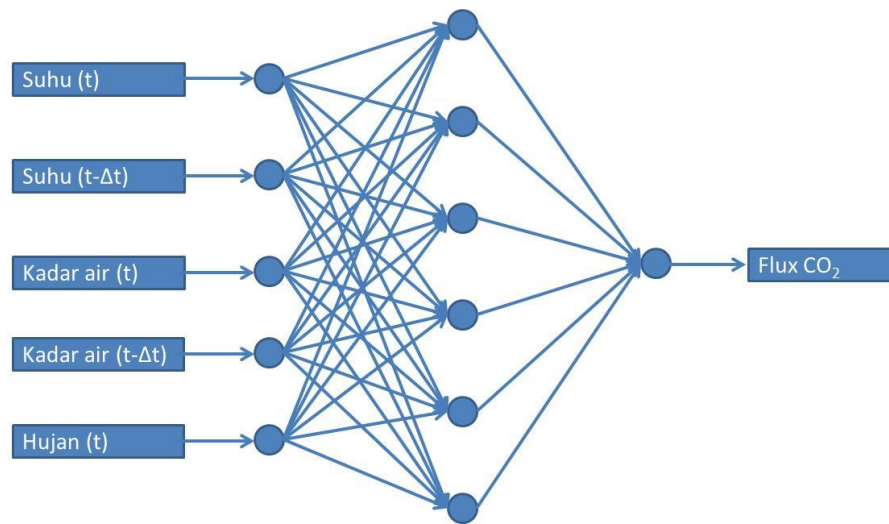
cm dibawah permukaan tanah. Pada kedalaman 5 cm dibawah permukaan tanah, diduga temperatur dan kelembaban tanah sangat berpengaruh terhadap emisi karbon, namun tidak berfluktuatif karena faktor cuaca diatas permukaan tanah. Sensor-sensor tersebut akan dihubungkan dengan data logger Decagon EM 50 guna merekam data hasil pengukuran. Pengaturan kondisi pengukuran dilakukan dengan menghubungkan *data logger* EM 50 dengan komputer menggunakan *software* ECH2O *utility*. Interval pencatatan/perekaman data dilakukan setiap 15 menit. Data hasil pengukuran digunakan untuk menjelaskan kondisi lingkungan biofisik setiap pengukuran emisi karbon dilakukan.

Data hasil pengukuran lingkungan biofisik akan digunakan untuk analisa dan pengembangan sistem pemodelan matematik untuk menduga besarnya emisi karbon berdasarkan data temperatur dan kelembaban tanah seperti terlihat pada Gambar 3.

Hubungan setiap parameter fisika gambut terhadap emisi CO₂ dapat dianalisis dengan mengembangkan model ANN (Artificial Neural Network) atau Jaringan Syaraf Tiruan (Setiawan dan Sumawinata, 2013). Dalam penelitian ini model matematika yang akan dikembangkan untuk menduga emisi karbon seperti pada Gambar 4



Gambar 3. Pengembangan model pendugaan emisi karbon (Setiawan and mustafiril, 2012)

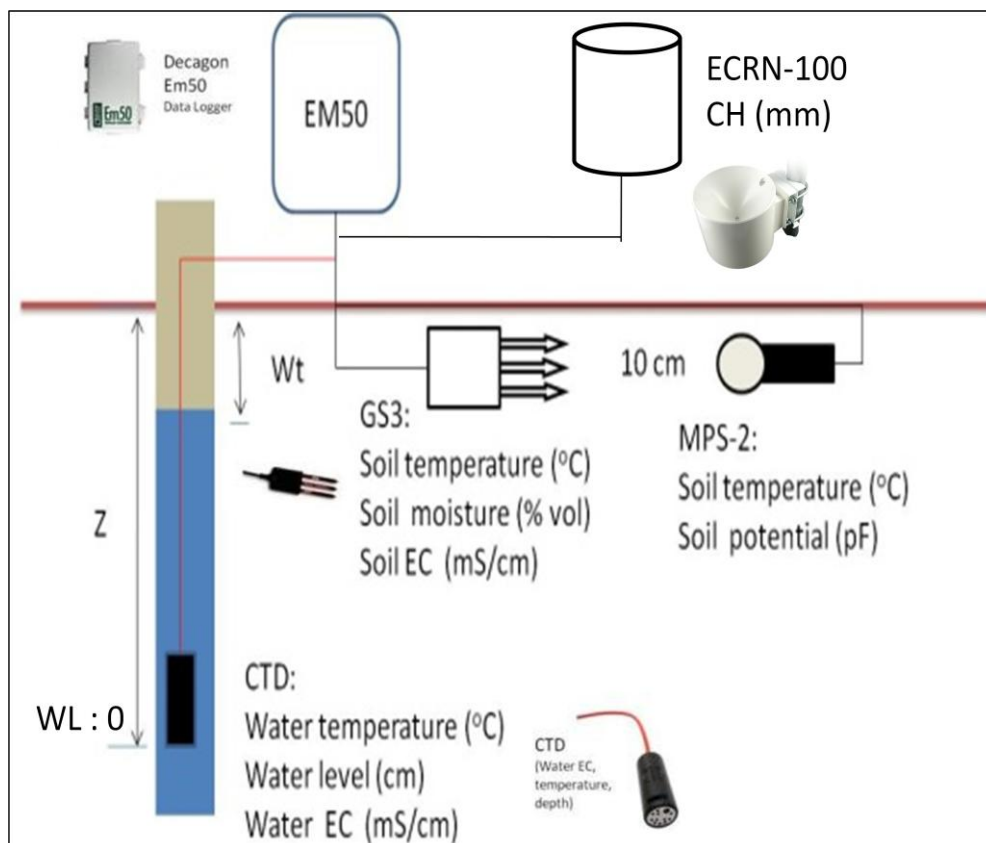


Gambar 4. Model Artificial Neural Network (ANN) CO₂ flux

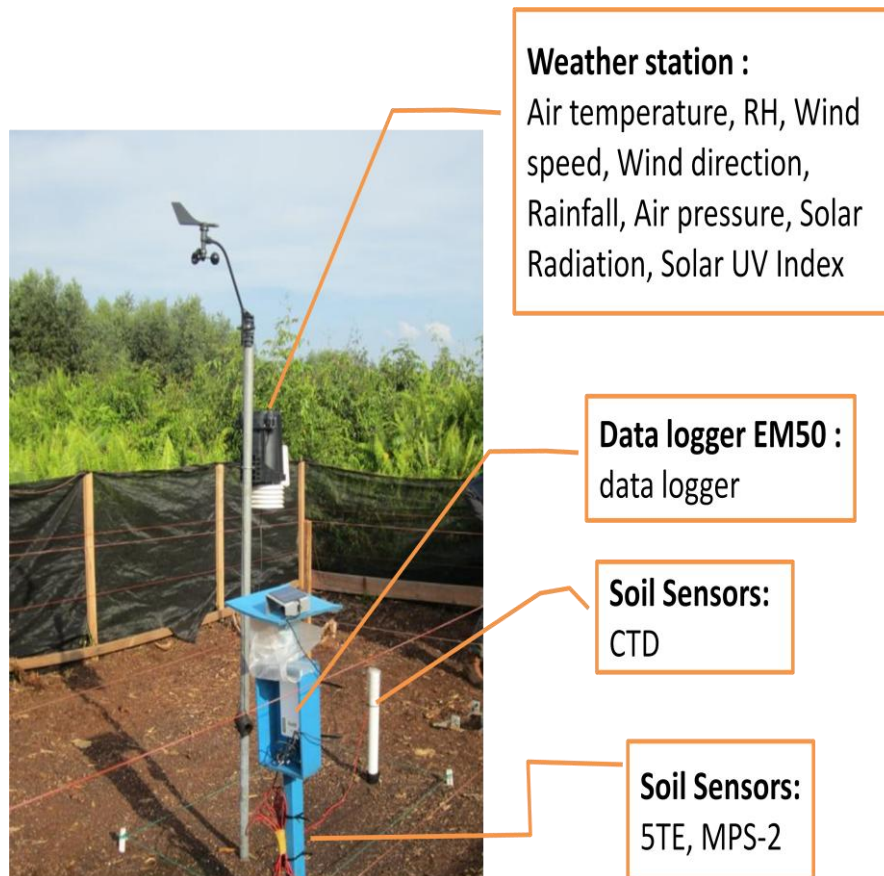
V. HASIL YANG DICAPAI

5.1. Sistem Pengukuran dan Monitoring Lingkungan Biofisik yang berpengaruh terhadap emisi karbon pada lahan gambut

Emisi karbon yang berasal dari lahan gambut bersumber dari 2 jenis proses yakni *autotrophic* dan *heterotrophic*. *Autotrophic* merupakan emisi yang berasal dari respirasi akar dan mikroorganisme yang hidup di bawah permukaan lahan gambut. Adapun *heterotrophic* merupakan emisi yang dihasilkan dari proses dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroorganisme. Kedua sumber emisi tersebut merupakan proses metabolisme makhluk hidup yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan biofisik baik kondisi lingkungan di atas permukaan maupun di bawah permukaan lahan gambut. Untuk itu diperlukan system pengukuran dan monitoring yang handal untuk memantau kondisi lingkungan biofisik yang nantinya akan berpengaruh terhadap emisi karbon dari lahan gambut. Sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik di bawah permukaan lahan gambut pada penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 5.



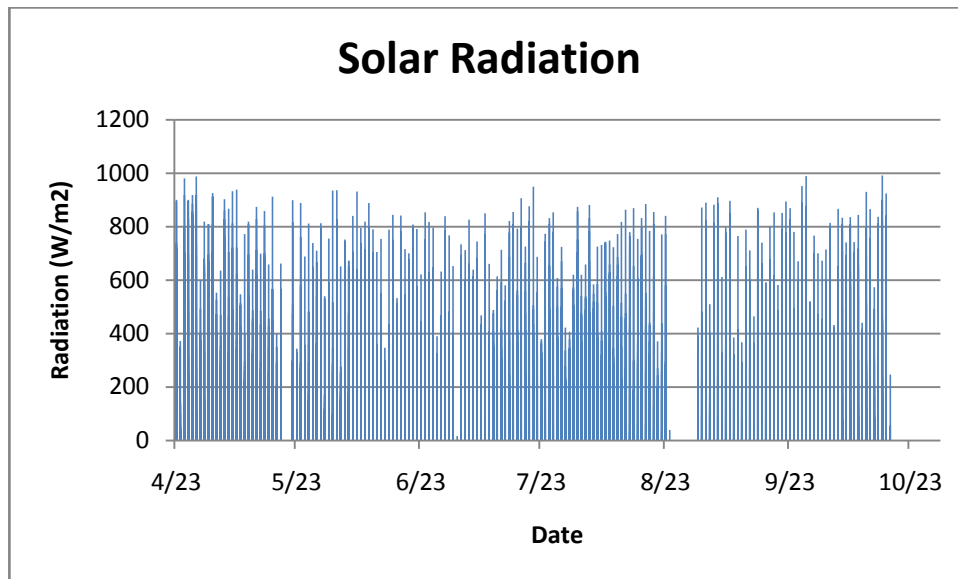
Gambar 5. Sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik



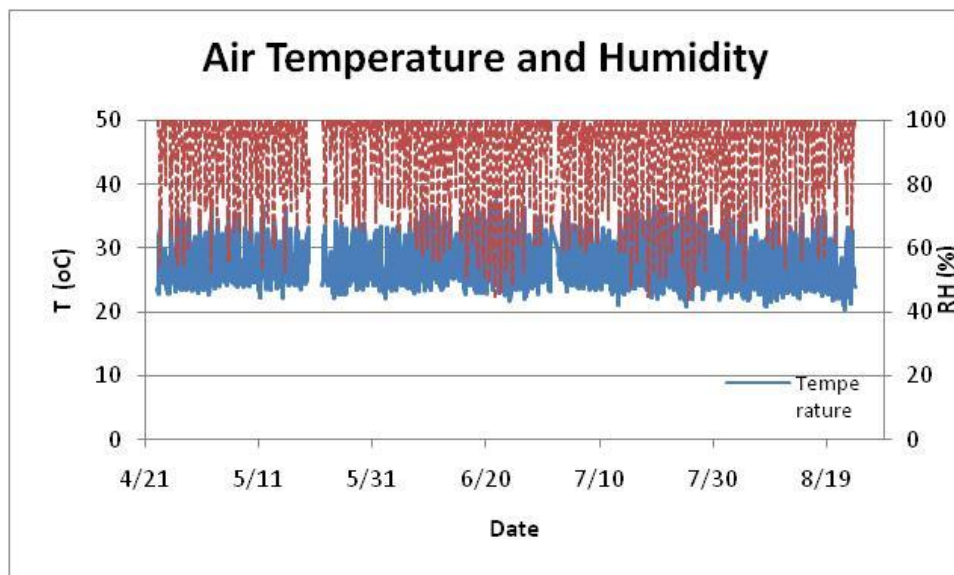
Gambar 6. Instalasi sistem pengukuran dan monitoring lingkungan biofisik di stasiun MRV

Pengukuran lingkungan biofisik yang dilakukan meliputi kondisi cuaca diatas permukaan tanah (suhu dan kelembaban udara, radiasi matahari dan curah hujan) dan kondisi dalam tanah (suhu dan kelembaban tanah, *electrical conductivity*/EC, hisapan matriks potensial tanah, dan kedalaman muka air tanah). Peralatan sensor lingkungan biofisik dipasang di stasiun MRV (Monitoring, Reporting, Verification) Estate Pulau Padang, Riau, yang menjadi areal konsensi PT RAPP. Stasiun MRV tersebut terletak pada koordinat 1°10'22.21"N dan 102°16'2.41"E.

Hasil pengukuran parameter cuaca di atas permukaan tanah disajikan seperti dalam grafik dibawah ini.



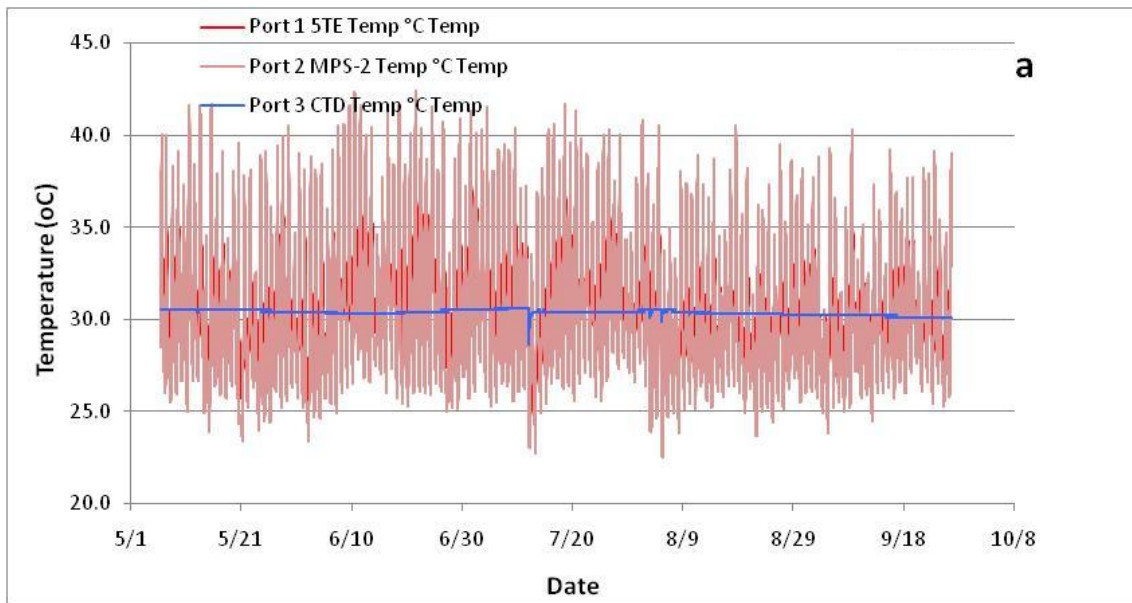
Gambar 7. Dinamika intensitas radiasi matahari



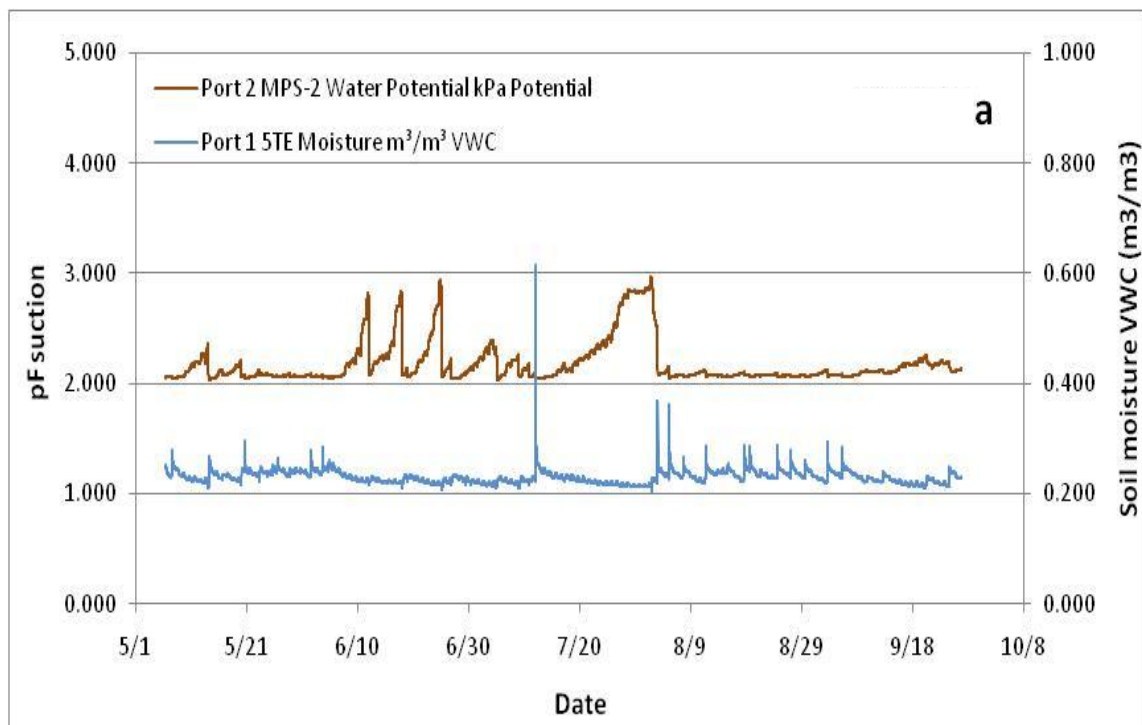
Gambar 8. Dinamika suhu dan kelembaban udara

Dari hasil pengukuran parameter cuaca menunjukkan lokasi penelitian termasuk daerah beriklim panas dan lembab. Hal ini ditunjukkan dengan tingginya nilai intensitas sesaat radiasi matahari yang mencapai maksimum sebesar $998 W/m^2$ dan suhu udara tertinggi mencapai $37.3^{\circ}C$. Kondisi kelembaban relatif udara berfluktuatif berkisar antara 44-100% dengan kelembaban relative udara rata-rata sebesar 88.9%, dimana kelembaban cenderung rendah pada siang hari dan meningkat pada malam hari bahkan mencapai kondisi jenuh pada tengah malam hingga menjelang terbitnya matahari. Hal ini disebabkan Pulau Padang merupakan daerah beriklim tropika basah. Selain itu lokasi penelitian yang merupakan pulau kecil dikelilingi oleh perairan Selat Malaka menyebabkan penguapan yang terjadi dari permukaan Selat Malaka meningkatkan

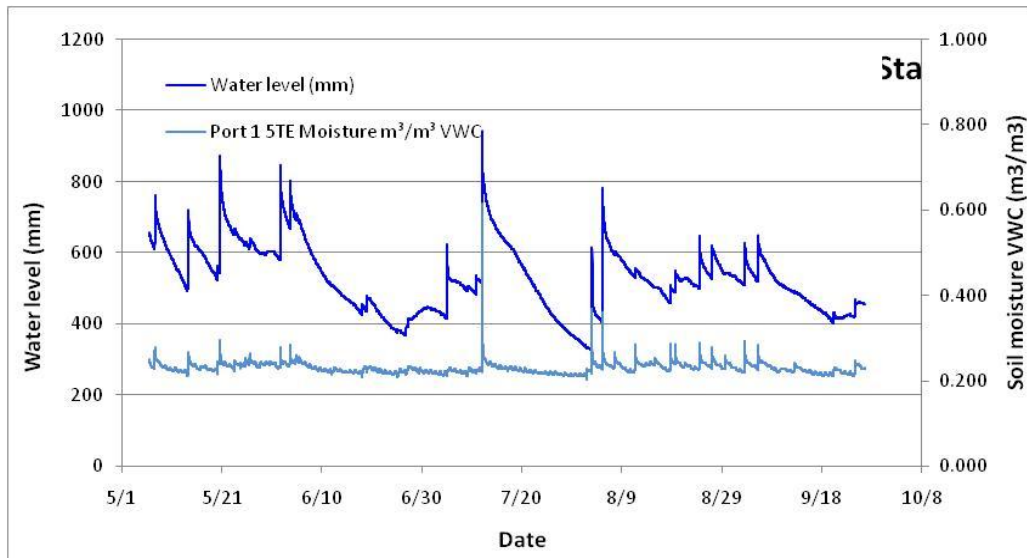
kandungan uap air di udara. Rata-rata suhu udara di lokasi penelitian adalah 27.4 °C dengan suhu minimum sebesar 20.4 °C dan suhu maksimum sebesar 37.3 °C



Gambar 9. Dinamika suhu tanah di lokasi penelitian



Gambar 10. Dinamika nilai hisapan matriks tanah dan kelembaban tanah



Gambar 11. Dinamika tinggi muka air tanah

Gambar 9 menunjukkan hasil pengukuran suhu tanah pada kedalaman 10 cm. Pada kedalaman 10 cm, suhu tanah sangat berfluktuasi pada kisaran 22-42 °C. Nilai temperatur tanah yang berfluktuasi sangat besar ini dipengaruhi oleh temperatur udara di atas permukaan tanah dan pertukaran panas dan energi dari udara ke tanah dan dari tanah ke udara melalui proses pindah panas secara konveksi. Udara panas akan diteruskan ke dalam tanah melalui lapisan-lapisan tanah dan sebagian disimpan dan diserap oleh tanah. Dengan demikian semakin ke dalam lapisan tanah maka temperatur akan cenderung lebih stabil dibandingkan di bagian permukaan tanah. Hal ini ditunjukkan dengan garis grafik biru pada Gambar 9, dimana garis biru merupakan suhu dibawah permukaan lahan gambut mengikuti tinggi muka air dalam gambut. Lokasi stasiun MRV Estate Pulau Padang merupakan areal terbuka tanpa ada naungan vegetasi sehingga radiasi matahari langsung mengenai permukaan lahan gambut. Sebagian energi radiasi matahari tersebut dipantulkan kembali ke udara dan sebagian diserap oleh permukaan lahan gambut dan diteruskan ke lapisan yang lebih dalam. Hal ini menyebabkan temperatur tanah lebih tinggi dibandingkan jika areal tersebut terdapat vegetasi.

Dinamika kelembaban tanah dan hisapan matriks tanah berubah mengikuti fluktuasi water level di dalam tanah. Gambut memiliki daya kapiler sehingga air dalam tanah gambut dapat membasahi tanah gambut bagian atas. Semakin dekat muka air tanah gambut dengan permukaan maka semakin cepat dan mudah basah tanah gambut bagian permukaan. Nilai pF juga dapat memberikan gambaran tentang tingkat kekeringan tanah. Semakin tinggi nilai pF maka semakin kering kondisi tanah. Untuk pertumbuhan tanaman yang optimum, nilai pF tanah sebaiknya pada antara kapasitas lapang dan sedikit dibawah titik layu permanen, atau memiliki nilai pF 2.5 – 4.2. Dari hasil

pengukuran, Stasiun MRV Estate Padang memiliki kelembaban tanah 0.204 – 0.613 *volumetric water content* (m^3/m^3) dengan hisapan matriks bervariasi dari 2.032 – 2.964 kPa (Gambar 10). Pada saat water level turun maka permukaan air dalam tanah menurun sehingga terjadi penurunan kelembaban tanah meskipun respon perubahan kelembaban tanah tidak secepat perubahan water level. Water level di stasiun MRV Estate Pulau Padang berada pada kisaran 325-941 mm dengan nilai rata-rata 526 mm (Gambar 11).

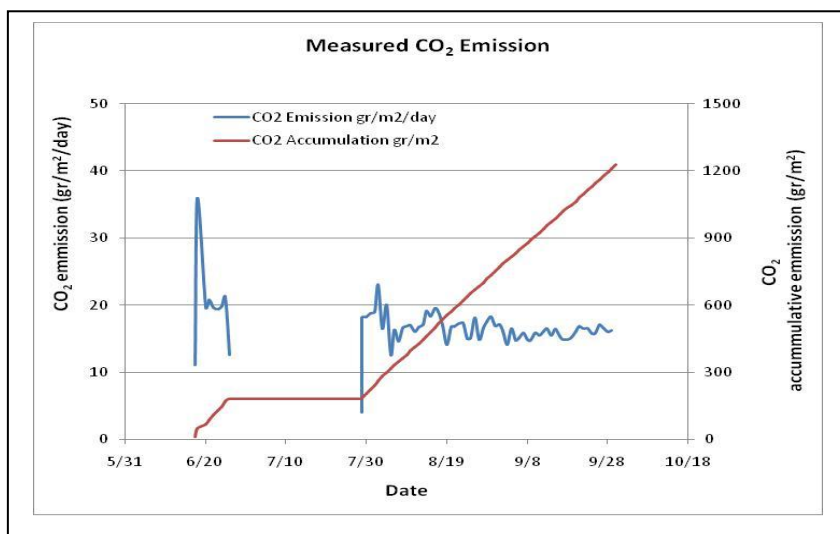
Kelembaban tanah juga dipengaruhi oleh curah hujan yang turun di lokasi stasiun MRV Pulau Padang. Berbeda halnya dengan water level yang memerlukan waktu untuk membuat lembab lapisan atas tanah gambut, curah hujan yang turun akan segera mempengaruhi kelembaban tanah. Hujan merupakan air yang jatuh dari atas langit dan turun ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang jatuh di atas permukaan tanah akan mengalir ke dalam tanah dengan gaya gravitasi sehingga akan melembabkan tanah. Curah hujan yang terjadi di stasiun MRV Estate Pulau Padang tercatat yang paling tinggi adalah 13.6 mm/jam.

5.2. Emisi Karbon

Hasil pengukuran menunjukkan nilai flux CO_2 lahan gambut memiliki nilai minimum sebesar $0.34 \text{ mmol.CO}_2/m^2/s$ yang terukur pada pukul 02:00 dinihari tanggal 5 Agustus. Nilai temperature dan kelembaban tanah yang terukur pada saat itu adalah $23.7^\circ C$ dan $0.310 \text{ m}^3/m^3$ VWC. Nilai emisi CO_2 maksimum tercapai dengan nilai emisi sebesar $7.34 \text{ mmol.CO}_2/m^2/s$ yang terukur pada pukul 04:00 pagi hari tanggal 4 Agustus. Nilai temperature dan kelembaban tanah yang terukur pada saat itu adalah $27.3^\circ C$ dan $0.233 \text{ m}^3/m^3$ VWC. Hal ini menunjukkan bahwa emisi CO_2 memiliki korelasi positif terhadap temperature tanah namun memiliki korelasi negative terhadap kelembaban tanah. Adapun nilai emisi rata-rata sebesar $0.706 \text{ g CO}_2/m^2.h$.

Gambar 12 menunjukkan nilai emisi harian CO_2 dan akumulasinya selama periode pengukuran. Emisi CO_2 berfluktuasi seiring dengan berjalannya waktu dan nilainya bervariasi tergantung kondisi lingkungan biofisik lahan gambut, dalam hal ini kondisi temperature dan kelembaban tanah serta curah hujan memiliki pengaruh terhadap nilai emisi CO_2 yang dilepaskan dari lahan gambut. Fluktuasi nilai emisi harian CO_2 disajikan seperti pada Tabel 1. Terjadi gangguan tekni pengukuran menyebabkan hasil pengukuran terputus seperti terlihat pada Gambar 12. Gangguan tersebut diantaranya, gangguan suplai listrik dan gangguan binatang liar yang menggigit kabel instrument. Selama 72 hari periode pengukuran, nilai akumulasi emisi CO_2 dari lahan gambut adalah sebesar $1227.70 \text{ g CO}_2 \text{ per m}^2$ ($12.28 \text{ ton CO}_2/ha$) atau 62.25 ton

CO₂/ha/thn. Nilai ini jauh lebih kecil dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh Hoijer et.al (2006) yakni sebesar 91 ton CO₂/ha/thn.

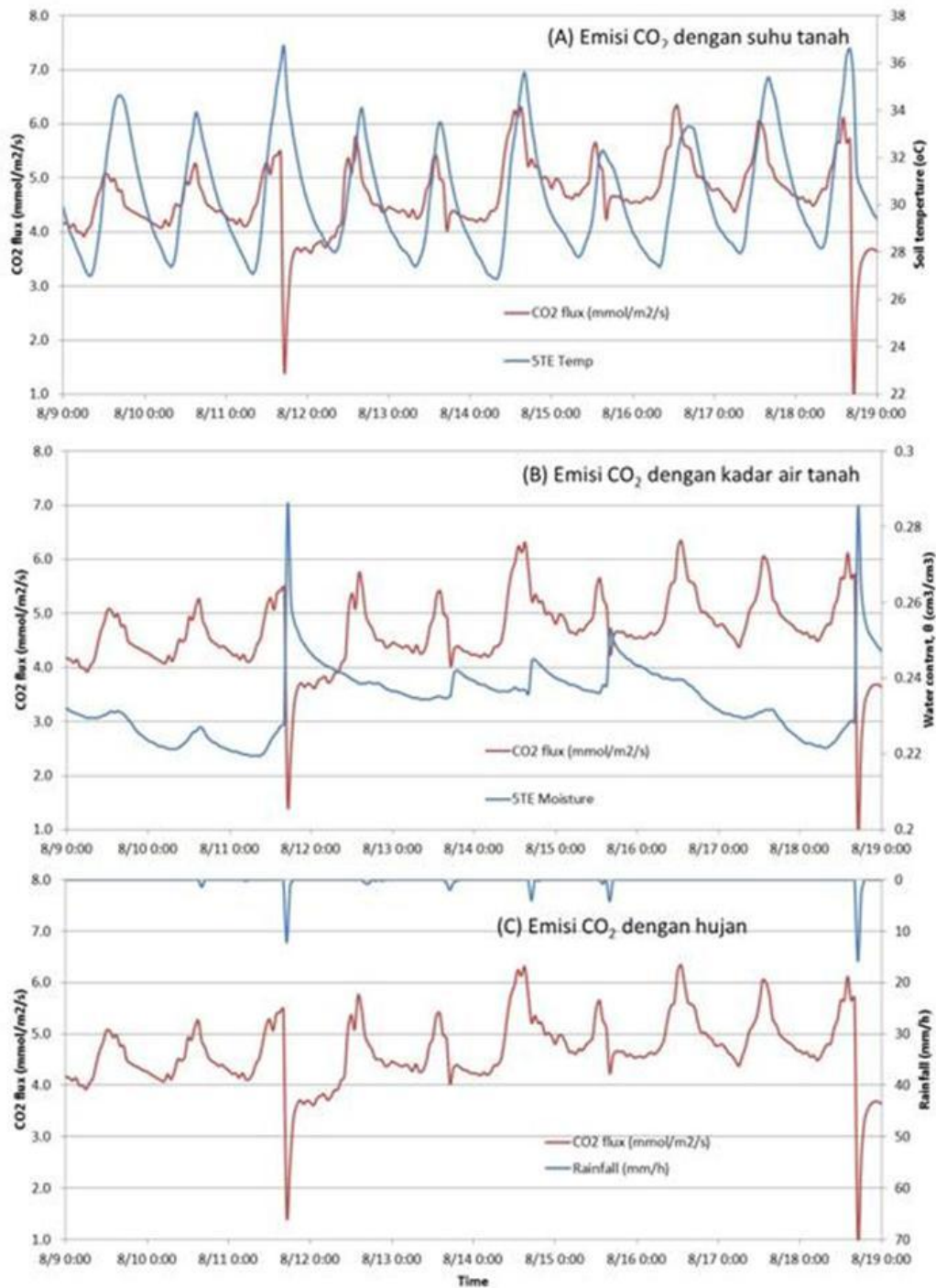


Gambar 12. Emisi CO₂ harian dan akumulasinya yang berasal dari lahan gambut terbuka

Tabel 1. Nilai Fluks CO₂ dari lahan gambut terbuka.

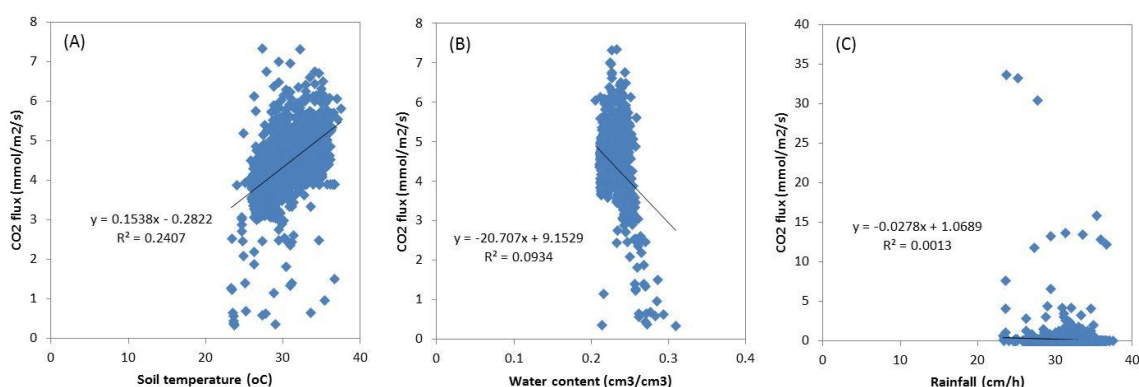
	Jam (g/m ² .h)	Harian (g/m ² .d)	Tahunan (ton/ha.year)	Akumulasi
Minimum	0.061	3.97	14.47	12.28 (ton/ha.72d)
Rata-rata	0.706	16.82	61.82	
Maksimum	1.129	35.92	131.12	

5.3. Hubungan antara emisi karbon dan parameter lingkungan biofisik



Gambar 13. Dinamika Emisi CO₂, suhu tanah, kelembaban tanah dan curah hujan.

Gambar 13. Menunjukkan grafik dinamika emisi CO₂, suhu dan kelembaban tanah serta curah hujan. Pada Gambar 13 terlihat bentuk kurva flux emisi CO₂ mengikuti perubahan suhu tanah membentuk kurva sinusoidal dimana secara umum tertinggi saat siang hari dan terendah saat malam hari dengan rentang flux CO₂ antara 4-6 mmol/m²/s dan suhu antara 24-36 °C. Hal ini disebabkan kenaikan temperature meningkatkan kecepatan metabolisme mikroorganismenya di dalam tanah yang berperan aktif dalam proses dekomposisi bahan organik. Laju peningkatan ini akan lebih besar pada tanah yang memiliki rasio C/N tinggi (Karhu et.al, 2014). Grafik fluks CO₂ juga berubah seiring dengan perubahan kondisi kelembaban tanah, namun responnya lebih lambat dibandingkan dengan perubahan fluks CO₂ yang diakibatkan oleh perubahan suhu tanah. Pada saat hujan terjadi, curah hujan yang turun membasahi lahan gambut dan menyebabkan peningkatan kelembaban tanah. Hal ini menyebabkan fluks CO₂ turun. Penurunan flux emisi CO₂ menjadi sekitar 1-2 mmol/m²/s terjadi secara tiba-tiba saat terjadi kenaikan kadar air tanah dari 0.23 menjadi 0.28 cm³/cm³ yang disebabkan hujan, dimana pori tanah terisi oleh air sehingga aerasi berkurang. Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian yang diperoleh oleh Fang dan Moncrieff (2001). Grafik hubungan antara fluks CO₂ dengan suhu dan kelembaban tanah serta curah hujan disajikan pada grafik 14.

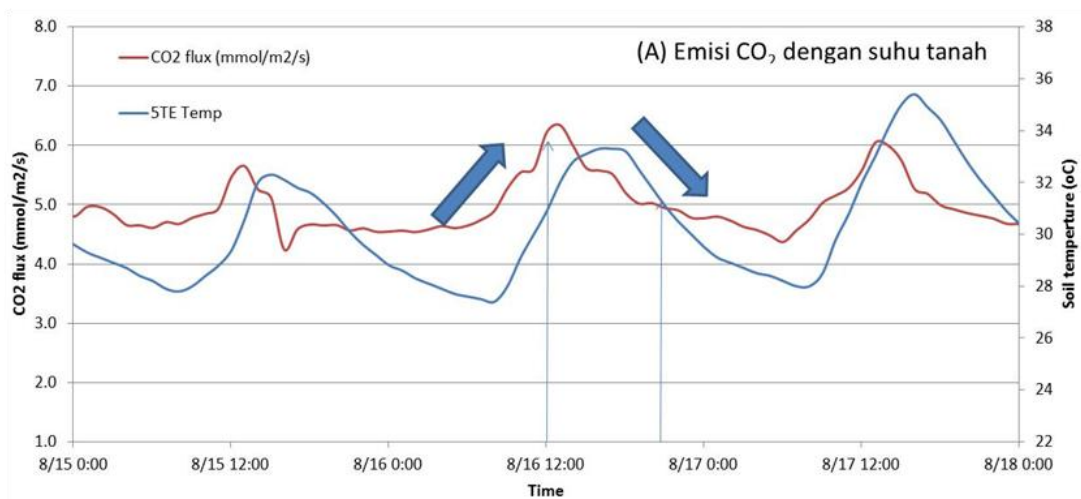


Gambar 14. Grafik hubungan fluks CO₂ dengan suhu, kelembaban tanah dan curah hujan.

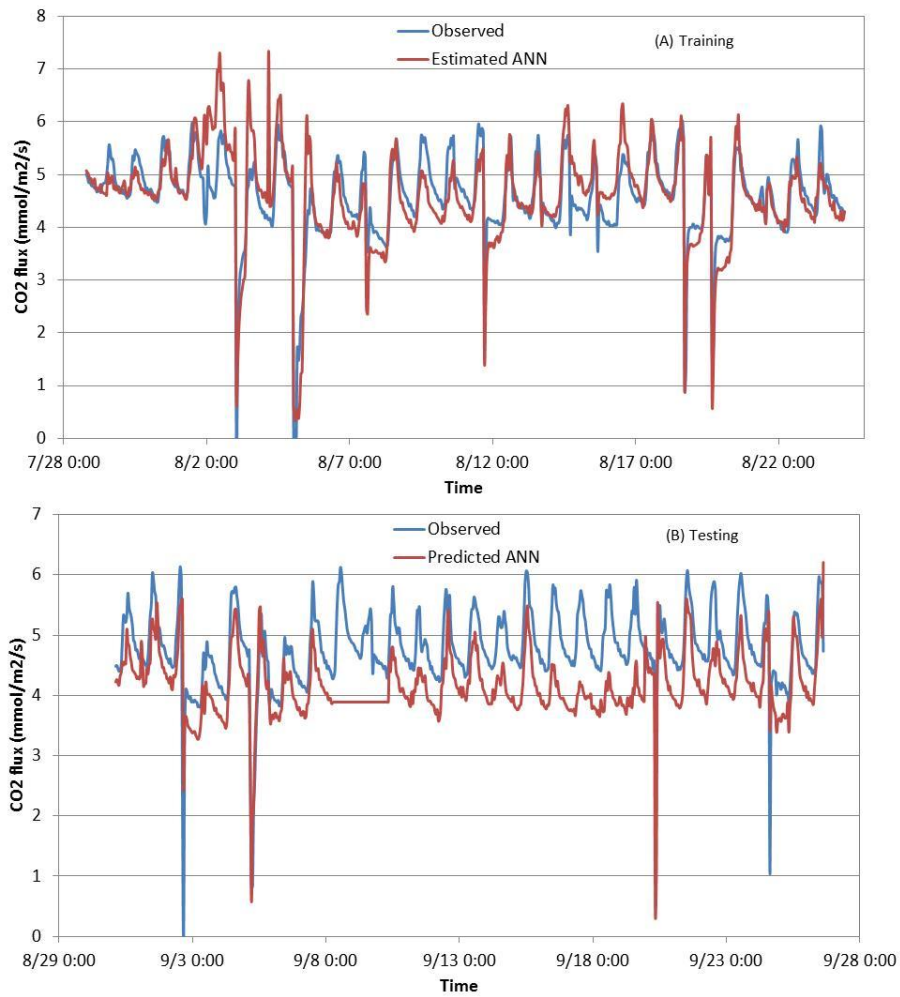
5.3. Model pendugaan emisi karbon

Gambar 14 menunjukkan hubungan fluks CO₂ dengan suhu, kelembaban tanah dan curah hujan secara terpisah masing-masing parameter. Hubungan antara fluks CO₂ dengan suhu tanah memiliki koefisien korelasi sebesar 0.24 dan koefisien korelasi antara fluks CO₂ dengan kelembaban tanah sebesar 0.09. Koefisien korelasi yang paling rendah adalah antara fluks CO₂ dengan curah hujan. Hal ini diduga karena masing-masing parameter lingkungan biofisik tidak mempengaruhi fluks CO₂ secara sendiri-sendiri

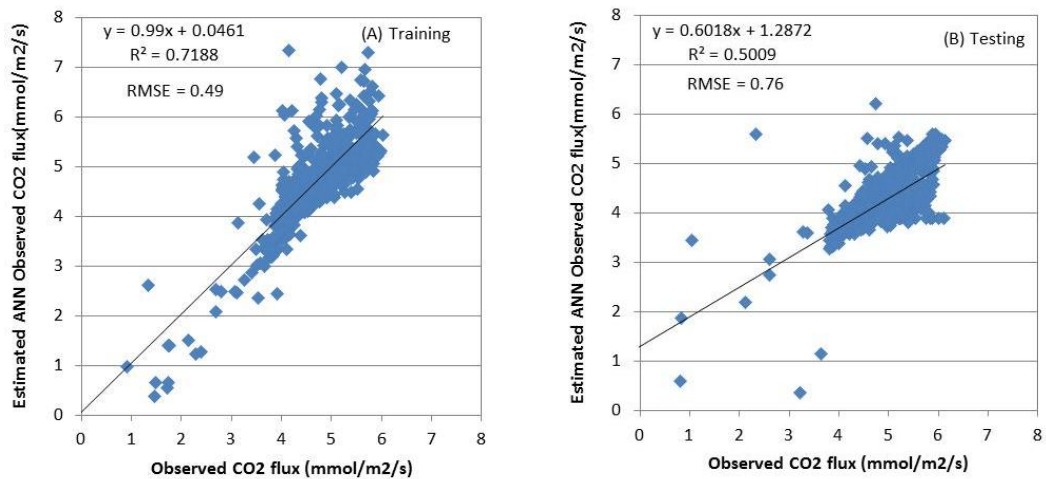
namun saling berkaitan. Untuk itu model ANN digunakan untuk memprediksi fluks CO_2 dengan menggunakan parameter suhu dan kelembaban tanah sebagai input yang digunakan secara bersama-sama guna mendapatkan model pendugaan fluks CO_2 . Parameter input lain yang digunakan selain temperature dan kelembaban tanah adalah gradient (perubahan) temperature dan kelembaban tanah. Hal ini didasarkan pada hasil yang menunjukkan pada temperature tanah yang sama namun menghasilkan fluks CO_2 yang berbeda (Gambar 15). Gradient temperature diperoleh dengan memberikan input suhu dan kadar air satu jam sebelumnya, sehingga diketahui kecenderungan perubahan temperature dan kelembaban tanah.



Gambar 15. Pengaruh gradient temperature terhadap fluks CO_2



Gambar 16. Hasil pendugaan nilai fluks CO₂ dengan menggunakan metode ANN



Gambar 17. Hubungan antara nilai fluks CO₂ hasil pengukuran dengan hasil pendugaan

Gambar 16 dan 17 menunjukkan hasil pengolahan data temperature dan kelembaban tanah untuk menduga nilai fluks CO₂ dengan menggunakan metode ANN. Hasilnya

menunjukkan pendugaan nilai fluks CO₂ h baik training maupun testing dapat mengikuti pola perubahan flux CO₂ dengan nilai koefisien korelasi R² dan RMSE berturut-turut adalah sebesar 0.71 dan 0.49 untuk training dan 0.5 dan 0.76 untuk testing. Penurunan akurasi estimasi saat testing disebabkan base line data flux CO₂ turun dari sekitar 4.1 mmol/m²/s saat training menjadi sekitar 0.38 saat testing, akibatnya testing ANN menunjukkan *overestimate*.

VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Tahun kedua pada penelitian ini akan difokuskan pada kegiatan pengukuran dan penghitungan guna mengetahui stok karbon di atas permukaan tanah. Tegakan/pohon yang ada di dalam plot yang telah ditentukan akan diukur diameter dan tinggi pohon untuk perkiraan jumlah biomasa yang terkandung dalam pohon. Selanjutnya persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh Setiawan et.al (2013) digunakan untuk mengitung cadangan karbon di atas permukaan tanah.

Sampel stok karbon di atas permukaan diambil pada setiap penggunaan lahan yang telah ditentukan. Pengukuran pohon dilakukan dengan mengukur diameter batang pada ketinggian setinggi dada (dbh = stem diameter at breast height = 137 cm di atas permukaan tanah) dari setiap pohon dihitung pada 6 lingkaran sub-plot dengan radius 10 m. Pohon termasuk seluruh batang berkayu yang hidup dengan dbh < 5 cm, dan setiap batang yang telah mati dengan dbh \geq 5 cm jika sudut dari tegak lurus adalah kurang dari 45°. Data tentang spesies, dbh hidup/mati dan tinggi (H), kondisi mati/rusak dicatat untuk seluruh individu pohon. Batang berkayu dengan dbh < 5 cm, dikenal sebagai anakan, diukur dengan cara yang sama dengan pohon, namun hanya pada radius 2 m pada setiap sub-plot. Woody debris didefinisikan sebagai bagian tanaman berkayu yang telah mati (ranting/twigs, cabang atau batang dari pohon atau semak) yang telah jatuh dan terletak di permukaan tanah. Batang yang tergeletak dan membentuk sudut >45° dari tegak lurus juga termasuk. Pohon yang dihitung harus berada di dalam atau di atas lapisan serasah. Pohon tidak dihitung jika pusat axis tertimbun tanah pada titik persimpangan/intersection. Cabang yang mati dan batang yang masih terhubung dengan pohon atau semak berdiri tidak termasuk dalam perhitungan. Data diameter pohon dan anakan dimasukkan dalam persamaan allometrik untuk menduga biomassa pohon di atas permukaan tanah menggunakan persamaan allometrik bagian atas permukaan untuk Hutan Rawa Gambut dan Perkebunan (Krisnawati, 2012)

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan:

1. Sistem pengukuran dan monitoring parameter lingkungan biofisik yang telah disusun telah dapat berfungsi dengan baik yang meliputi parameter cuaca dan lingkungan biofisik dalam tanah (suhu dan kelembaban tanah)
2. Emisi karbon yang terjadi pada lahan gambut terbuka tanpa vegetasi, terukur sebesar 62.25 ton CO₂/ha/thn
3. Emisi karbon memiliki hubungan positif dengan temperature tanah namun memiliki hubungan negative dengan kelembaban tanah dan curah hujan
4. Model pendugaan emisi karbon yang dikembangkan dengan menggunakan metode ANN berdasarkan data temperature dan kelembaban tanah serta curah hujan dapat digunakan untuk menduga fluks CO₂ nilai koefisien korelasi R² dan RMSE berturut-turut adalah sebesar 0.71 dan 0.49 untuk training dan 0.5 dan 0.76 untuk testing.

Saran:

1. Pengukuran emisi karbon di bawah tegakan dan perhitungan cadangan karbon di atas permukaan tanah perlu dilakukan pada tahun kedua untuk menghitung nilai *net carbon*.

DAFTAR PUSTAKA

- Buchmann, N. 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology & Biochemistry* 32 (2000) 1625±1635
- Chimmer, R.A., and Cooper, D.J. 2003. Influence of water table levels on CO₂ emissions in a Colorado subalpine fen: an in situ microcosm study. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 345–351
- Davidson, E.A. and Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 449(9): 165-173
- Davidson, E.A. Verchot, L.V., Cattanio, J.H., Ackerman, I.L., Carvalho. 2000. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48: 53–69,
- Epron, D., Farque, L., Lucot, E., and Badot, P.M. 1999. Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. *Ann. For. Sci.* 56: 221-226.
- Fang, C. and Moncrieff, J.B. 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology & Biochemistry* 33:155-165
- Harmon, M.E. and SeMg, J. 1996. Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, College of Forest Resources, Seattle, USA. 73p.
- Heriansyah, Ika, Potensi Hutan Tanaman Industri Dalam Mensequester Karbon-Studi Kasus di Hutan Tanaman Akasia dan Pinus, Vol.3/XVII/Maret, Iptek, 2005.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. & Page, S. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ Emissions From Drained Peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics Report Q3943, Delft, The Netherlands, 36 pp.
- Karhu, K., Marc D. A., Jennifer A. J. Dungait, David W. H, James I. P., Brajesh K. S., Jens-Arne S, Philip A.W., Göran I.A. G, Maria T.S., Fabrice G., Göran B., Patrick M., Andrew T. N., Norma S. and Iain P. H. 2014. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. *Nature* 513:81-84.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W.C., dan Imanuddin, R. 2012. Monograf Model-Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia. Pusat Penelitian dan

Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Kementerian Kehutanan. Bogor.

Rodney A. Chimner*, David J. Cooper. 2003. Influence of water table levels on CO₂ emissions in a Colorado subalpine fen: an in situ microcosm study. *Soil Biology & Biochemistry* 35 (2003) 345–351

Scala, N.L.Jr. Panosso, A.R. and Pereira, G.T. 2003. Modelling short-term temporal changes of bare soil CO₂ emissions in a tropical agrosystem by using meteorological data. *Applied Soil Ecology* 24 (2003) 113–116

Setiawan, B. I. and Sumawinata, B. 2013. Direct and Indirect Measurements CO₂ Flux Emission in Peatlands. Workshop of Methodology of Measuring Emission from Peatlands for REDD+, UKP4. Jakarta, 06 Nov. 2013

Setiawan, B.I. and Mustafiril. 2013. Laporan Project implementation unit – studi ekosistem rawa tripa. Universitas Syiah Kuala.

Setiawan, B.I., Shafiq Arifianto, M. Taufik, Najib Asmani, Suwarso, Adrianto. 2013. Biomass & Carbon Accumulation of Acacia Trees in Tropical Peatlands. FGD Gambut 04: “Metodologi Analisis, Pengukuran dan Pemantauan Biomass dan Karbon di Lahan Gambut. Kerjasama Fateta-IPB, HGI dan Sinarmas Forestry. Bogor, 22 Februari 2013

Smart, D.R. and Peneulas, J. 2005. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. *Applied Soil Ecology* 28 (2005) 247–257

Wahyunto, S. Ritung, Suparto, dan H. Subagjo. 2005a. Sebaran Gambut dan Kandungan Karbon di Sumatra dan Kalimantan. Wetland International Indonesia Programme. Bogor.

Wahyunto, Suparto dan B. Heryanto. 2005b. Sebaran Gambut di Papua. Wetland International Indonesia Programme. Bogor

Wibowo, P. and N. Suyatno. 1998. An Overview of Indonesia Wetland Sites-II (an Update Information): Included in the Indonesia Wetland Database. Wetlands International- Indonesia Programme dan Dirjen PHPA. Bogor.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto-foto kegiatan penelitian



Pengukuran dan analisis CO₂

Satyanto K. Saptomo (SIL-IPB)
Yudi Chadirin (SIL-IPB)
Kazutoshi Osawa (Utsunomiya University)

Isi

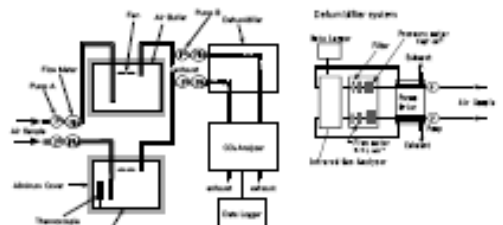
- Metode-metode pengukuran emisi CO₂
- Konversi unit untuk fluks CO₂
- Pengukuran-pengukuran lainnya
- Metode analisis

Pengukuran Laju Emisi CO₂ Metode Kamar Tertutup (Closed chamber method)



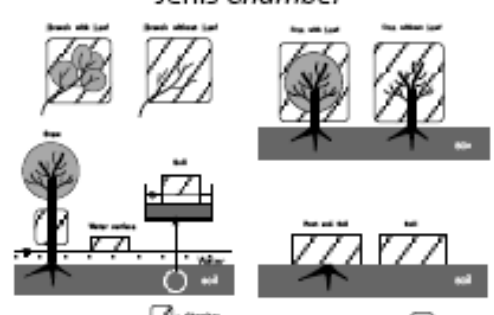
Konsentrasi CO₂ dari waktu ke waktu diukur dengan menggunakan Gas Analyzer. Perubahan konsentrasi yang terukur digunakan untuk menghitung fluks. Analisis dapat dilakukan juga secara manual.

Pengukuran Laju Emisi CO₂ Metode Jalur Terbuka (Open pass method)



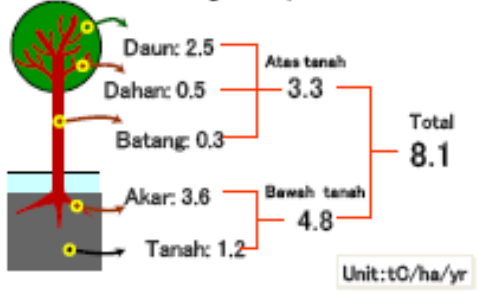
Mengukur perbedaan konsentrasi CO₂

Jenis Chamber



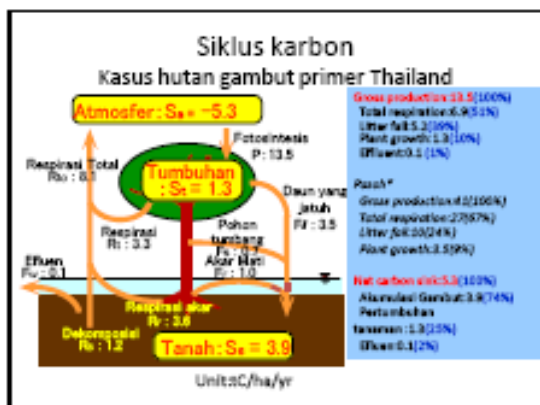
Laju respirasi tahunan

Contoh kasus hutan gambut primer di Thailand



Daun: 2.5	Atas tanah	3.3	Total	8.1
Dahan: 0.5				
Batang: 0.3				
Akar: 3.6	Bawah tanah	4.8		
Tanah: 1.2				

Unit: tC/ha/yr



Konversi unit fluks CO2

1 (ppmV) of CO₂ = 1×10^6 (m³ CO₂/m³ Air)

Under the standard state, 0 (°C) and 1 (atm), 1 (mol) of CO₂ = 0.0224 (m³ CO₂)

In the T (°C) situation, 1 (mol) of CO₂ = $\frac{0.0224 \times (273.15 + T)}{273.15}$ (m³ CO₂)

1 (mol) of CO₂ = 44 (g CO₂)

1 (m³ CO₂) = $\frac{44 \times 273.15}{0.0224 \times (273.15 + T)}$ (g CO₂)

Konversi unit fluks CO2, lanjutan.

When the chamber volume is V (m³ Air) and rate of increase of CO₂ is $\Delta C / \Delta t$ (ppmV/s), CO₂ emission rate is as follows,

$$I_1 = \frac{44 \times 273.15 \times V \times \Delta C / \Delta t}{0.0224 \times (273.15 + T)} \text{ (g CO}_2\text{/s)} = \frac{273.15 \times V \times \Delta C / \Delta t}{0.0224 \times (273.15 + T)} \times 10^{-3} \text{ (mol/s)}$$

When the sectional area of chamber is A (m²), CO₂ emission rate per unit area is as follows,

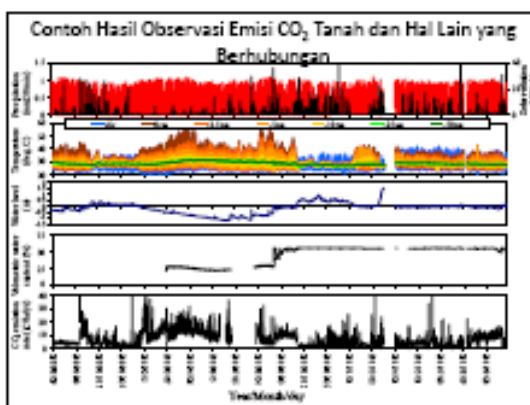
$$I_2 = \frac{44 \times 273.15 \times V \times \Delta C / \Delta t}{0.0224 \times (273.15 + T) \times A} \text{ (g CO}_2\text{/m}^2\text{/s)} = \frac{273.15 \times V \times \Delta C / \Delta t}{0.0224 \times (273.15 + T) \times A} \times 10^{-3} \text{ (mol/m}^2\text{/s)}$$

or

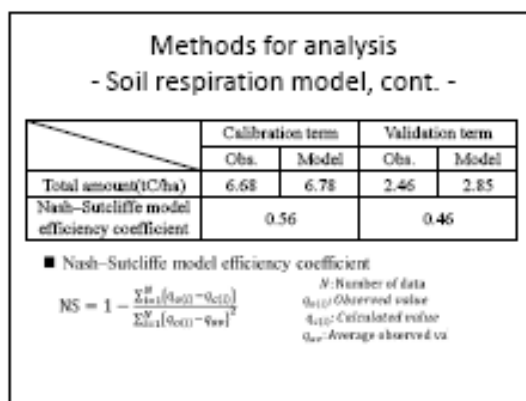
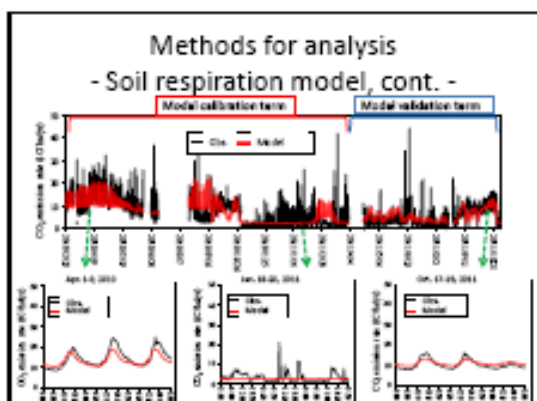
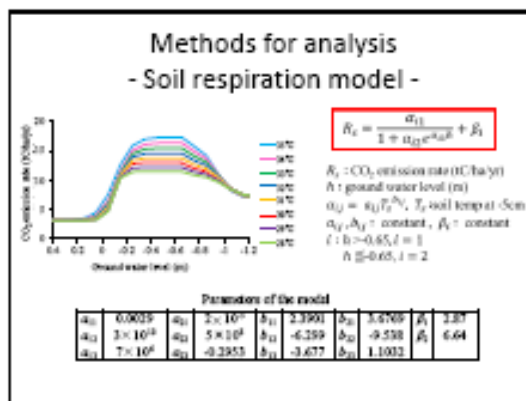
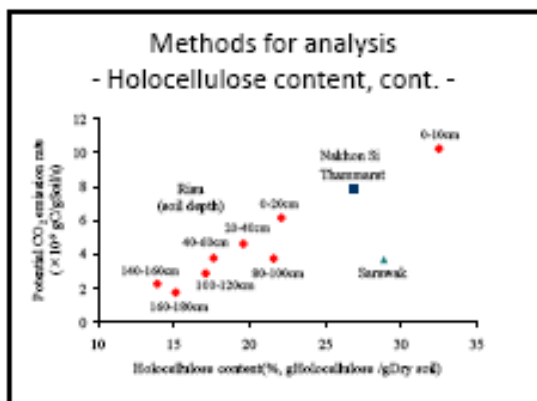
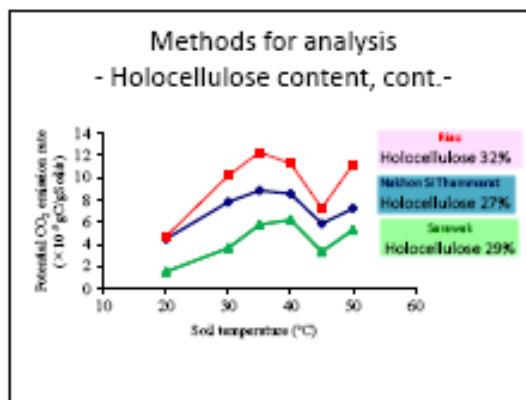
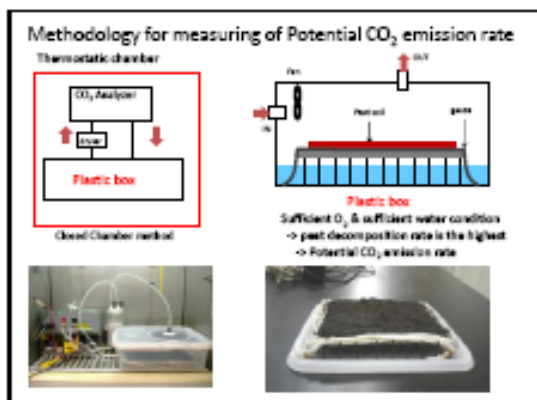
$$I_3 = \frac{44 \times 273.15 \times V \times \Delta C / \Delta t}{0.0224 \times (273.15 + T) \times A} \times \frac{365}{24} \times 10^3 \times 365 \times 24 \times 1000 \text{ (tC/ha/yr)}$$

Example of measured data by closed chamber method

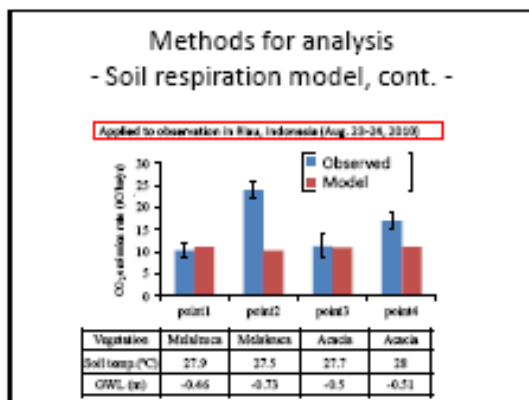
- ### Detail pengukuran lainnya
- Temperatur tanah
 - Hujan, muka air tanah, kelembaban tanah
 - Bulk density
 - Holocellulose content (Campuran selulosa dan hemiselulosa)
 - Jumlah bakteri anaerobik
 - Emisi CH₄



Lampiran 2. Bahan Ajar



Lampiran 2. Bahan Ajar



Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

CO₂ Emission from Bare Peat Land Using Continues Measurement

Yudi Chadirin¹, Satyanto K. Saptomo², Budi I. Setiawan³, Kazutoshi Osawa⁴, Dian Novarina⁵

¹Department of Civil and Environmental Engineering, IPB
²Department of Civil and Environmental Engineering, Universitas Uinir
³TAAP Management Indonesia

Background

Peatland Distribution in Indonesia (Unit: x 10⁶ ha)

Region	Original Size	Remaining Size	Protected
Sumatera	7,282	4,4613	341
Kalimantan	4,413	3,331	237
Sulawesi	44		
Meluku		42	1
Irian Jaya	8,910	8,753	1,882
Total	20,697	16,975	2,481

Challenges for sustainable management of peatland

(Wetlands International)

Background

- CO₂ is produced by respiration from plant roots and microorganisms surrounding the roots, and from heterotrophic microorganisms that metabolize plant litter and soil organic matter.
- Respiration and metabolism depend strongly on environment condition i.e. temperature, so it is not surprising to find that CO₂ efflux from the soil is also temperature dependent.
- Environment conditions and soil CO₂ flux vary substantially in both space and time.

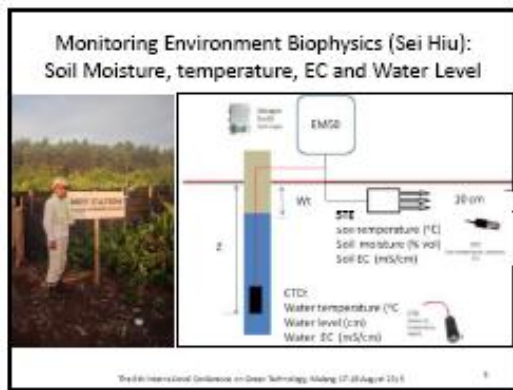
CO₂ Emission Measurement: Closed Chamber

CO₂ Emission Measurement: C-Stock & Subsidence

Background

Hooijer, 2006 - 91 tCO₂/ha/year
 Page, 2011 - 93 tCO₂/ha/year
 Accepted by IPCC


Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015



Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

Initial Setup


Using the Auxiliary Sensor Interface
 The Auxiliary Sensor Interface attaches to the side of the Analyzer Control Unit and allows for connection of your choice of sensors, or an alternative power supply. The Auxiliary Sensor Interface is O-ring sealed, and has connections for up to 4 thermocouples (types E, J, or T, or raw), and 4 general purpose input voltage channels, any of which can be configured to measure a soil moisture probe. Sensors can be powered externally or by the LI-5100 with a constant 5 VDC source. The Auxiliary Sensor Interface also has a 12-28 VDC input (3A maximum) for use with external power.



The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

Initial Setup

Measuring the Chamber Offset
 The chamber offset is used to determine the volume of air inside the soil collar, which is in turn used to calculate the total system volume. The total system volume is an important part of the flux calculation, so it should be determined as accurately as possible. With the Long-Term Chamber, the chamber offset is measured by the distance between the soil surface and the upper edge of the chamber base plate.



The chamber offset for the Long-Term Chambers is measured by the distance between the soil surface and the upper edge of the chamber base plate. First measure the distance from the soil surface to the top of the collar, and then subtract the distance between the upper edge of the chamber base plate and the top of the soil collar to obtain the offset value. This value should be as close to 0 mm as possible, since the default Long-Term Chamber volume value in the software accounts for displacement by the collar.

The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

CO₂ FLUX Continues Measurement



Li-Cor 8100 Automated Soil CO₂ Flux System

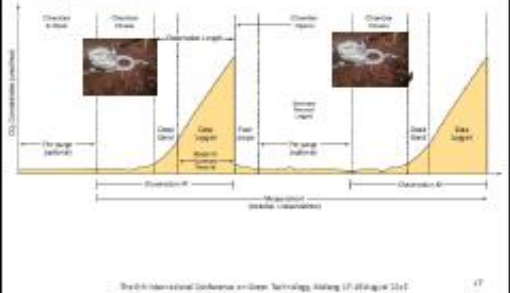
The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

Data Acquisition

- CO₂ data is acquired on hourly basis, three times replication each, automatically
- Data is stored in the device's memory
- Data is downloaded to computer every 2 weeks

The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

Making Measurements



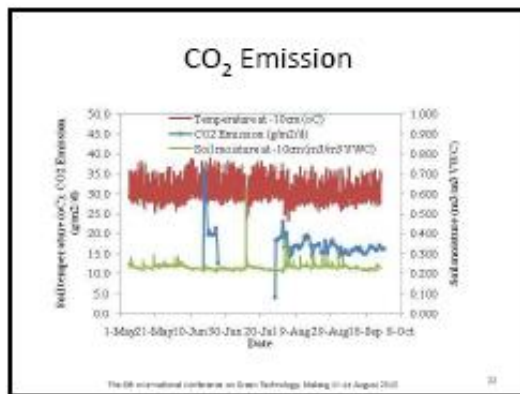
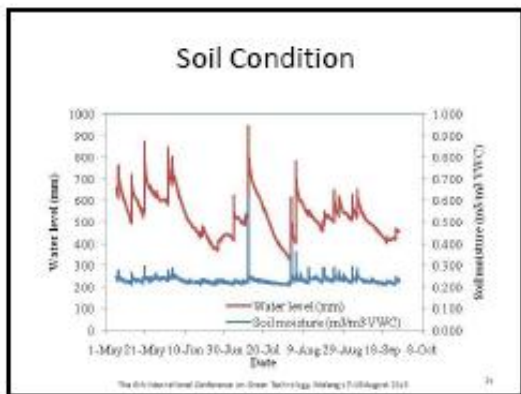
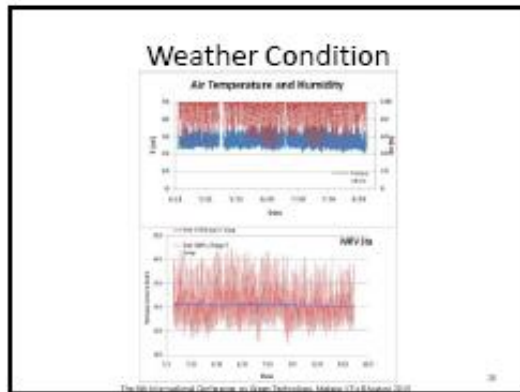
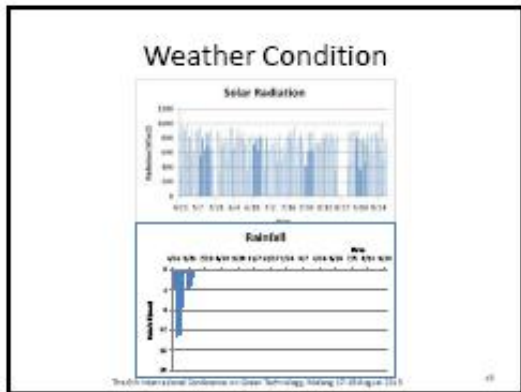
The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

MRV Monitoring Station



The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015

Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015



CO₂ Emission

	Hourly (g/m ² .h)	Daily (g/m ² .d)	Yearly (ton/ha.year)	Accumulation
Min	0.061	3.97	14.47	12.28
AVR	0.706	16.82	61.82	(ton/ha.72d)
Max	1.129	35.92	131.12	

Conclusions

- CO₂ flux had wide variation during measurement because of change of environmental biophysics
- It's suggested to conduct continues measurement rather than occasional measurement for accurate CO₂ emission

Lampiran 3. Slide Presentasi disajikan pada seminar internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015



CO₂ Emission from Bare Peat Land Using Continues Measurement

Yudi Chadirin^{1*}, Satyanto K. Saptomo¹, Budi I. Setiawan¹, Kazutoshi Osawa², Dian Novarina³

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Bogor Agricultural University (IPB), Bogor 16680, Indonesia

²Department of Civil and Environmental Engineering, Utsunomiya University, Utsunomiya, Japan

³PT April Management Indonesia, Jakarta, Indonesia

ARTICLE INFO

Received
Received in revised form
Accepted
Available online

Keywords:

CO₂ emission, Peat Land,
Continuous Measurement

ABSTRACT

Background: Environment parameters that contribute to CO₂ emission are very dynamic and easy to change by time. **Objectives:** to study CO₂ emission from bare peatland by continuous measurement. **Results:** Soil moisture had average condition at 0.230 m³/m³ volumetric water content (VWC) with the wettest of soil moisture was 0.614 m³/m³ while the driest was 0.203 m³/m³, water table was maintained in range of 300 - 900 mm. Hourly CO₂ emission had minimum 0.061 g/m²/h, average 0.706 g/m²/h and maximum 1.129 g/m²/h (STDEV ±0.123) and when it's calculated as one day emission had value of minimum 3.97 g/m²/day, average 16.82 g/m²/day, and maximum 35.92 g/m²/day (STDEV ± 3.37). **Conclusion:** peat CO₂ emission from bare peat land varied and influenced by soil environmental such as water level, soil moisture and temperature. It's suggested to measure the CO₂ efflux in continuous time rather than instantaneous measurement method to avoid extrapolation and to provide more accurate result total emission yearly.

© 2015 AENSI Publisher All rights reserved.

To Cite This Article: Yudi Chadirin^{1*}, Satyanto K. Saptomo¹, Budi I. Setiawan¹, Kazutoshi Osawa², Dian Novarina, CO₂ Emission from Bare Peat Land Using Continues Measurement. *Adv. Environ. Biol.*, x(x), x-x, 2015

INTRODUCTION

Indonesia has peatland about 20.6 million hectares and cover almost 10% of the land surface. 35% of that peatland located in Sumatera [1]. This peatland was being developed for agriculture such as palm oil and plywood plantation. As drainage peatland for agriculture activities, CO₂ was produced by heterotrophic and

autotrophic processes in peat and emitted to the atmosphere. Many studies were conducted to monitor CO₂ emission regarding environment concern in agriculture production industries in any soil types [2,3,4,5,6].

Measurement of net CO₂ emission can be conducted by indirect and direct methods. Direct methods can be conducted by using flux tower based on Eddy Covariance measurements and need high investment. Indirect methods conducted by using carbon budget analysis to estimate source/sink and emission from land. Thus, there is a need to provide data of soil emission. Previous studies of soil emission were conducted based on eventual measurement not continuous measurement [2,3,6,7]. These data were used to obtain yearly emission by extrapolation from average value [2,7] and to develop models for prediction of soil emission based on environment parameters that contribute to CO₂ emission such as soil moisture, temperature and water level [5,8,9,10]. These environment parameters were very dynamic and easy to change by time. Thus using average data to calculate yearly emission could contribute to inaccuracy in yearly total emission. Therefore it's important to provide data of CO₂ emission from peat for more accurate yearly CO₂ flux. This experiment was conducted to study CO₂ emission from bare peatland by continuous measurement.

METHODOLOGY

The location of observation is a bare field that was dedicated for monitoring station, at a site of pulpwood plantation in Padang Island, Sumatera. Emission of CO₂ from soil was measured by using Li-8100 Automatic Soil CO₂ Emission Measurement System (Licor, USA). The system includes mechanical chamber and gas analyzer unit. This measurement system was powered by electricity but later then powered by solar panel due electric power failure from the end of June until the end of July. Soil emission was measured from area that covered by mechanical chamber and the movement of chamber was controlled by the gas analyzer unit. Using internal pump, air from chamber flows to the gas analyzer unit and CO₂ concentration was measured by Infra Red Gas Analyzer (IRGA) sensor. Furthermore change of CO₂ concentration per time was calculated to obtain CO₂ efflux. Reading of Li-8100 is displayed as CO₂ emission per unit area and stored as data in detachable memory card. Measurement of CO₂ was set to be conducted hourly with 3 times replication. The hourly average CO₂ emission was obtained as average from those replications. Total emission for one day was calculated using integration of emission curve. This integration is made numerically using trapezoidal area methods which is by calculates area of each trapezoid and sum all of the area as shown in Eq. 1.

$$eCO2n = \sum_{t=1}^{24} (0.5(eCO2_{t-1} + eCO2_t) \cdot 3600) \quad (1)$$

Environmental biophysics were measured and monitored to provide environment conditions along measurement of CO₂ emission. Soil environments measured by using sensor Decagon 5TE for soil moisture, temperature and electrical conductivity, Decagon MPS2 for matrix potential and Decagon CTD for depth of water level. Those sensors were connected to data logger (Decagon, EM50) for recording the measurements data. Data were recorded in 15 minutes interval.



Fig. 1. Automatic soil CO₂ flux system Li-8100 consists of chamber (left) and analyzer unit (right).

RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 2 shows the dynamic of soil moisture at 10 cm depth below soil surface and water level below the ground. Water level in this area was varied from 325 mm to 941 mm with average 526 mm. Soil moisture had average condition at 0.230 m³/m³ volumetric water content (VWC). The wettest of soil moisture was 0.614 m³/m³ while the driest was 0.203 m³/m³. This study was conducted in pulpwood plantation which is *Acacia crassicarpa* as main vegetation. Water table in site area is maintained in range of 300 - 900 mm using drainage canals for the purpose of best management practice of acacia plantation and to prevent fire risk too. Soil moisture is varied as water level underground changed by rainfall or drainage through canals drainage system. In a rainfall event, peat VWC immediately increased because rainwater fall and wetting peat surface. Furthermore rainwater drained and infiltrated through the peat and storage as water table underground. As porous material, peat has capillarity to maintain wetness peat at surface using water table underground during prolonged dry period. Thus diurnal of soil moisture had same pattern with diurnal of water level but slower respond to water table change.

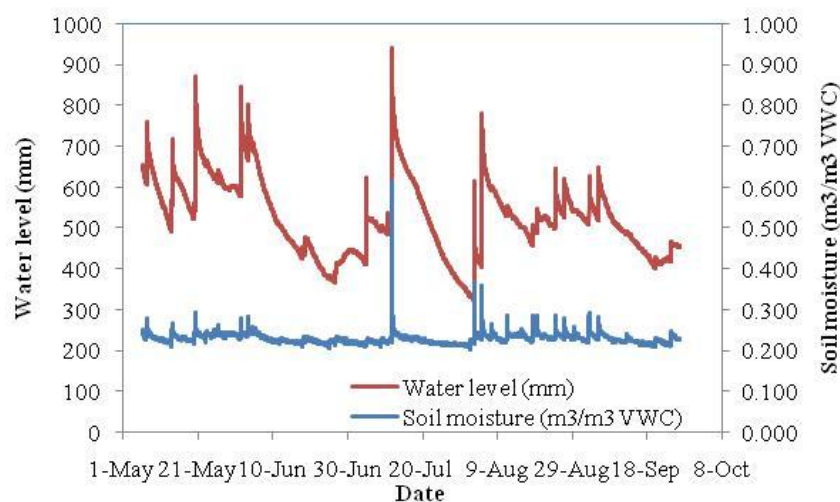


Fig. 2: Diurnal water level underground and soil moisture at -10 cm depth

Figure 3 shows diurnal CO₂ emission, soil moisture and temperature at -10 cm depth. At depth of 10 below peat surface, peat temperature was highly varied and responded quickly as air temperature change. This is because of radiant energy exchange occurred at peat surface and still affected at 10 cm depth below peat surface [11]. CO₂ emission varied for both of daily and hourly measurement. Hourly CO₂ emission had minimum 0.061 g/m²/h, average 0.706 g/m²/h and maximum 1.129 g/m²/h (STDEV ±0.123) and when it's calculated as one day emission had value of minimum 3.97 g/m²/day, average 16.82 g/m²/day, and maximum 35.92 g/m²/day (STDEV ± 3.37). CO₂ peat emission was influenced by soil moisture and temperature. The figures suggest that CO₂ emission increase as temperature (air or soil) increase and decrease as soil moisture increases (Figure 3). It has been known that biological and chemical processes are dependent to temperature. In the other hand water in soil has opposite correlation, the higher soil moisture or VWC seemed to contribute to decrease emission. When the land is being drained, CO₂ as result of as oxidation occurred in peat will increase. When land is becoming saturated with water, oxidation will decrease and subsequently CH₄ is released. In soil, CO₂ emission is produced from complex dynamic process from organics decomposition and respiration of roots and microbes [8,12]. Soil moisture content, water level, chemicals content and temperature of the soils had effect on CO₂ production in soil [4,5,13]. There are many models to describe CO₂ soil emission with soil environment. Arrhenius models could describe relationship between soil respiration with soil temperature [10] and soil moisture [9]. Nagano et al (2013) used groundwater table as proxy parameter to estimate CO₂ emission using NAIS model. Emissions of CO₂ were correlated with the logarithm of matric potential and with the cube of volumetric water content [6]. As CO₂ emission is result of biological activities that affected by temperature and soil moisture, variation of soil environment parameters will contribute to CO₂ peat emission.

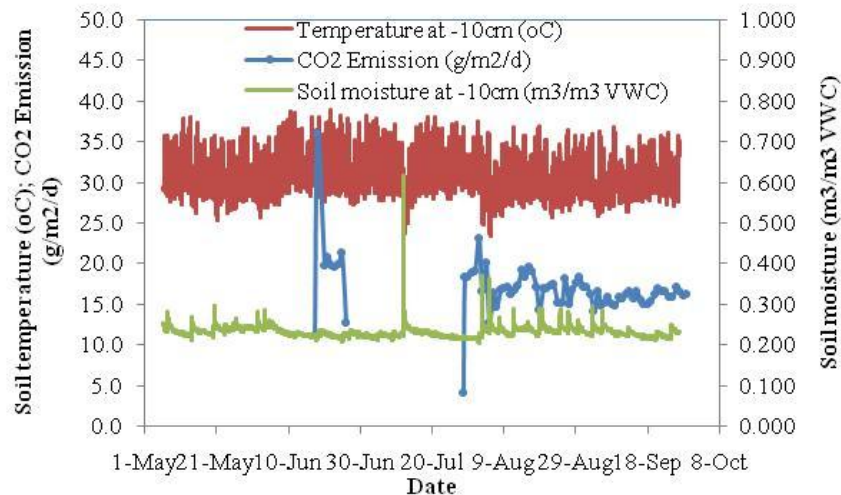


Fig. 3. Diurnal CO₂ emission, soil moisture and temperature at -10 cm depth.

CONCLUSION

It's concluded from this study that peat CO₂ emission from bare peat land varied and influenced by soil environmental such as water level, soil moisture and temperature. It's suggested to measure the

CO₂ efflux in continuous time rather than instantaneous measurement method to avoid extrapolation and to provide more accurate total emission yearly due the change of environment conditions. Furthermore CO₂ peat efflux was calculated from series of continues measurement in long period.

REFERENCES

- [1] Wetlands International: Maps of peatland distribution and carbon content in Sumatera, 1990–2002, 2003.
- [2] Jauhiainen, J., Hooijer, A., and Page, S.E., 2012. Carbon dioxide emissions from an Acacia plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences*, 9:617–630.
- [3] Hooijer, A., Page, S., Canadell, J.G., Silvius, M., Kwadijk, Wosten, J.H., and Jauhiainen, J., 2010. Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences*, 7:1505–1514.
- [4] Nagano, T., K. Osawa, T. Ishida, P. Vijarnsorn, A. Jongskul, S. Phetsuk, K. Kojima, M. Norisada, T. Yamanoshita. 2012. Field Observation of the Tropical Peat Soil Respiration Rate under Various Ground Water Levels. The 14th International Peat Congress, Stockholm, Sweden 3-8 June 2012 (Extended Abstract).
- [5] Nagano, T., K.Osawa, T. Ishida, K.Sakai, P. Vijarnsorn, A.Jongskul, S.Phetsuk, S.Waijaroen, T.Yamanoshita, M.Norisada, K. Kojima. (2013) Subsidence and soil CO₂ efflux in tropical peatland in southern Thailand under various water table and management conditions. *Mires and Peat*, 11(06), 1–20.
- [6] Davidson, E.A., Verchot, L.V., Cattanio, J.H., Ackerman, I.L., and Carvalho, J.E.M., 2000. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48:53-69.
- [7] Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H. & Page, S. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ Emissions From Drained Peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics Report Q3943, Delft, The Netherlands, 36 pp
- [8] Simunek, J., D.L.Suarez. 1993. Modeling of Carbon Dioxide Transport and Production in Soil. *Water Resources Research* 29(2): 487-497.
- [9] Fang, C., and Moncrieff, J.B, 2001. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. *Soil Biology and Biochemistry* 33:155-165.
- [10] Lloyd, J., and Taylor, J.A, 1994. On the Temperature Dependence of Soil Respiration. *Functional Biology* 8:315-323
- [11] Campbell, G.S., and J.M. Norman, 1998. *An Introduction To Environmental Biophysics*. Springer-Verlag. New York. ISBN 0-387-94937-2.
- [12] Luo, Y., and Zhou, X. 2006. *Soil Respiration and the Environment*. Academic Press. Amsterdam. Pages 35-39
- [13] Berglund, Ö., Berglund, K., Klemedtsson, L. (2010) A lysimeter study on the effect of temperature on CO₂ emission from cultivated peat soils. *Geoderma* 154(3-4):211-218.

Lampiran 5. Sertifikat keikutsertaan sebagai presenter dalam Seminar Internasional: The 6th International Conference on Green Technology, Malang 17-18 August 2015



Lampiran 6. Pengalaman Penelitian

Pengalaman Penelitian (Semua peneliti dan mahasiswa pascasarjana yang dilibatkan)

Sebutkan minimal 3 (tiga) penelitian/inovasi teknologi yang dianggap paling baik dalam 5 (lima) tahun terakhir yang relevan dengan proposal yang diajukan

Ketua Peneliti: Dr. Yudi Chadirin, STP.MAgr.

No	Judul Penelitian	Tahun
1.	Pengukuran emisi gas CO ₂ pada tanah mineral (penelitian mandiri)	2013
2.	Emisi Karbon pada lahan gambut (anggota)	2012
3.	Designing Local Frameworks for Integrated Water Resources Management (anggota)	2013
4.	Pengembangan Sistem Irigasi Otomatis untuk Lahan Produksi Pertanian (anggota)	
5.	Rekayasa Lingkungan Termal Larutan Nutrisi Pada Budidaya Tanaman Tomat Secara Hidroponik (Ketua Hibah Bersaing, XVI)	2008-2010
6.	Rancang Bangun Sistem Pemantauan, Peringatan Dini Dan Kendali Jarak Jauh Lingkungan Mikro Tanaman Dalam (Greenhouse) Berbasis Teknologi Telepon Selular (ketua penelitian dosen muda)	2006

Anggota Peneliti: Dr. Satyatnto Krido Saptomo, STP.MSi.

No	Judul Penelitian	Tahun
1.	Pengembangan "SOLAR POWER IRRIGATION" di lahan kering dengan menggunakan "DISC IRRIGATION SYSTEM"	2013-2014
2.	Pencucian lahan dengan sistem drainase bawah permukaan	2013
3.	Designing Local Frameworks for Integrated Water Resources Management	2012-2014
4.	Pengembangan Sistem Irigasi Otomatis untuk Lahan Produksi Pertanian	2010-2012
5.	"Environmental Monitoring System for the Advancement of System of Rice Intensification (EMSA-SRI)"	2010-2012

Publikasi

Karya ilmiah Peneliti dalam waktu 5 (lima) tahun terakhir yang relevan dengan proposal penelitian.

Ketua Peneliti: Dr. Yudi Chadirin

No	Judul	Jurnal/majalah/buku	Volume	Tahun	Halaman
1.	Measurement of Carbon Dioxide Emission from Mineral Soil -Yudi Chadirin, Anna Farida, Satyanto K. Saptomo, Budi I. Setiawan	The Third International Workshop On Climatic Changes and Evaluation of Their Effects on Agriculture in Asian		18 Maret 2014	
2	Continuous Monitoring of CO2 Flux using Li-8100 System - Satyanto K. Saptomo, Budi I. Setiawan, Yudi Chadirin, Kazutoshi	FGD Gambut 3: Metodologi pengukuran, analisis dan pemantauan CO2 di lahan gambut		1 Februari 2013	
3	Pengukuran emisi CO2 tanah pada lahan gambut dengan menggunakan Licor LI-8100, - Yudi Chadirin, Satyanto K. Saptomo	Petunjuk operasional dan pengunduhan data MRV PT Riau Andalan Pulp and Paper (RAPP		2012	12 hal
4	Application of temperature stress to roots of spinach I. Effect of the low temperature stress on quality -Y. Chadirin, K. Hidaka, T. Takahashi, Y. Sago,	Environment Control in Biology	49/3/2 011	2011	
5	Application of temperature stress to roots of spinach II. Effect of the high temperature pre-treatment on quality -Y. Chadirin, K. Hidaka, T. Takahashi, Y. Sago,	Environment Control in Biology	49/4/2 011	2011	
6	Application of temperature stress to roots of spinach III. Effective method for short term application of low and high temperature stresses to	Environment Control in Biology	50/3/2 012	2012	199- 207

Anggota Peneliti: Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP.MSi.

No	Judul	Jurnal/majalah/ buku	Volume	Tahun	Halaman
	<i>IRIGASI CURAH OTOMATIS BERBASIS SISTEM PENGENDALI MIKRO.</i> Saptomo, S.K. , R. Isnain, B.I. Setiawan.	Jurnal Irigasi	2013		
	<i>Peningkatan Resapan Air Tanah dengan Saluran Resapan dan Rorak untuk meningkatkan</i>	Jurnal Irigasi,	Vol.7, No.1, Hal:1-15.		
	<i>Produktivitas Belimbing Manis</i> .Sudaryanto, Y., B.I. Setiawan, Prastowo, S.K. Saptomo.		ISSN:19 07- 5545.		
	<i>Analisis Perubahan Iklim Lokal dan Debit Sungai di DAS Cidanau.</i> Irsyad, F.,	Jurnal Agromet Indonesia.	Vol XXV, No.1, Juni		
	<i>Characterizing Spatial Variability of Saturated Hydraulic Conductivity in a</i>	Journal of Paddy and	Vol 8, No 2, June 2010		
	<i>Climate Change Effect to Paddy Field Thermal Environment and Evapotranspiration.</i>	Paddy and Water	Vol 7(4), pp 341		

Lampiran 7. Biodata Ketua Tim Peneliti

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Yudi Chadirin, STP.MAgr.
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP	19740926 199903 1 004
5	NIDN	00260974003
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Semarang, 26 September 1974
7	Email	gooday926@yahoo.com
8	Nomor Telepon/HP	081314833110
9	Alamat Kantor	Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fateta IPB, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680
10	Nomor Telepon/Faks	0251-8627225
11	Lulusan yang dihasilkan	S-1= 15 orang
12	Mata Kuliah yang Diampu	Teknik Lingkungan Biofisik (S1)
		Teknik Kontrol Lingkungan (S1)
		Polusi Tanah dan Air Tanah (S1)
		Seminar (S1)
		Polusi dan Sanitasi Linbkgungan (S2)
		Bangunan dan Lingkungan (S2)

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	IPB	Kochi University	Kyushu University
Bidang Ilmu	Lingkungan dan Bangunan Pertanian	Biomechanica I system	Bioresources and bioenvironmental
Tahun Masuk-Lulus	1993 - 1998	2002 - 2004	2008 - 2012
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Rancang bangun sistem pengendalian pH larutan nutrisi dengan kontrol logika fuzzy untuk budidaya tanaman secara hidroponik	Application of deep sea water for high quality tomato production in multi-trusses cultivation in Nutrient Film technique system	Application of Regional Natural Water Resources for Production of Value-Added Vegetables
Nama Pembimbing/Promotor	Prof.Dr.Ir. Herry Suhardiyanto, MSc. Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, MAgr.	Prof.Dr. Takahisa Matsuoka	Prof.Dr. Masaharu Kitano

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2006	Rancang Bangun Sistem Pemantauan, Peringatan Dini Dan Kendali Jarak Jauh Lingkungan Mikro Tanaman Dalam (Greenhouse) Berbasis Teknologi Telepon Selular (ketua)	Penelitian Dosen Muda	10
	2008	Rekayasa Lingkungan Termal Larutan Nutrisi Pada Budidaya Tanaman Tomat Secara Hidroponik (Ketua)	Hibah Bersaing (HB XVI)	41,95
	2012	Pengembangan Sistem Otomatis Untuk Lahan Produksi Pertanian (Anggota)	I-MHERE B2CIPB	100
	2013	Emisi gas CO ₂ dari tanah mineral	Penelitian mandiri	
	2013	Pengembangan <i>Solar Power Irrigation</i> di Lahan Kering Dengan Menggunakan Disc Irrigation System (Anggota)	KKP3N	151

*Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema penelitian DIKTI maupun dari sumber lainnya

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan Skripsi, Tesis, maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2012	Pelatihan pengukuran emisi CO ₂ tanah	PT April Asia	30
2	2013	Pelatihan allometric growth	PT April Asia	25

*Tuliskan sumber pendanaan baik dari skema pengabdian kepada masyarakat DIKTI maupun dari sumber lainnya

E. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/Tahun
1	Application of deep seawater for multi-trusses cultivation of tomato using a nutrient film technique	Hayati Journal of Biosciences	15/2008
2	Effective application of the concentrated deep seawater to soil-less culture of high quality tomato	Eco-Engineering	22/2010
3	Application of temperature stress to roots of spinach I. Effect of the low temperature stress on quality	Environment Control in Biology	49/3/2011

4	Application of temperature stress to roots of spinach II. Effect of the high temperature pre-treatment on quality	Environment Control in Biology	49/4/2011
---	---	--------------------------------	-----------

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (Oral Presentation) dalam 5 Tahun Terakhir

No	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits	Effect of intermittent method of deep seawater treatment on fruit properties in multi-trusses cultivation of tomat	Bogor, 2008
2	Join Meeting on Environmental Engineering for Agriculture	High Temperature Pre Treatment Induces Favorable effects of The Low temperature Treatment to Roots of Vegetables	Tokyo, 2009
3	Seminar Nasional Himpunan Informatika Pertanian Indonesia	Pemodelan Pindah Panas Pada Pendinginan Siang Malam Larutan Nutrisi Untuk Budidaya Tanaman Tomat Hidroponik Nutrient Film Technique (NFT)	Bogor, 2009
4	Seminar Nasional PERTETA	Aplikasi jaringan syaraf tiruan (JST) untuk pendugaan suhu larutan nutrisi yang disirkulasikan dan didinginkan siang-malam pada tanaman hidroponik	Purwokerto, 2010
5	International Horticultural Congress	Short term applications of low and high temperature stresses to roots for high quality spinach (<i>Spinacia Oleracea</i> L.)	Lisbon, 2010
6	International Seminar on "Agriculture Adaptation in the Tropics: Research & Innovation toward Environment Resilience & food Security	Application of control system for crop production land with various irrigation system	Bogor, 2012

G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	Diktat Kuliah Lingkungan dan Bangunan Pertanian	2008		

H. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1.	Rancangan Peraturan Daerah Kab Tangerang Tentang Pengawasan dan Pengendalian Limbah Gas, Cair, Padat, B3, Kebisingan dan Getaran	2007	Kabupaten Tangerang	Baik

I. Penghargaan dalam 10 terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Juara II Tingkat Nasional, E-Learning Award	Pustekkom Depdiknas	2008
2	The best technical paper	Jurnal Keteknikan Pertanian, Perhimpunan Teknik	2007
3	Scholarship for graduate student	Okazaki International Scholarship	2002-2004

Lampiran 7. Biodata Anggota Peneliti

Anggota Peneliti: Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP. M.Si

Pendidikan

Program	Sarjana	Magister	Doktoral
Perguruan Tinggi Asal	IPB	IPB	Kyushu University
Konsentrasi Ilmu	Teknik Pertanian	Teknik Pertanian	Irrigation and Water Utilization
Tahun Lulus	1996	1999	2004
Judul Tugas Akhir (skripsi/tesis/disertasi)	Pengaturan Suhu dengan Pengontrol Fuzzy	Tata Air Lahan Basah dengan Pengendali Fuzzy	Simulation Study Of Regional Thermal Environment, Evaporation And Groundwater Under Various Surface Conditions

Pengalaman Riset 5 (lima) Tahun Terakhir (diurut berdasarkan tahun terakhir)

Judul Riset	Tahun Riset (dari dan sampai dengan)	Nilai Pendanaan Riset	Sumber Pendanaan Riset	Peran/ Posisi	Mitra Riset
Pengembangan "Solar Power Irrigation" di Lahan Kering dengan Menggunakan "Disc Irrigation System"	2013-2014	151.000.000 (2013) 107.890.000 (2014)	Balitbang, Kementan	Anggota	Balitbangtan
Designing Local Framework for Integrated Water Resource Management.	2012-2015	567.020.000 (2012) 386.818.871 (2013) 449.724.914 (2014) 200.000.000 (2015)	Japanese Government	Ketua	Collaboration with Research Institute fo Human dan Nature (RIHN), Kyoto, Japan
Developing Environmental Monitoring System on the Advancement of the System of Rice Intensification in Asian Countries (EMSA-SRI)	2010-2012	120.000.000 (2010) 103.720.000 (2011) 145.000.00 (2012)	DP2M-DIKTI Ministry of National Education	Ketua	

Prestasi
Publikasi

- (1) Rudiyanto, B.I. Setiawan, C. Arif, **S. K. Saptomo**, A. Gunawan, Kuswarman, Sungkono, H. Indriyanto. 2015. Estimating Distribution of Carbon Stock in Tropical Peatland Using a Combination of an Empirical Peat Depth Model and GIS. *Procedia Environmental Sciences*. Volume 24, 2015, Pages 152–157. Doi:10.1016/j.proenv.2015.03.020.
- (2) **Saptomo, S. K.**, D. Novarina, A.L.P. Aruan, S. Sudarman, B. I. Setiawan, M. Utomo. 2014. Weather, Soil Moisture and Water Table Interaction in a Peat Land Integrated Water Zoning System in Kampar Peninsula. *Seminra Nasional INACID. Strategi Pengelolaan Irigasi dan Rawa berkelanjutan mendukung Ketahanan Pangan Nasional dalam Perspektif Perubahan Iklim Global*. Palembang, 16-18 Mei 2014.
- (3) Chadirin, Y., A. Farida, **S. K. Saptomo**, B. I. Setiawan. 2014. Measurement of Carbon Dioxide Emission from Mineral Soil. *Green Network of Excellence Environmental Information (GRENE-ei) The Third International Workshop On Climatic Changes and Evaluation of Their Effects on Agriculture in Asian Monsoon Region*. Denpasar, Bali, 17-19 March 2014.
- (4) **Saptomo, S. K.**, Y. Chadirin, B. I. Setiawan. 2014. Measurement of Carbon Dioxide Emission from Tropical Peat. *Green Network of Excellence Environmental Information (GRENE-ei) The Third International Workshop On Climatic Changes and Evaluation of Their Effects on Agriculture in Asian Monsoon Region*. Denpasar, Bali, 17-19 March 2014.
- (5) Setiawan, B.I., **S. K. Saptomo**, M. Bachtiar, A. Halim, T. Nagano and K. Osawa. 2013. Patterns of CO₂ Flux in a Bared Tropical Peatland. *Proceeding of 11th International Conference, the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies Land for Sustaining Food and Energy Security*. Bogor, October 21-24, 2013.
- (6) Irsyad, F., **S.K.Saptomo**, B.I.Setiawan. 2011. Analisis Perubahan Iklim Lokal dan Debit Sungai di DAS Cidanau (Analysis of Local Climate Change and Discharge in Cidanau Watershed). *Jurnal Agromet Indonesia*. Vol XXV, No.1, Juni 2011. Hal: 17–23.

Penghargaan Riset/Inovasi

- (1) 106 Inovasi Indonesia 2014: Pengembangan “Solar Power Irrigation” di Lahan Kering dengan Menggunakan “Ring Irrigation System”
- (2) 107 Inovasi Indonesia 2015: “Sistem Irigasi Sawah Bertenaga Surya”

Produk Riset/Inovasi (Luaran)

- (1) Irigasi ring otomatis bertenaga surya (2014)
- (2) Irigasi sawah otomatis bertenaga surya (2015)

Anggota Peneliti : Dr. Rudiyanto, STP., MSi

Pendidikan

Program	Sarjana	Magister	Doktoral
Perguruan Tinggi Asal	IPB	IPB	Mie University, Japan
Konsentrasi Ilmu	Teknik Pertanian	Teknik Pertanian (Teknik tanah dan air)	Fisika tanah dan hidrologi
Tahun Lulus	2002	2007	2013
Judul Tugas Akhir (skripsi/tesis/disertasi)	Simulasi pengendalian suhu air pada sistem resirkulasi tertutup untuk pembenihan ikan dengan logika fuzzy	Model hidrolika pada sistem resirkulasi akuakultur terkendali	Hydraulic properties for unsaturated water flow in volcanic ash soil

Pengalaman Riset 5 (lima) Tahun Terakhir (diurut berdasarkan tahun terakhir)

Judul Riset	Tahun Riset (dari dan sampai dengan)	Nilai Pendanaan Riset	Sumber Pendanaan Riset	Peran/ Posisi	Mitra Riset
Anaysis on Carbon Budget of Forest Plantation in Ogan Komerling Ilir, South-Sumatra.	2012-2014	184.800.000 (2012) 248.000.000 (2013) 155.232.000 (2014)	Sinarmas forestry	Anggota	PT Bumi Mekar Hijau, PT Bumi Andalas Wood Industries, dan PT Bumi Andalas Permain

Prestasi (yang relevan dengan judul riset)
Publikasi

- (1) Rudiyanto and Budi Indra Setiawan. Mapping Peatlands Using Digital Technology. Soil Information to Support Sustainable Agriculture and Food Security in Indonesia: October 8, 2015, Auditorium (Aula) P4W – CRESTPENT Bogor Agriculture University. (Abstract).
- (2) Rudiyanto, Setiawan, B.I. Arif, C., Saptomo, S.K., Gunawan, A., Kuswarman, Sungkono, and Indriyanto, H. 2014. Estimating distribution of carbon stock in tropical peatland using a combination of an empirical peat depth model and GIS. The 1th International Symposium on LAPAN-IPB Satellite 2014 (LISAT Symposium 2014). Bogor. Procedia Environmental Sciences, Elsevier. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029615000882>

Paten

Judul	Tahun	Penulis	Keterangan
Filtrasi Konsentris untuk Akuakultur (<i>Concentrical Filtration for Aquaculture</i>)	2007	Budi I.Setiawan, Rudiyanto , S.K.Saptomo	Patent Application

Kolektor Surya Penghangat Bangsal Pembenihan Ikan Terkendali (<i>Controlled Solar Colector for Warming Room of Fish Hatchery</i>)	2007	Budi I.Setiawan, L.O. Nelwan, Rudiyanto	Patent Application
Akuarium Multiguna (<i>Multipurpose Aquarium</i>)	2005	Budi I.Setiawan, Ardiansyah, Rudiyanto	Patent registered No.P00200500746
Sistem Resirkulasi dan Sistem Penghangatan Air untuk Pembenihan Ikan (<i>Water Resirculation and Warming Systems for Fish Hatchery</i>)	2005	Budi I.Setiawan, Ardiansyah, Rudiyanto	Reg:P002005007 Grt:ID P0024637