

Panduan Teknis

**Cara Pengukuran Emisi Gas Rumah Kaca
pada Berbagai Lahan dan Jenis Tanaman
Pertanian**



ICCTF - BAPPENAS

**Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan
Lahan Gambut Berkelanjutan untuk Meningkatkan
Sekuestrasi Karbon dan Mitigasi Gas Rumah Kaca**



**Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya
Lahan Pertanian
Indonesia Climate Change Trust Fund (ICCTF-KEMANTAN)
2011**



PENGANTAR

Perubahan iklim akibat peningkatan emisi (pelepasan) gas rumah kaca (GRK) telah memperlihatkan dampak yang mengkhawatirkan yang antara lain terlihat dari perubahan pola hujan, peningkatan suhu udara, dan naiknya permukaan laut. Hal ini secara langsung mengancam sistem produksi sektor pertanian. Perubahan pola hujan, misalnya, telah meningkatkan frekuensi dan intensitas banjir dan kekeringan, sementara naiknya permukaan laut telah pula menyebabkan semakin luasnya lahan pertanian yang terkena pengaruh salinitas atau kandungan garam tinggi.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menekan emisi GRK nasional dari tingkat BAU (*business as usual*) sebesar 26% dengan upaya sendiri dan 41% dengan dukungan negara lain pada tahun 2020. Untuk itu, berbagai strategi telah disiapkan oleh masing-masing sektor terkait, terutama kehutanan, pertanian, energi, transportasi, dan industri.

Salah satu kegiatan dalam upaya mitigasi dan adaptasi GRK di bidang pertanian adalah “Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan untuk Meningkatkan Penyerapan Karbon dan Penurunan Emisi GRK” yang diselenggarakan di empat lokasi lahan gambut di Sumatra dan Kalimantan. Kegiatan ini diharapkan menghasilkan data yang akurat tentang berbagai aspek meliputi total emisi karbon dari lahan gambut, pengaruh berbagai kematangan gambut terhadap emisi GRK, serta sistem usahatani rendah emisi karbon. Selain itu, kegiatan yang didukung oleh ICCTF-BAPPENAS ini juga diharapkan dapat dipakai sebagai rujukan dalam upaya pencapaian ketahanan pangan nasional serta peningkatan devisa, lapangan kerja, dan pendapatan penduduk.

Langkah implementasi dalam upaya mitigasi dan adaptasi GRK, disusun beberapa *panduan teknis*, meliputi: pengukuran GRK, pengukuran stok karbon, indentifikasi dan karakterisasi lahan gambut, membangun demplot untuk menekan emisi GRK di lahan gambut. Dengan *panduan teknis* ini diharapkan mampu mendukung komitmen Indonesia dalam menekan emisi GRK nasional.

Kepada ICCTF-BAPPENAS saya sampaikan penghargaan dan terima kasih atas dukungan terhadap kegiatan ini. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan *panduan teknis* ini.

Bogor, Desember 2011

Kepala Balai Besar Litbang
Sumberdaya Lahan Pertanian

Dr. Ir. Muhrizal Sarwani, MSc.
NIP. 19600329 198403 1 001



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	1
1.3. Sasaran	1
II. ALAT DAN BAHAN	3
2.1. Alat untuk Pengambilan Contoh GRK	3
2.2. Bahan untuk Pengambilan Contoh GRK	5
III. PROSEDUR PENGAMBILAN DAN PENANGANAN SAMPEL ...	6
3.1. Pengambilan Contoh GRK di Lapangan	6
3.2. Pengukuran Contoh GRK dengan Micro GC CP 4900	9
IV. PENGUKURAN/PENGAMATAN EMISI GRK	11
4.1. Prosedur Pengukuran Emisi GRK di Lapangan dengan Menggunakan IRGA	11
4.2. Pengukuran Emisi GRK dengan Menggunakan Metode <i>Eddy Covariance</i>	15
LAMPIRAN	19
Lampiran 1. Cara Pengoperasian Micro GC CP 4900 dengan Galaxie Software	19
Lampiran 2. Pemeliharaan Micro GC CP 4900	22
Lampiran 3. Set Poin Micro GC CP 4900	23
Lampiran 4. Cara Pengisian Gas pada Micro GC CP 4900	24
Lampiran 5. Contoh Perhitungan	25

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki lahan gambut yang cukup luas dan merupakan salah satu cadangan karbon terbesar. Pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian sering menimbulkan kontroversi karena mudah rusak. Dalam keadaan alami, tanah gambut mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan gas rumah kaca (GRK) dan emisi yang dihasilkan relatif seimbang dengan penyerapan oleh vegetasi alami dalam bentuk CO₂ yang berperan sebagai *sink* karbon. Dalam tiga dekade terakhir, lahan gambut telah digunakan secara intensif untuk pertanian tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Alih fungsi lahan gambut untuk pertanian akan mengurangi stabilitas dan mempercepat proses dekomposisi. Selain itu, deforestasi dan degradasi lahan gambut memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan emisi GRK nasional.

Indonesia berpartisipasi aktif dan dalam Pertemuan G-20 di Copenhagen berkomitmen menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 26%. Oleh karena itu, upaya terintegrasi dan sistematis diperlukan untuk menghambat laju pemanasan global berdasarkan hasil penelitian gas rumah kaca (GRK).

Upaya peningkatan produksi pangan nasional melalui pendekatan revolusi hijau lestari diarahkan pada pengembangan lahan-lahan sub-optimal, karena sebagian lahan subur, terutama di Jawa telah beralih fungsi untuk non-pertanian. Lahan gambut adalah lahan sub-optimal yang dapat diusahakan untuk mendukung ketahanan pangan. Pada kondisi alami, tanah gambut berada dalam keadaan stabil dengan pH rendah (rata-rata 3), sehingga perombakan bahan organik oleh mikroorganisme tidak berlangsung sempurna.

Di satu sisi, untuk mampu memproduksi optimal, tanaman padi memerlukan pH tanah > 3. Di sisi lain, upaya meningkatkan pH tanah gambut akan meningkatkan aktivitas bakteri perombak bahan organik, yang memicu pembentukan GRK. Namun, pengelolaan lahan dan tanaman dengan tepat dapat menekan emisi GRK dari lahan gambut.

Produktivitas lahan gambut dapat ditingkatkan melalui beberapa cara, antara lain pengelolaan air dengan sistem aliran satu arah (Saragih dan Ar-Riza, 2002); pemberian kapur dan pupuk untuk tanaman padi (1 t kapur/ha dan 90 kg N + 60 kg P₂O₅ + 60 kg K₂O/ha) (Raihan, 2003), teknologi tanpa olah tanah (TOT) yang diikuti oleh penggunaan herbisida untuk pengendalian gulma (Sulistyo, 1999), dan penggunaan amelioran. Penerapan teknologi

TOT yang diikuti oleh penggunaan herbisida glyphosat 6-7 l/ha dapat meningkatkan hasil padi dan menghemat biaya tenaga kerja (Simatupang, 2002). Penggunaan amelioran selain dapat meningkatkan hasil padi juga dapat menekan emisi GRK di lahan gambut karena amelioran berfungsi mempertahankan stabilitas tanah melalui penekanan laju kehilangan karbon dalam bentuk CH_4 dan CO_2 . Untuk mengukur besarnya emisi GRK dari lahan pertanian diperlukan petunjuk teknis pengambilan contoh GRK.

1.2. Tujuan

1. Memberikan informasi tentang cara pengambilan dan pengukuran contoh gas, dan perhitungan konsentrasi contoh GRK secara manual.
2. Membantu dan mempermudah pengambilan contoh GRK di lapangan dan mengukurnya menggunakan mobile GC tipe Varian 4900-GC dan Infra Red gas Analyzer (IRGA).

1.3. Sasaran

Sasaran dari penerbitan panduan teknis ini adalah para peneliti, pelaksana lapangan, dan kalangan universitas.

II. ALAT DAN BAHAN

2.1. Alat Untuk Pengambilan Contoh GRK

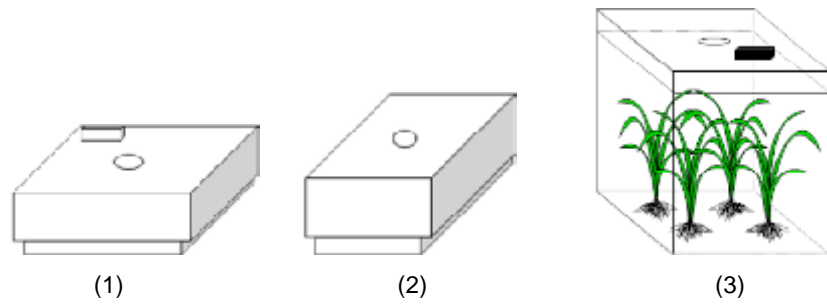
Alat yang digunakan dalam pengambilan contoh GRK di lapangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Peralatan untuk Pengambilan Contoh Gas di lapangan.

No.	Nama Alat	Keterangan/Fungsi
1.	Boks pengambilan contoh gas (sungkup)	Boks harus dilengkapi dengan septum, lubang termometer, kipas, aki kering dan keterangan tinggi <i>headspace</i> . Informasi perubahan suhu dalam boks pada interval waktu 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, dan 24 menit, serta tinggi <i>headspace</i> dicatat untuk perhitungan fluks.
2.	Termometer	Termometer digunakan untuk mengetahui perubahan suhu dalam boks, perubahan suhu tersebut harus dicatat pada interval 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 dan 24 menit.
3.	Jarum suntik	Jarum suntik seharusnya dibungkus dengan kertas perak untuk menghindari panas.
4.	Karet penutup jarum	Karet digunakan untuk menutup ujung jarum supaya gas tidak keluar.
5.	Label	Label untuk memberikan keterangan pada masing-masing jarum suntik.
6.	Bangku (<i>boardwork</i>)	Bangku digunakan sebagai pijakan pada saat pengambilan sampel agar tidak mengganggu tanaman dalam plot.
7.	Boks tempat sampel gas	Boks tempat contoh digunakan untuk mencegah agar jarum suntik tidak terkena panas secara langsung.
8.	<i>Stop watch</i>	Sebagai penanda interval waktu pengambilan contoh gas digunakan <i>stop watch</i> .

Ukuran sungkup dan penampang yang digunakan untuk pengambilan contoh GRK di lapangan disesuaikan dengan kebutuhan. Sungkup yang digunakan untuk pengambilan sampel GRK di lapangan terdiri dari tiga ukuran, yaitu:

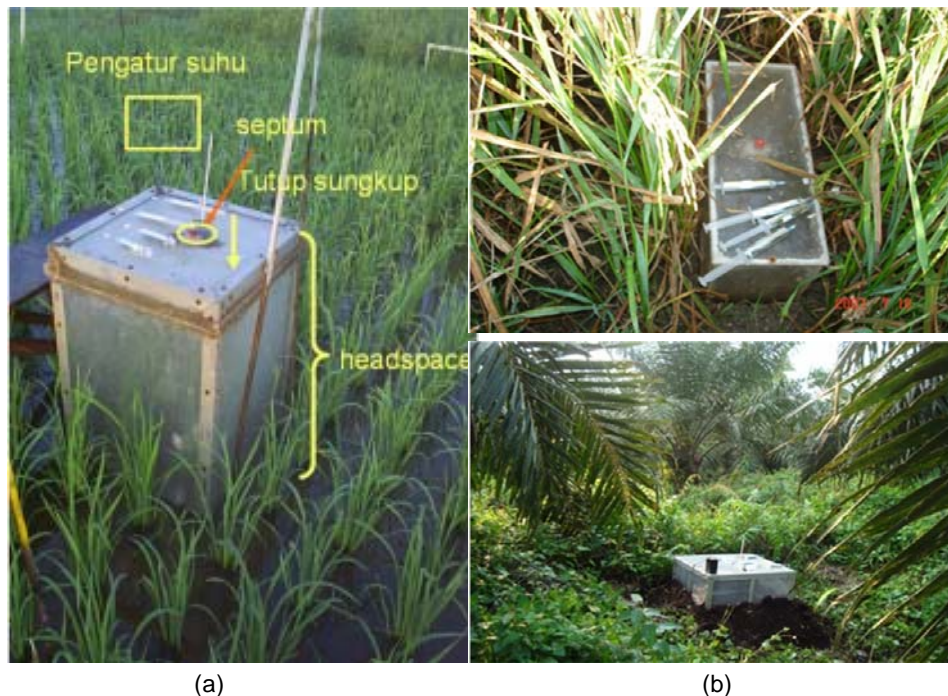
- (1) 50 cm x 50 cm x 30 cm,
- (2) 50 cm x 15 cm x 30 cm, dan
- (3) 50 cm x 50 cm x 100 cm.



Gambar 1. Berbagai ukuran sungkup yang digunakan dalam pengukuran GRK di lapangan.

Keterangan:

- (1) Sungkup yang digunakan untuk mengukur *fluks* GRK untuk tanaman perkebunan
- (2) Sungkup yang digunakan untuk mengukur *fluks* GRK untuk tanaman pangan (sela)
- (3) Sungkup yang digunakan untuk mengukur *fluks* GRK untuk tanaman dengan sistem surjan



Gambar 2. (a) Komponen sungkup yang digunakan dalam pengukuran GRK di lapangan, (b) Contoh penempatan sungkup penangkap gas di lapangan.

Sungkup ukuran pertama digunakan untuk tanaman perkebunan (sawit dan karet), sungkup kedua untuk tanaman sela (padi gogo dan jagung) dan sungkup ketiga untuk padi sawah. Sebagai contoh, untuk lokasi Kalsel menggunakan sungkup ukuran kedua dan ketiga bila sistem tanamannya adalah surjan (padi sawah dan gogo), sedangkan lokasi lainnya menggunakan sungkup pertama dan kedua karena bila tanamannya adalah tanaman perkebunan (kelapa sawit atau karet) dan tanaman sela (padi gogo atau jagung).

2.2. Bahan untuk pengambilan contoh GRK

1. Gas standar CO₂ (10600 ppm) digunakan untuk menentukan konsentrasi gas CO₂ dari setiap contoh gas dalam jarum suntik.
2. Nitrogen (N₂) sebagai pembawa (*carrier gas*) dengan tingkat kemurnian gas 99,99% (*ultra high purity*).

III. PROSEDUR PENGAMBILAN DAN PENANGANAN SAMPEL

3.1. Pengambilan Contoh GRK di Lapangan

1. Pengambilan contoh GRK menggunakan metode *closed chamber technique* yang diadopsi dari IAEA (1993).
2. Pengambilan contoh GRK dilakukan secara manual di lapangan menggunakan sungkup tertutup. Sungkup terbuat dari kaca mika dengan kaki-kaki terbuat dari aluminium dan penampang bawahnya digunakan untuk menancapkan sungkup pada tanah gambut sehingga kebocoran gas dapat dihindari. Sungkup dilengkapi dengan *fan* yang dijalankan dengan baterai elemen kering dan termometer untuk memonitor suhu. *Fan* berfungsi untuk homogenisasi gas di dalam sungkup.
3. Termometer dipasang pada lubang yang telah tersedia di bagian atas sungkup dan digunakan untuk mengukur setiap perubahan suhu dalam sungkup.
4. Contoh GRK diambil setiap minggu pada pagi hari (jam 06.00-08.00) dan siang hari (jam 12.00-14.00), masing-masing delapan kali dengan interval 3 menit. Hal-hal yang dipertimbangkan dalam pengambilan contoh GRK di lapangan adalah:
 - Kedalaman permukaan air tanah dan tanaman (surjan, tanaman tahunan seperti kelapa sawit dan karet, serta tanaman sela seperti padi gogo dan jagung). Kedalaman muka air tanah diketahui dari data pengukuran piezometer dan atau jarak dari kanal dengan asumsi semakin dekat ke kanal semakin dalam permukaan air tanah.
 - Titik pengambilan contoh GRK di bawah tanaman pohon, *intergrade*, dan tanaman sela mempertimbangkan pengelolaan pupuk sebagai sumber emisi GRK. Petani umumnya memupuk di bawah tanaman pohon (dalam piringan), atau di larikan tanaman jagung, atau disebar tanaman untuk padi.
5. Sebelum pengambilan contoh gas, penutup boks dibiarkan terbuka minimal 5 menit untuk menstabilkan konsentrasi gas dalam boks.
6. Pengambilan contoh gas menggunakan jarum suntik ukuran 10 ml (Gambar 3). Jarum suntik dibungkus dengan kertas perak untuk menghindari terjadinya penurunan konsentrasi gas karena pengaruh panas dan diberi kertas label sebagai penanda contoh gas yang telah diambil. Untuk setiap kali pengambilan contoh gas diperlukan empat

jarum suntik. Ujung jarum suntik ditutup dengan *rubber grip*. Pengukur waktu seperti *stopwatch* atau jam diperlukan untuk mengetahui keakuratan waktu pengambilan contoh gas. Setiap pengambilan contoh gas dengan interval waktu 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, dan 24 menit. Blanko pengamatan disediakan untuk mencatat perubahan suhu dalam sungkup dan *head space*. Perubahan tersebut digunakan dalam proses perhitungan emisi.

7. Mencatat perubahan suhu dan ketinggian air pada masing-masing boks.
8. Contoh gas segera dibawa ke laboratorium GRK untuk pengukuran konsentrasi.



Gambar 3. Jarum suntik (ukuran 10 ml) untuk pengambilan contoh gas.

Tabel 2. Blanko Pengukuran Sampel Gas Rumah Kaca (GRK).

Nama Petugas :

Tanggal	Waktu	Tempat/lokasi	Jarak dengan drainase	Perlakuan	Suhu dalam boks pada menit ke ...				Headspace (cm)
					6	12	18	24	

3.1.1. Prosedur pengambilan contoh GRK pada tanaman padi sawah

Pengambilan contoh gas pada tanaman padi sawah menggunakan sungkup berukuran 50 cm x 50 cm x 100 cm dengan prosedur sebagai berikut:



Gambar 4. Sungkup ditempatkan pada posisi yang rata agar tidak terjadi kebocoran pada bagian penampang dan menyungkupi 4 rumpun tanaman padi.

1. Sungkup diletakkan hingga menyungkupi 4 rumpun padi. Sungkup diatur pada posisi rata dan terjaga agar gas yang tertampung dalam sungkup tidak bocor. Sungkup diletakkan tanpa penutup sungkup dan dibiarkan terbuka minimal 2 menit untuk menstabilkan konsentrasi gas di dalam sungkup.
2. Air diisikan ke dalam tempat pelekatan antara badan sungkup dan tutupnya untuk menghindari terjadinya kebocoran.
3. Penutup sungkup diletakkan di atas badan sungkup pada waktu yang bersamaan. Termometer diletakkan pada lubang yang telah tersedia di bagian atas sungkup dan kipas dinyalakan. Setelah 2 menit, karet merah ditutup dan penghitungan waktu pengambilan contoh gas dimulai.

4. *Headspace* dari masing-masing sungkup dicatat.
5. Suhu dalam sungkup dicatat satu kali dalam sekali waktu pengambilan contoh gas.
6. Jarum suntik dipasang tegak lurus pada *rubber septum*. Contoh gas diambil berdasarkan pada interval waktu yang telah ditentukan.
7. Apabila kondisi lingkungan panas, jarum suntik yang telah terisi contoh gas diletakkan pada tempat yang teduh.
8. Contoh gas segera dianalisis.

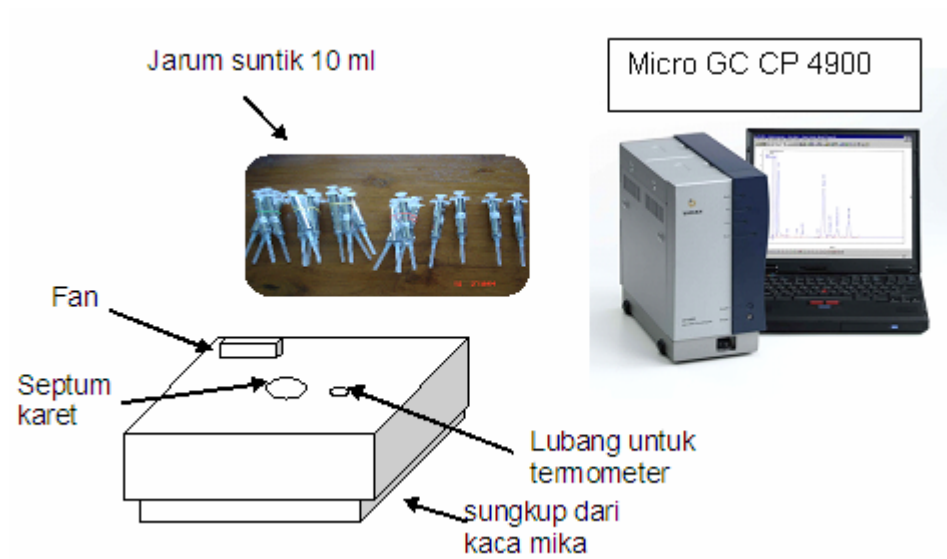
3.1.2. Prosedur pengambilan contoh GRK pada tanaman pohon dan sela

Pengambilan contoh GRK pada tanaman pohon (sawit dan karet) dan tanaman sela (padi gogo dan jagung) menggunakan sungkup berturut-turut berukuran 50 cm x 50 cm x 30 cm dan 50 cm x 15 cm x 30 cm. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Langkah yang dilakukan untuk pengambilan contoh gas di kedua titik tersebut hampir sama. Hanya saja sungkup ukuran 50 cm x 15 cm x 30 cm adalah sungkup yang tutupnya menyatu. Hal tersebut karena ukuran sungkup kecil dan digunakan untuk mengambil contoh gas dari tanah bukan dari tanaman.
2. Sungkup diletakan di sela-sela tanaman padi dan diatur pada posisi rata dengan penutup karet yang dilepas.
3. Termometer diletakkan pada lubang yang telah tersedia di bagian atas sungkup dan kipas dinyalakan.
4. Setelah sungkup siap, karet merah ditutup dan waktu perhitungan dimulai.
5. Gas diambil menggunakan jarum suntik yang dipasang pada posisi tegak lurus dengan interval waktu yang telah ditetapkan. Jarum suntik ditutup dengan septum sesegera mungkin untuk menghindari kebocoran.
6. *Headspace* dari masing-masing sungkup dicatat.
7. Suhu dalam sungkup dicatat satu kali dalam sekali waktu pengambilan contoh gas.
8. Contoh gas untuk analisa konsentrasinya.

3.2. Pengukuran Contoh GRK dengan Micro GC CP 4900

Contoh gas dalam jarum suntik 10 ml yang sudah terkumpul dianalisis konsentrasinya dengan micro GC yang dapat dioperasikan secara langsung di lapang. Area gas dari contoh gas yang dianalisis akan keluar secara simultan. Micro GC CP 4900 menggunakan detektor TCD (*thermal conductivity detector*). Gas pembawa (*carrier gas*) yang digunakan adalah helium dengan kategori UHP (*ultra high purity*) dengan kemurnian gas 99,999%. Cara pengoperasian serta pemeliharaan Micro GC CP-4900 dengan Galaxie Software bisa dilihat pada lampiran 1 dan 2.



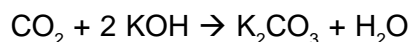
Gambar 5. Peralatan yang digunakan untuk mengukur *fluks* GRK dari lahan gambut.

IV. PENGUKURAN/PENGAMATAN EMISI GRK

4.1. Prosedur pengukuran emisi GRK di lapangan dengan menggunakan IRGA

1. Instal *software* IRGA pada laptop yang akan digunakan dalam pengukuran. Prosedur ini hanya diperlukan satu kali dan petunjuk instalasi tersedia pada manual yang ada bersama IRGA.
2. Pastikan kapasitas baterai untuk IRGA dan baterai laptop penuh (tidak kurang dari 11 mA). Jika berada di bawah nilai tersebut harus di charge terlebih dahulu.
3. Kalibrasi IRGA dengan gas pada konsentrasi nol CO₂ dan pada konsentrasi tertentu (misalnya 550 mol ppm CO₂). Kalibrasi untuk konsentrasi nol bisa menggunakan gas standard tanpa CO₂, namun lebih mudah jika menggunakan *soda lime* (kapur soda).

Kapur soda yang terdiri dari campuran Ca(OH)₂ dan KOH menyerap CO₂ dengan reaksi sebagai berikut:

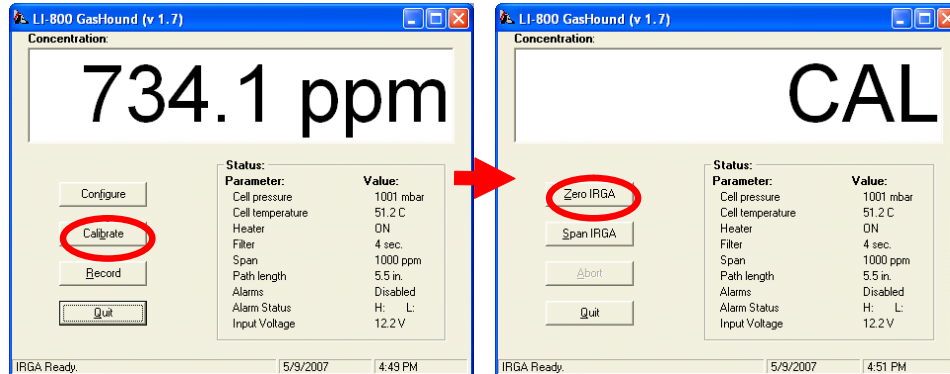


- Pasang kabel baterai sesuai dengan tempatnya (perhatikan kesesuaian warna kabel dengan warna komponen yang ada di baterai). Pastikan juga bahwa kabel baterai terpasang kuat (tidak mudah lepas) dari slotnya.
- Hidupkan stop kontak untuk mengaktifkan IRGA dan biarkan hidup (*warm up*) selama setengah jam. Pada tahap ini jangan diaktifkan *pressure pump* pada IRGA.
- Hubungkan laptop dengan IRGA
- Hubungkan kedua pipa tabung berisi kapur soda dengan inlet dan outlet untuk penyaluran gas pada alat IRGA. Pastikan bahwa kedua ujung pipa tabung soda lime terhubung dengan sempurna ke IRGA sehingga membentuk hubungan (*loop*) tertutup.
- Aktifkan *pressure pump* dan biarkan udara berputar dari IRGA ke *soda lime* dan kembali ke IRGA selama lebih kurang lima menit. Pembacaan pada display computer akan turun secara perlahan sehingga mendekati nol.



Gambar 6. Soda lime di dalam tabung yang dihubungkan dengan IRGA (kiri) untuk standarisasi IRGA pada konsentrasi CO_2 nol dan Teddlar (kanan) bag untuk menyimpan sementara gas standard sebelum disalurkan ke IRGA.

- Klik “Calibration” (Gambar 4), selanjutnya klik “Zero IRGA” pada layar CAL dan kemudian klik “OK” pada layar “Purge IRGA with zero gas”.
 - Tulis 0 (nol) pada layar Span. Biarkan selama 30-60 detik, kemudian akan muncul “IRGA Spanned”. Ini menunjukkan bahwa kalibrasi nol selesai. Klick Quit.
 - Matikan *Pressure Pump*.
 - Lepaskan hubungan tabung *soda lime* dengan IRGA dan tutup tabung *soda lime* dengan rapat dan simpan tabung soda lime di tempat yang kering dan sejuk.
4. Kalibrasi dengan gas pada konsentrasi tertentu (misalnya 550 mol ppm).
- Isi *Teddlar bag* dengan gas standard dengan terlebih dahulu membilas gas yang ada di dalam *Teddlar bag*.
 - Hubungkan *Tedlar bag* dengan inlet (tanda “In”) dari IRGA.
 - Buka klep Tedlar bag. Aktifkan *pressure pump*. Buka monitor program kalibrasi Gashound pada computer Anda.
 - Semestinya bacaan IRGA yang diperlihatkan oleh layar mendekati 550 ppm.
 - Klik “Calibration” (Gambar 4), selanjutnya klik “Span IRGA”.



Gambar 7. Pembacaan pada awal kalibrasi (kiri) yang dimulai dengan konsentrasi yang lebih kurang sama dengan konsentrasi udara di luar. Angka ini akan turun sehingga mendekati nol bila IRGA dihubungkan dengan tabung berisi *soda lime*.

- Tulis 550 pada layar Span. Biarkan selama 30-60 detik, kemudian akan muncul “IRGA Spanned”. Ini menunjukkan bahwa kalibrasi selesai. Klick Quit.
- Matikan Pressure Pump.

4.1.1. Pelaksanaan Pengukuran emisi GRK dengan menggunakan IRGA

1. Pengukuran emisi GRK memerlukan -3 orang untuk pengukuran. Satu orang operator IRGA, 1 orang operator sungkup dan pengamatan tambahan (pengipasan sungkup, pengukuran suhu udara dan tanah, kedalaman muka air), dan 1 orang untuk membantu membawa peralatan dan pengukuran/pengambilan sample kadar air.
2. Pasang sungkup bawah, dan tancapkan termometer sekitar 5 cm dari sungkup sedalam 5 cm ke dalam tanah.
3. Nyalakan pompa IRGA untuk menghilangkan sisa udara yang tersisa dalam selang dan IRGA. Kipas dalam sungkup agar udara di dalam sungkup tercampur rata dengan udara sekitarnya. Hindari bernapas ke dalam sungkup.
4. Tutup sungkup dan biarkan pembacaan sekitar 2-3 menit. Selama 2 menit akan ada 120 kali pembacaan.
5. Save (penyimpanan) data pengukuran terjadi bersamaan saat penutupan sungkup dan pembacaan di laptop. Untuk memudahkan dan meminimalkan kesalahan pada saat pengukuran, harus ada

koordinasi antara operator IRGA dan operator sungkup. Cara yang paling mudah adalah dengan aba-aba, sehingga penutupan sungkup dan save (rekam) data terjadi bersamaan.

6. Amati suhu udara dan suhu tanah serta tinggi sungkup.
7. Hindari gangguan terhadap permukaan tanah selama pengukuran, misalnya dengan menggunakan papan untuk berpijak.
8. Pastikan data hasil pengukuran dengan IRGA tersimpan di laptop. Periksa kembali sebelum berpindah plot pengamatan. Untuk menghindari data pengukuran yang tidak tersimpan, siapkan folder penyimpanan sebelum pergi ke lapang untuk melakukan pengukuran.
9. Matikan pompa IRGA dan biarkan posisi IRGA tetap menyala.
10. Import data dari format IRGA ke Excel
11. Gunakan data dari pembacaan yang sudah stabil, misalnya detik ke 11 sampai detik ke 130 → 120 detik.
12. Ketika pengukuran pada suatu plot selesai, harus dilepas setting alat untuk memudahkan kita berpindah dari satu titik ke titik lainnya. Langkah-langkah yang dilakukan adalah:
 - a. Disconnect IRGA pada laptop. Biarkan laptop tetap standby sehingga tidak perlu menghidupkan setiap akan melakukan pengamatan.
 - b. Matikan pompa IRGA dan biarkan posisi IRGA tetap menyala.
 - c. Lepaskan kabel data antara IRGA dengan laptop.
 - d. Lepaskan pipa (selang) yang terpasang pada IRGA dan biarkan tetap terpasang pada sungkup atas.

4.1.2. Cara perhitungan emisi dengan menggunakan IRGA

Data yang di dapat dari pengukuran IRGA berformat text (.txt) dan kita harus mengubahnya ke dalam format excel (.xls). Caranya adalah:

- Buka program excel.
- Klik *Data*, pilih *get external data*, klik *from text*
- Pilih destinasi tempat data tersimpan, klik *import*
- Pilih *fixed width*, *start import at row 1*, *file origin: 437 OEM United States*, klik *next*. Atur lebar kolom sesuai keinginan, pilih *column data format: general*. Klik *finish*
- Periksa data yang sudah berformat (.xls) pada excel.
- Buat hubungan linear antara waktu (Time) dengan CO₂ (ppm). Catat slope kurva tersebut (dC/dt; perbedaan konsentrasi dibagi dengan perbedaan waktu).

- Hitung flux dengan rumus:

$$f_c = \frac{Ph}{RT} \frac{dC}{dt}$$

- f_c = flux CO₂
- P = Tekanan atmosfer berdasarkan rata-rata cell pressure pembacaan IRGA
- h = tinggi chamber yang berada di atas permukaan tanah
- R = konstanta gas = 8,314 Pa m²/°K/mole
- dC/dt = Perubahan konsentrasi CO₂ per satuan waktu

4.2. Pengukuran emisi GRK dengan menggunakan metode Eddy Covariance

Eddy Covariance (EC) merupakan suatu metode untuk mengukur fluks vertikal dari panas, air dan gas. Fluks dihitung sebagai kovarian deviasi pada kecepatan angin vertikal. Metode ini tergantung pada prevalensi transport putaran dan memerlukan alat dengan cara kerja yang tepat. EC menggunakan perhitungan yang kompleks dan beberapa asumsi-asumsi. Namun demikian, EC merupakan pendekatan yang langsung untuk pengukuran fluks. EC secara cepat mengembangkan jangkauan dan standarnya serta memiliki perspektif yang menjanjikan untuk kebutuhan masa depan pada beberapa ilmu alam.



Gambar 8. Gambaran Alat *Eddy Covariance*.

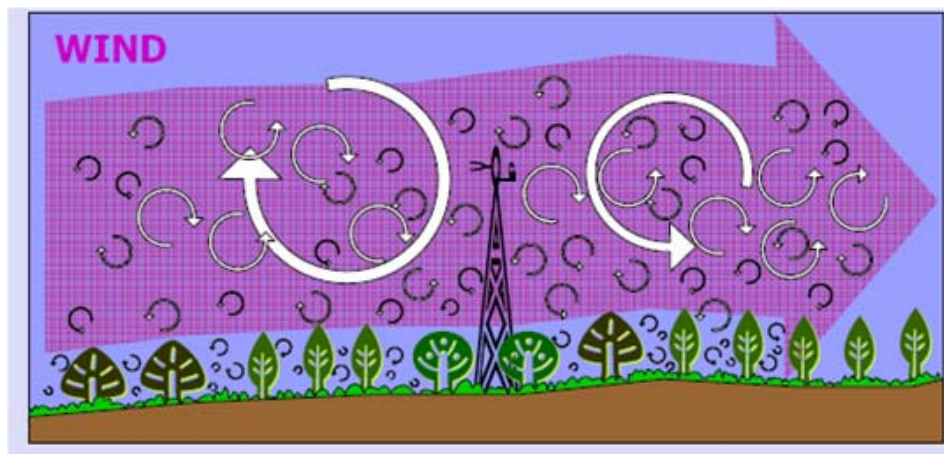
Eddy Covariance merupakan metode statistik yang digunakan untuk menghitung fluks putaran udara dan dapat digunakan untuk tujuan yang berbeda. Untuk mencapai tujuan masing-masing percobaan memerlukan pengaturan yang khusus dan daftar variable yang diperlukan untuk penghitungan dan pengoreksian fluks.

Sebagai contoh, jika topik utama penelitian adalah karakteristik putaran aliran diatas angin-terguncang kanopi, tidak perlu mengumpulkan data air dan gas tetapi perlu mengumpulkan data komponen angin dengan frekuensi yang lebih tinggi ($20 + \text{Hz}$) dan data temperatur. Alat perlu diletakkan pada beberapa tempat dengan level yang berbeda, termasuk yang terdekat dengan kanopi. Sebaliknya jika fokus adalah respon evaporasi lahan Alfalfa terhadap regim Nitrogen, tidak perlu adanya profil putaran atmosfer dan data 10 Hz cukup untuk sampling.

Contoh yang lain adalah penghitungan net CO_2 . Hal ini tidak hanya memerlukan kecepatan angin secara cepat dan pengukuran konsentrasi CO_2 tetapi juga pengukuran *latent heat flux* dan *sensible heat flux* kemudian rata-rata suhu, rata-rata kelembaban dan tekanan. Rata-rata profil konsentrasi CO_2 juga sangat dibutuhkan untuk penghitungan simpanan CO_2 .

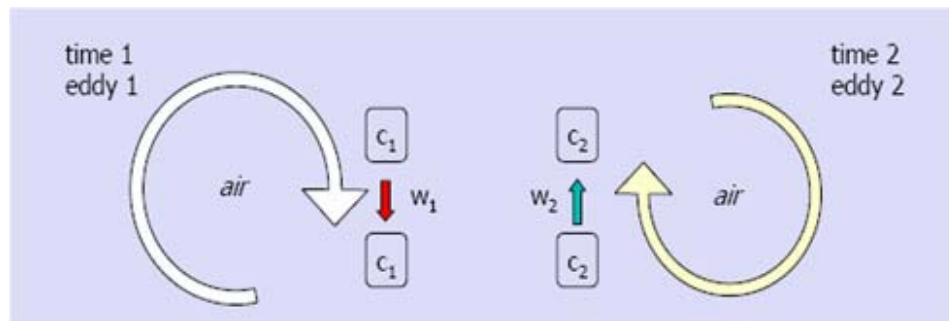
Beberapa hal penting tentang Eddy Covariance:

1. Eddy Covariance dapat digunakan secara langsung untuk mengukur fluks
2. Dasar teori Eddy Covariance adalah: pengukuran fluks, metodologi, aliran udara pada ekosistem dan cara mengukur fluks.



Gambar 9. Rotasi Eddy.

3. Aliran udara dapat digambarkan sebagai aliran horizontal dari rotasi Eddy. Masing-masing Eddy mempunyai 3 dimensi yang termasuk komponen angin vertikal. Komponen dapat diukur dari tower.
4. Eddy pada satu titik.

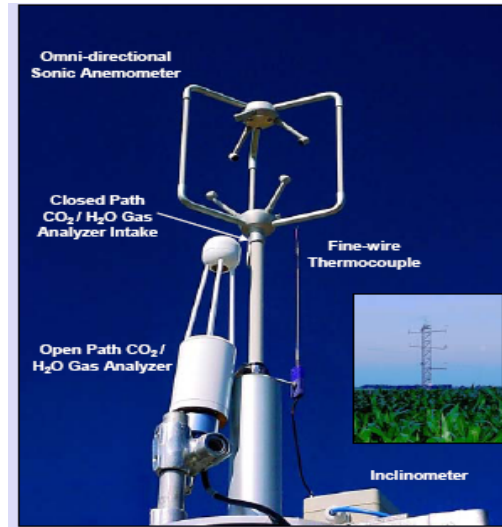


Gambar 10. Prinsip Kerja Rotasi Eddy.

Eddy nomor 1 menggerakkan udara sehingga C1 turun dengan kecepatan W1 pada waktu yang sama, Eddy nomor 2 menggerakkan udara sehingga C2 naik dengan kecepatan W2.

Masing-masing kumpulan udara mempunyai karakteristik seperti konsentrasi gas, suhu, kelembaban

General equation:	$F \approx \overline{\rho_a w' s'}$
Sensible heat flux:	$H = \rho_a C_p \overline{w' T'}$
Latent heat flux:	$LE = \lambda \frac{M_w / M_a}{P} \rho_a \overline{w' e'}$
Carbon dioxide flux:	$F_c = \overline{w' \rho_c'}$



Gambar 11. Peralatan Eddy Covarience.

5. Eddy flux sama dengan kerapatan udara dikalikan dengan rata-rata kovarian diantara deviasi pada kecepatan udara vertikal.
6. Kelemahan dalam pengukuran : asumsi-asumsi, masalah instrumen, fenomena fisik.

Instalasi EC pada gambar diatas dilengkapi dengan anemometer sonic 3 dimensi, *open-path gas analyzer*, sample inlet untuk *closed-path gas analyzer* dan *fine-wire thermocouple*. Sensor gas dan suhu diletakkan pada atau dibawah *sonic anemometer*. Pemisah horisontal antara sonic dan sensor tidak lebih dari 10-15 cm.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Cara Pengoperasian Micro GC CP-4900 dengan Galaxie Software

1. Cek isi tabung gas pada Micro GC CP 4900.
2. Kabel *ethernet* disambungkan ke laptop (dalam keadaan “*off*”).
3. Sumber gas dibuka dari posisi “*close*” ke posisi “*open*”, dan GC dinyalakan (*power switch* pada posisi “*on*”) → ditunggu sampai proses *initializing* dan *flushing* selesai.
4. Laptop dinyalakan (dalam keadaan “*on*”).
5. Setelah proses *initializing* dan *flushing* selesai, icon “*Galaxie*” ditekan dan ditunggu sampai muncul dialog “*Galaxie Workstation Connection*”.
6. Setelah muncul dialog “Galaxie Workstation Connection”, masukkan User Identification (ketik “*analisis*”), kemudian pilih Group dan Project serta masukkan Password (ketik “*gc*”), lalu tekan “**OK**” sehingga tampil window Galaxie Chromatography Data System.
7. Pada menu **File** pilih **Open** kemudian **Open Method** sehingga tampil window **Open File**.
8. Pilih method ON (ON.METH), kemudian tekan “**Open**” sehingga method terbuka.
9. Tekan pada bagian **control**, dan tekan untuk mengaktifkan method **ON**.
10. Untuk melakukan monitor sistem, tekan menu bar Sistem, sehingga tampil menu bar Si stem.
11. Klik pada ■ sehingga tercentang (√) sehingga tampil area chromatogram dan system monitoring. Tunggu sampai status “**Ready**”.
12. Setelah status “**Ready**”, buka method operasi yang diinginkan.
13. Kembali ke menu bar System dan tunggu sampai status dengan method operasi “**Ready**”.
14. Lakukan “Monitoring Baseline” (klik acquisition → klik monitoring baseline → pilih method yang sudah dibuka → **OK**), tunggu sampai baseline lurus.
15. Setelah baseline lurus (system sudah stabil dengan method operasi), akhiri monitoring baseline dengan klik button “**STOP**”.

16. Instrument siap untuk injeksi standard/contoh.
17. Buat sequence (nama file; jumlah sampel; type).
18. *Start sequence* → pilih method yang sudah dibuka → beri nama file → isi jumlah sampel (pada kolom *No. of injection*) → **“START”**.
19. Tunggu sampai muncul *“waiting for injection”* → suntikan sampel → setelah *valve* tertutup klik **start** → tunggu sampai running selesai.
20. Lakukan penyuntikan sampel sampai selesai.
21. Melihat data hasil analisa → *open chromatogram* → pilih file.

Prosedur mematikan instrument GC CP 4900:

- a. Tekan **“open file”**, lalu pilih **“Open Method”**, kemudian pilih dan tekan **“OFF.METH”**.
- b. Pilih **“control”**, lalu tekan tanda merah dan tunggu sampai status **“Ready”**.
- c. Pastikan bahwa seluruh *oven injector* dan *column* lebih kecil dari 50 °C.
- d. Tutup aplikasi software Galaxie Chromatography Data System dengan memilih **“Quit”** pada menu **File**.
- e. Matikan GC dengan mengatur *power switch* pada posisi **“OFF”** (0).
- f. Tutup semua tabung gas.
- g. Matikan laptop.

Konsentrasi gas diperoleh berdasarkan nilai area dari standar gas dan area dari contoh gas yang akan dihitung konsentrasinya. Dari persamaan di bawah ini konsentrasi dari contoh gas dapat dihitung. *Csp* adalah nilai konsentrasi gas dari satu contoh (*ppm*), sedangkan *Cstd* adalah konsentrasi dari gas standar (bersertifikat) yang ada. *Asp* adalah *area* dari *peak* hasil pembacaan kromatogram dan *Astd* adalah *area* dari pembacaan kromatogram gas standar.

$$\frac{C_{sp}}{C_{std}} = \frac{A_{sp}}{A_{std}}$$

Setelah data konsentrasi gas pada interval waktu 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, dan 24 menit dihitung, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan fluks GRK. Hasil analisis konsentrasi gas dengan interval waktu 3 menit tersebut akan digunakan untuk menentukan laju perubahan/fluks CH₄ dan CO₂ (dc/dt). Perhitungan fluks CO₂ pada setiap perlakuan menggunakan persamaan sebagai berikut yang diadopsi dari IAEA (1993).

$$E = \frac{Bm}{Vm} \times \frac{\delta Csp}{\delta t} \times \frac{V}{A} \times \frac{273.2}{T + 273.2}$$

Keterangan :

- E = emisi CO₂/CH₄ (mg/m²/hari)
- V = volume sungkup (m³)
- A = luas dasar sungkup (m²)
- T = suhu udara rata-rata di dalam sungkup (°C)
- dCsp/dt = laju perubahan konsentrasi gas CH₄ dan CO₂ (ppm/menit)
- Bm = berat molekul gas CH₄ dan CO₂ dalam kondisi standar
- Vm = volume gas pada kondisi stp (*standard temperature and pressure*) yaitu 22.41 liter pada 23°K

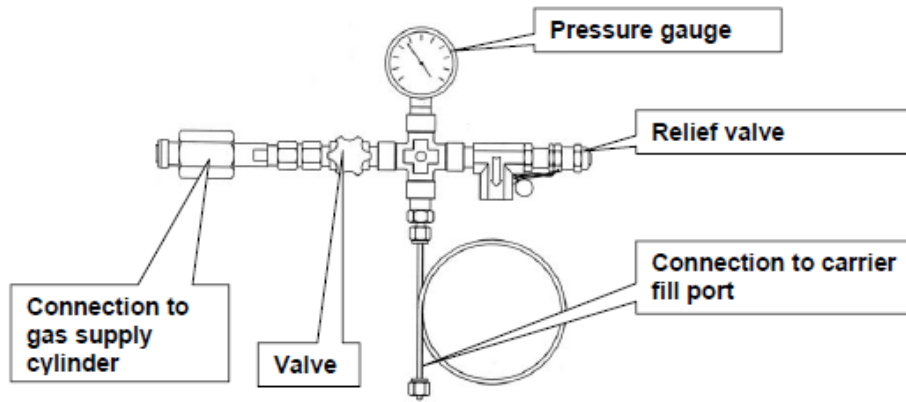
Lampiran 2. Pemeliharaan Micro GC CP 4900

1. Lakukan pengecekan tekanan gas carrier pada tabung gas Micro GC dengan cara memutar panah pada posisi **Open**. Apabila jarum penunjuk mendekati zona warna merah segera lakukan pengisian *gas carrier*. Tabung dalam Micro GC penuh dengan *gas carrier* apabila jarum penunjuk berada pada zona kuning. Zona merah, kuning dan hijau dapat dilihat pada bagian depan Micro GC.
2. Pengisian *gas carrier* hanya dilakukan dengan menggunakan *gas carrier* dengan kemurnian tinggi (UHP 99,999%).
3. Gas standar yang digunakan harus bersertifikat dan menunjukkan masa kadaluarsa.
4. Tutup secara tepat *injector port* di bagian belakang untuk menghindari masuknya debu dan hewan kecil ke dalam Micro GC.
5. Lakukan pengecekan baterai dan segera *charge* apabila baterai habis.
6. Bersihkan secara rutin bagian luar Micro GC dengan menggunakan lap lembut.
7. Program komputer yang digunakan untuk mengoperasikan Micro GC merupakan program khusus dan sangat sensitif terhadap program lain sehingga pengguna **tidak diperkenankan** untuk menambahkan program baru terlebih apabila terhubung dengan internet. Selain itu tidak diperkenankan menggunakan komputer Micro GC ini selain untuk kepentingan pengukuran GRK.
8. Simpan Micro GC ditempat yang sejuk (ruang AC) untuk menghindari serangan jamur.
9. Lakukan *conditioning* secara rutin (minimal seminggu dua kali) apabila Micro GC jarang digunakan.

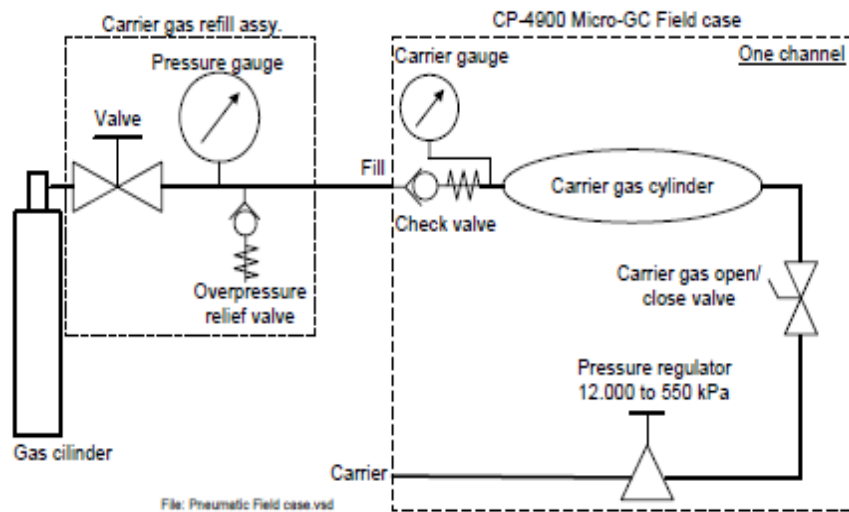
Lampiran 3. Set Point Micro GC CP 4900

Ket	On Meth	Glasshouse Meth	Off Meth
Data acquisition	60 s	60 s	60 s
Run Time	100 Hz	100 Hz	100 Hz
Sampling freq			
Injector	100 ms	100 ms	100 ms
Injection time	80°C	80°C	50°C
Injection temp			
Oven	50°C	50°C	40°C
Column oven temp			
Pressure	Static	Static	Static
Mode	15 Psi	15 Psi	15 Psi
Initial pressure			
Detector	-	√	-
Detector state	√	√	√
TCD Temp Limit Check	√	√	√
Invert signal	auto	auto	auto
Detector sensitivity			
Miscellaneous	10 s	10 s	10 s
Stabilization time	20 s	20 s	20 s
Sampling time	80°C	80°C	80°C
Sample line temp			

Lampiran 4. Cara Pengisian Gas pada Mikro GC Tipe CP 4900



a



b

Lampiran 5. Contoh Perhitungan

PERHITUNGAN CO₂ FLUX & KONVERSI MOL KE GRAM

I. Perhitungan CO₂ flux mengikuti langkah sebagai berikut:

- a. Menghitung perubahan konsentrasi CO₂ $\left(\frac{dC_c}{dt}\right)$ berdasarkan grafik eksponensial pengukuran emisi CO₂ di lapangan $\left(\frac{\mu\text{mol}}{\text{mol}}\right)$ atau ppm versus waktu pengukuran (det). Persamaan grafik eksponensial adalah sbb:

$$y = a * e^{bt}, \text{ dimana:}$$

y	:	konsentrasi CO ₂ (μmol/mol) atau ppm
a	:	konstanta
e	:	fungsi eksponensial (setara dengan bilangan 2,71828183)
b	:	konstanta waktu
t	:	waktu (det)

- b. Menghitung fluks CO₂ berdasarkan persamaan

$$f_c = \frac{Ph}{RT} \frac{dC_c}{dt}, \text{ dimana:}$$

f _c	:	fluks CO ₂
P	:	tekanan atmosfer (berdasarkan rata-rata cellPress pembacaan LI-820)
h	:	tinggi chamber (m)
R	:	konstanta gas (8,314 Pa m ³ /K/mol)
dC _c	:	perubahan konsentrasi CO ₂ antara t ₀ ke t ₁ (μmol/mol)
dt	:	selisih t ₀ ke t ₁ (det)

Contoh kasus: diketahui persamaan eksponensial dari hasil pengukuran lapang adalah $y = 391,68e^{0,0009x}$ (R²=0,996), dimana:

y	:	konsentrasi CO ₂ (μmol/mol) atau ppm
391,68	:	konstanta
e	:	fungsi eksponensial (setara dengan bilangan 2,71828183)
0,0009	:	konstanta waktu
x	:	t, waktu (det)

Pertanyaan: berapa fluks CO₂ pada waktu pengukuran selama 2 menit?

Jawab:

Diketahui lama pembacaan adalah 2 menit atau 120 detik. Asumsi rata-rata tekanan udara pada saat pengukuran adalah 105,782 kPa, tinggi sungkup adalah 19,625 cm, dan temperatur udara adalah 23 °C.

a. Langkah 1 (menghitung perubahan konsentrasi CO₂)

$$\left(\frac{dC_c}{dt}\right) = \left(\frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}\right)$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \text{konsentrasi CO}_2 \text{ pada saat penutup chamber dipasang } (t_0=0 \text{ det}) \\ &= 391,68e^{0,0009x} \\ &= 391,68 * 2,71828183^{-(0,0009*0)} \\ &= 391,68 \text{ } (\mu\text{mol/mol}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \text{konsentrasi CO}_2 \text{ setelah 2 menit } (t_1=120 \text{ det}) \\ &= 391,68e^{0,0009x} \\ &= 391,68 * 2,71828183^{-(0,0009*120)} \\ &= 436,35 \text{ } (\mu\text{mol/mol}) \end{aligned}$$

$$\left(\frac{dC_c}{dt}\right) = \left(\frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}\right) = \left(\frac{436,35 - 391,68}{120 - 0}\right) = 0,37225184 \text{ } \mu\text{mol/mol/det}$$

b. Langkah 2 (menghitung fluks CO₂)

$$f_c = \frac{Ph}{RT} \frac{dC_c}{dt} = \frac{(105,782 * 1000) \text{ Pa} * \left(\frac{19,625}{100}\right) \text{ m}}{8,314 \text{ Pa m}^3/\text{mol} * (23 + 273) \text{ } ^\circ\text{K}} * 0,37225184 \text{ } \mu\text{mol/mol/det}$$

$$f_c = 3,1402 \text{ } \mu\text{mol/m}^2/\text{det}$$

Jadi fluks CO₂ selama pengukuran 2 menit tersebut sebesar 3,14 $\mu\text{mol/m}^2/\text{det}$

II. Konversi dari mol ke gram

a. Langkah 1. Merubah satuan μmol menjadi mol (dibagi 1.000.000)

$$3,14 \text{ } \mu\text{mol} = (3,14 / 1.000.000) \text{ mol} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

b. Langkah 2. Merubah satuan mol menjadi mol/liter. Menurut hukum gas ideal, 1 mol gas menempati ruang 24,15 liter. Sehingga dalam $3,14 \cdot 10^{-6}$ mol setara dengan

$$\frac{3,14 \cdot 10^{-6} \text{ mol}}{24,15 \text{ liter}} = 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ mol/liter}$$

c. Langkah 3. Merubah mol/liter menjadi gram (dikalikan Berat Molekul CO₂, 44,010 g/mol).

$$0,13 \cdot 10^{-6} \text{ mol/liter} * 44,010 \text{ g/mol} = 5,7213 \cdot 10^{-6} \text{ g/liter} = 0,0057 \text{ mg/liter}$$