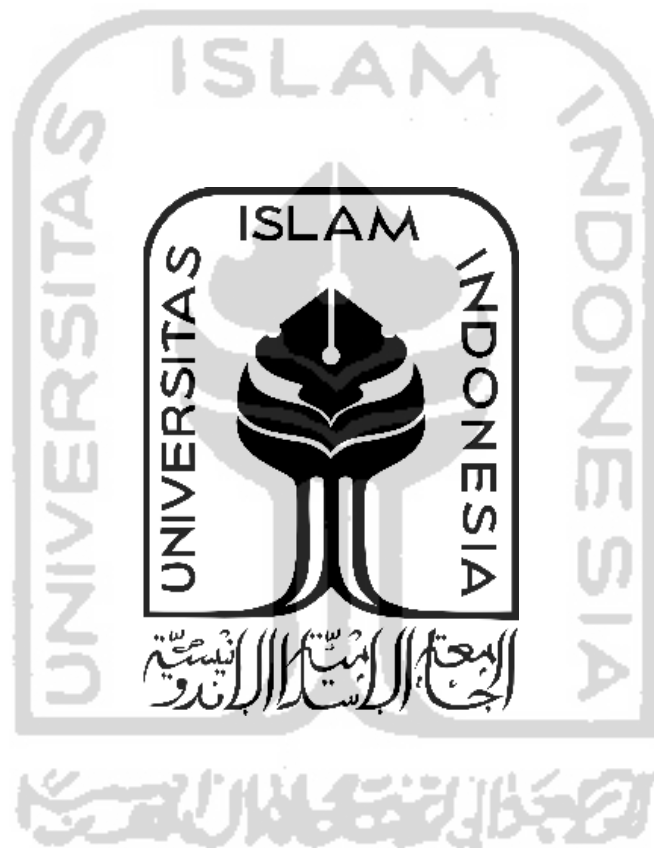


TA/TL/2020/1215

**TUGAS AKHIR**

**POTENSI EMISI GAS METANA (CH<sub>4</sub>)  
PADA RESTORASI KARST DENGAN  
PEMBENAH TANAH DI DALAM PERSEMAIAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**NURUL DINDA LATIFAH  
16513140**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2020**



**TUGAS AKHIR**  
**POTENSI EMISI GAS METANA (CH<sub>4</sub>)**  
**PADA RESTORASI KARST DENGAN**  
**PEMBENAH TANAH DI DALAM PERSEMAIAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

**NURUL DINDA LATIFAH**  
**16513140**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing,

**Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H.**

**NIP. 165131303**

**Tanggal: 04 Juli 2020**

**Dr. Nur Aini Iswati Hasanah**

**NIP. 185130403**

**Tanggal: 26 Juni 2020**

Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan



**Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D**

**NIP. 025100406**

**Tanggal: 20 Juli 2020**



**HALAMAN PENGESAHAN**

**POTENSI EMISI GAS METANA (CH<sub>4</sub>)  
PADA RESTORASI KARST DENGAN  
PEMBENAH TANAH DI DALAM PERSEMAIAN**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jum'at  
Tanggal : 17 Juli 2020

Disusun Oleh:

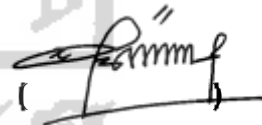
NURUL DINDA LATIFAH  
16513140

Tim Penguji :

Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H.

Dr. Nur Aini Iswati Hasanah

Dewi Wulandari, Ph.D






## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 28 Juni 2020  
Yang membuat pernyataan,



  
**Nurul Dinda Latifah**  
NIM: 16513140





## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak Februari 2019 ini ialah mengenai emisi dari lahan karst dengan judul: Potensi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Pada Restorasi Karst Dengan Pembena Tanah Di Dalam Persemaian. Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi tugas akhir penyelesaian program sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan semangat, dukungan, dorongan dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT.
2. Ibu Qorry Nugrahayu, S.T., M.T. dan Bapak Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H selaku pembimbing 1 yang telah membimbing penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik..
3. Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah selaku pembimbing 2 yang sangat membantu penulis dalam menulis laporan TA ini, terimakasih atas masukan, ilmu, bimbingan, serta segala hal yang tela ibu berikan kepada penulis hingga bisa menyelesaikan TA ini.
4. dan Ibu Dewi Wulandari, Ph.D selaku dosen penguji yang telah banyak memberi saran dan masukan selama penelitian ini.
5. Tim *Limestone Project* yang telah berjuang bersama-sama penulis melakukan penelitian ini, zehan, nindy, aim, puspa, tri, adib, dan naufal kalian luar biasa, terimakasih atas suka dukanya, akhirnya kita menyelesaikan ini.
6. Teman-teman yang selalu mengajak penulis mengerjakan skripsi, di perpustakaan, cafe, kos, dan kampus. Jika bukan karna semangat kalian penulis juga tidak akan semangat mengerjakannya.
7. Semua orang yang telah memberikan hal-hal positif kepada penulis.  
*You made my day guys.*

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak terdapat berbagai kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga tugas tugas akhir ini bermanfaat.

Yogyakarta, 12 Maret 2020

*Nurul Dinda Latifah*



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## ABSTRAK

NURUL DINDA LATIFAH. *Potensi Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Pada Restorasi Karst dengan Pembenh Tanah di dalam Persemaian. Dibimbing oleh QORRY NUGRAHAYU, S.T., M.T., AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H dan DR. NUR AINI ISWATI H., S.T., M.SI.*

Salah satu upaya untuk restorasi karst adalah menggunakan bahan pembenh tanah berupa *biochar* dan pupuk kandang. Penambahan pembenh tanah dapat meningkatkan dan juga dapat mengurangi emisi CH<sub>4</sub> yang lepas dari tanah menuju atmosfer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi emisi CH<sub>4</sub> dan hubungannya dengan kondisi lingkungan mikro pada restorasi karst dengan pembenh tanah di dalam persemaian. Pengambilan data dilaksanakan dalam 2 minggu sekali pada musim kemarau Juni-September 2019 di persemaian Gunung Plencing, Wukirsari, Imogiri, Bantul. Penelitian dilakukan dengan 2 tipe media, M1 sebagai media kontrol dan M2 sebagai media dengan penambahan pembenh tanah dengan perlakuan ada vegetasi (MV) dan tanpa vegetasi (MN). Hasil nilai fluks tiap media bervariasi menunjukkan nilai positif dan negatif yang berhubungan dengan konsumsi dan produksi emisi CH<sub>4</sub>. Total fluks emisi CH<sub>4</sub> yang di dapatkan pada M1N sebesar -504,17 mg/m<sup>2</sup>, M2N sebesar 176,80 mg/m<sup>2</sup>, M1V sebesar 173,16 mg/m<sup>2</sup>, dan M2V sebesar 178,31 mg/m<sup>2</sup>. Emisi CH<sub>4</sub> terbesar terdeteksi pada media dengan pembenh tanah. Hal yang mempengaruhi fluks emisi CH<sub>4</sub> yang terukur salah satunya kondisi lingkungan mikro. Pada M1 dan M2 hubungan dengan kondisi lingkungan mikro secara umum bertolak belakang kecuali pada hubungan dengan kelembapan tanah.

**Kata kunci:** Gas metana (CH<sub>4</sub>), karst, lingkungan mikro, pembenh tanah, restorasi karst.

## ABSTRACT

NURUL DINDA LATIFAH. *Methane Gas (CH<sub>4</sub>) Emission Potential on the Restorated Karst with Soil Amendment in Nursery. Supervised by QORRY NUGRAHAYU, S.T., M.T., AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H and DR. NUR AINI ISWATI H., S.T., M.SI.*

*One of the efforts to restore karst is using soil amendment (manure fertilizer and biochar). Adding the soil amendment can increase and also reduce the emission of CH<sub>4</sub> from soil to atmosphere. This study aims to determine the emission potential of CH<sub>4</sub> and their correlation to the micro-environmental conditions in restorated karst with soil amendment in the nursery. Data were collected every two weeks during the dry season June-September 2019 at the nursery of Gunung Plencing, Wukirsari, Imogiri, Bantul. The research was conducted with two type of media, M1 as the control and M2 as the soil amendment media by the treatment of vegetation (MV) and without vegetation (MN). The results of the flux from each media showed positive and negative*

values related to consumption and production of  $\text{CH}_4$  emissions. The flux total of  $\text{CH}_4$  emissions obtained at M1N was  $-504,17 \text{ mg/m}^2$ , M2N was  $176,80 \text{ mg/m}^2$ , M1V was  $173,16 \text{ mg/m}^2$ , and M2V was  $178,31 \text{ mg/m}^2$ . The largest  $\text{CH}_4$  emissions were detected in media with soil amendment, one thing that contributed to the value of the total fluxes from  $\text{CH}_4$  emissions is the micro-environmental conditions. In M1 and M2 the correlation between micro-environmental and flux is generally opposite, except the correlation with soil moisture was same.

**Keywords:** Methane ( $\text{CH}_4$ ), karst, micro-environmental, soil amendment, restored karst.



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Manfaat</b> .....	<b>2</b>
<b>1.5 Ruang Lingkup</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Kawasan Karst</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Restorasi Tanah Karst</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3 Gas CH<sub>4</sub> (CH<sub>4</sub>)</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4 Emisi CH<sub>4</sub> Kondisi Lingkungan Mikro</b> .....	<b>8</b>
<b>2.5 Eucalyptus sp.</b> .....	<b>9</b>
<b>2.6 Penelitian Terdahulu</b> .....	<b>10</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Metode Penelitian</b> .....	<b>13</b>
3.2.1 Alat.....	13
3.2.2 Bahan.....	16
<b>3.3 Tahapan Penelitian</b> .....	<b>17</b>
3.3.1 Pembuatan Media dan Penanaman Vegetasi.....	17
3.3.1 Pengukuran dan Analisis <i>Micro-Environmental Condition</i> .....	18
3.3.3 Pengukuran Sampel Gas.....	20
3.3.4 Analisis Sampel Gas dan Perhitungan Emisi CH <sub>4</sub> .....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1 Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2 Fluks Emisi Gas CH<sub>4</sub></b> .....	<b>27</b>
4.2.1 Nilai Fluks Emisi Gas CH <sub>4</sub> .....	27
4.2.2 Total Fluks Emisi Gas CH <sub>4</sub> .....	30
<b>4.3 Hubungan Dengan Kondisi Lingkungan Mikro</b> .....	<b>32</b>
4.3.1 Suhu Tanah.....	32
4.3.2 Suhu Udara .....	34
4.3.3 pH Tanah .....	36
4.3.4 Potensial Reduksi-Oksidasi (Redoks).....	37
4.3.5 Kelembaban Tanah.....	39

4.3.6 Daya Hantar Listrik (DHL).....	40
4.3.7 Kelembaban Udara.....	42
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>45</b>
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>55</b>



## DAFTAR TABEL

1 Studi Penelitian Terdahulu.....	10
-----------------------------------	----



## DAFTAR LAMPIRAN

1 Gambar Grafik fluks terhadap waktu .....	55
2 Gambar Hubungan antara emisi CH <sub>4</sub> dengan parameter lingkungan mikro .....	55
3 Hasil Pengujian Gas CH <sub>4</sub> .....	56
4 Hasil Perhitungan Fluks Gas CH <sub>4</sub> .....	59
5 Data analisa tekstur tanah .....	64
6 Analisa tekstur tanah pada media 1 .....	64
7 Analisa tekstur tanah pada media 2 .....	65
8 Rata-Rata Fluks Emisi CH <sub>4</sub> /Perlakuan dalam menit .....	65
9 Rata-Rata Fluks Emisi CH <sub>4</sub> /Perlakuan dalam hari .....	65
10 Total Fluks Emisi CH <sub>4</sub> .....	66
11 Data Kondisi lingkungan mikro .....	67
12 Data pF tanah.....	67
13 Pembuatan Media .....	68
14 Pengambilan Contoh Uji Gas .....	69





## DAFTAR GAMBAR

1 <i>Nursery</i> di Gunung Plencing .....	13
2 Tampak depan <i>base chamber</i> .....	14
3 Tampak atas <i>base chamber</i> .....	14
4 Tampak 3 dimensi <i>base chamber</i> .....	14
5 Tampak depan upper chamber .....	15
6 Tampak atas upper chamber .....	15
7 Prosedur Penelitian .....	17
8 Segitiga Tekstur .....	19
9 Tampak Luar Upper Chamber .....	20
10 Tampak Dalam Upper Chamber .....	21
11 Pemberian Air Pada Sela Chamber .....	21
12 Tata letak alat saat pengambilan contoh gas di Gunung Plencing .....	22
13 Fluks dan akumulasi emisi gas CH <sub>4</sub> pada 4 jenis perlakuan media .....	28
14 Siklus CH <sub>4</sub> global di alam .....	29
15 Total fluks emisi CH <sub>4</sub> .....	31
16 Hubungan suhu tanah terhadap fluks emisi gas CH <sub>4</sub> .....	33
17 Hubungan suhu udara terhadap fluks gas CH <sub>4</sub> .....	35
18 Hubungan pH terhadap fluks emisi gas CH <sub>4</sub> .....	36
19 Hubungan potensial redoks tanah dengan fluks emisi CH <sub>4</sub> .....	38
20 Hubungan kelembaban tanah dengan fluks emisi gas CH <sub>4</sub> .....	40
21 Hubungan daya hantar listrik tanah dengan fluks emisi gas CH <sub>4</sub> .....	41
22 Hubungan kelembaban udara dengan fluks gas emisi CH <sub>4</sub> .....	42



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut Haryono (2009), ekosistem karst merupakan salah satu daerah yang berpotensi sebagai penyerap karbon. Luas Kawasan karst di Indonesia mencapai  $\pm 140.000 \text{ km}^2$  atau 20% dari total luas wilayah (Dwiputra *et al.*, 2019). Salah satu pegunungan karst di Indonesia adalah Gunung Sewu. Pada September 2015, UNESCO (2015) menetapkan kawasan Pegunungan Sewu sebagai kawasan Geopark Dunia (Global Geopark Network / GGN).

Proses pembentukan karst adalah bagian dari siklus karbon, siklus air dan kalsium yang terjadi pada pertemuan antara litosfer, hidrosfer, atmosfer, dan biosfer. Reaksi  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CaCO}_3$  dikenal sebagai sistem dinamik karst yang berguna dalam menjelaskan pentingnya karst dalam siklus karbon (Liu *et al.*, 2010).

Wilayah di ekosistem karst yang sangat spesifik menimbulkan berbagai permasalahan diantaranya menyangkut fungsi dan daya dukung ekosistem karst meliputi, permasalahan tentang kekeringan, kekurangan air, gagal panen, hijauan ternak terbatas, lahan kritis yang luas, kualitas sumber daya air, dll (Suryatmojo, 2006). Salah satu cara yang dilakukan untuk konservasi tanah karst adalah dengan pembenahan tanah (Agusni *et al.*, 2014).

Pembenahan tanah dapat dilakukan untuk mengelola tanah karst yang rusak dengan penambahan bahan seperti pupuk kandang dan juga *biochar*. Pemberian pupuk kandang dapat mempengaruhi sifat fisik tanah (berat volume, berat jenis tanah dan porositas) serta dapat meningkatkan produktivitas tanaman (Agusni *et al.*, 2014). Penambahan *biochar* juga sudah banyak diteliti dan mampu memperbaiki sifat fisik tanah salah satunya adalah kemampuan tanah dalam menyimpan air (Cheng *et al.*, 2019).

Bahan organik seperti *biochar* dan pupuk kandang dapat meningkatkan atau mempertahankan struktur pada akar tanaman, menambah nutrisi, dan mempertahankan kesuburan (Faber, 1995) Namun, bahan organik tersebut dapat menjadi faktor penyebab besarnya emisi  $\text{CH}_4$  di dalam tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik pada tanah meningkatkan produksi  $\text{CH}_4$  dalam proses dekomposisi. Bahan organik menstimulasi produksi  $\text{CH}_4$  melalui suatu rangkaian proses yang diakhiri dengan pembentukan  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_4$  (Sumani *et al.*, 2009).

Disisi lain menurut Spokas (2009), penambahan *biochar* dapat mengurangi laju produksi gas rumah kaca ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{CH}_4$ ) dalam jangka pendek. Penambahan *biochar* di sini juga mengurangi laju oksidasi  $\text{CH}_4$  dalam tanah, menurunkan produksi  $\text{CH}_4$  dalam tanah. Selain dari faktor bahan organik dalam tanah, menurut Setiawan *et al.* (2013) pada emisi  $\text{CH}_4$  juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mikro seperti kelembaban tanah, suhu tanah [Miyata *et al.* (2000)] dan daya hantar listrik (DHL) tanah, sehingga parameter tersebut juga dapat dijadikan sebagai parameter yang berpotensi mempengaruhi emisi  $\text{CH}_4$  (Arif *et al.*, 2015).

PUSARPEDAL (2011) menyebutkan bahwa  $\text{CH}_4$  termasuk gas rumah kaca (GRK) atau *Green House Gases* (GHG) yang 21 kali lebih kuat dari  $\text{CO}_2$ . Hal ini menyebabkan terjadinya pemanasan global karena mampu menyerap dan meneruskan radiasi sinar matahari (gelombang pendek) namun memantulkan kembali radiasi gelombang panjang yang dipancarkan dari permukaan bumi sehingga mengakibatkan kenaikan suhu bumi.

Dalam praktiknya melakukan pembenahan tanah pada karst disebut juga restorasi yang menggunakan *biochar* dan pupuk kandang dapat meningkatkan dan juga dapat mengurangi emisi  $\text{CH}_4$  yang lepas dari tanah menuju atmosfer. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk menganalisa lebih lanjut potensi emisi  $\text{CH}_4$  dan juga faktor-faktor dari lingkungan mikro seperti  $T_{\text{udara}}$ ,  $T_{\text{tanah}}$ , ORP, pH, Soil Moisture, RH, EC dan EH yang mempengaruhi emisi  $\text{CH}_4$  pada lahan karst di dalam persemaian Gunung Plencing yang di restorasi dengan pembenah tanah dan di tanamani vegati yaitu *Eucalyptus sp.*

### 1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana potensi emisi  $\text{CH}_4$  pada restorasi karst dengan pembenah tanah di dalam persemaian?
2. Bagaimana pengaruh kondisi lingkungan mikro terhadap potensi emisi  $\text{CH}_4$  pada restorasi karst dengan pembenah tanah di dalam persemaian?

### 1.3 Tujuan

1. Menganalisa potensi emisi  $\text{CH}_4$  pada restorasi karst dengan pembenah tanah di dalam persemaian.
2. Menganalisa pengaruh kondisi lingkungan mikro terhadap potensi emisi  $\text{CH}_4$  pada restorasi karst dengan pembenah tanah di dalam persemaian.

### 1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang didapat dari penelitian ini baik bagi perguruan tinggi, masyarakat dan pemerintah, yaitu :

1. Bagi Perguruan Tinggi  
Hasil penelitian dapat menjadi referensi pembelajaran, khususnya mengenai pengetahuan tentang emisi gas rumah kaca  $\text{CH}_4$  pada karst sebagai sarana dalam menghasilkan sarjana teknik yang handal dan memiliki pengetahuan mendalam mengenai restorasi karst.
2. Bagi Masyarakat  
Sebagai referensi bahan penelitian mengenai emisi  $\text{CH}_4$  pada restorasi karst dengan pembenah tanah dan bahan kajian penentuan hipotesis lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Sebagai sumber informasi dan referensi dalam pengembangan penelitian mengenai kawasan karst yang lengkap dan terpercaya.
3. Bagi Pemerintah  
Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan masukan dan bahan pertimbangan dalam mengambil kebijakan mengenai potensi emisi  $\text{CH}_4$  yang dikeluarkan oleh karst yang terestorasi dengan pembenah tanah. Memperoleh solusi dalam memecahkan masalah dan menentukan kebijakan-kebijakan yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan adalah menghitung fluks gas  $\text{CH}_4$  dari persemaian yang di buat pada lahan karst Gunung Plencing. Terdapat dua jenis media dengan perlakuan berbeda, media satu (M1) dan media dua (M2). M1 yang di gunakan adalah campuran dari Limesoil dan Limerock, sedangkan M2 yang digunakan adalah campuran dari Limesoil, Limerock, Biochar, dan pupuk kandang. Pengukuran dilakukan pada saat musim kemarau dengan mengambil sampel dari masing-masing media yaitu media yang memiliki vegetasi (Eucalyptus) dan tanpa vegetasi secara duplo. Kemudian dilakukan analisis fluks emisi  $\text{CH}_4$  pada setiap media dan pengaruh dari kondisi lingkungan mikro yang di ukur seperti  $T_{\text{udara}}$ ,  $T_{\text{tanah}}$ , ORP, pH, Soil Moisture, RH, EC dan EH terhadap emisi  $\text{CH}_4$ .





*"Halaman ini sengaja di kosongkan"*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kawasan Karst

Karst berasal dari bahasa Yugoslavia, kemudian diadaptasikan dalam bahasa Jerman, yang berarti tempat tanpa air dan dingin, juga berkonotasi permukaan batuan gundul. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2016), “Karst adalah daerah yang terdiri atas batuan kapur yang berpori sehingga air di permukaan tanah selalu merembes dan menghilang ke dalam tanah (permukaan tanah selalu gundul karena kurang vegetasi)”.

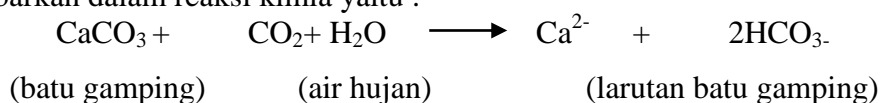
Menurut Perda Provinsi Jawa Barat No. 2/2002 tentang Perlindungan Lingkungan Geologi pasal 1 nomor 13 sampai 16 yang dimaksud kawasan karst adalah kawasan batuan karbonat (batuan gamping dan atau dolomit) yang memperlihatkan bentang alam karst atau morfologi karst. Bentang alam batuan karbonat ditandai oleh bukit berbangun kerucut dan menara, lembah dolina, gua, stalaktit dan stalakmit serta sungai bawah tanah.

Indonesia memiliki kawasan karst yang tersusun oleh batuan karbonat, dan hampir tidak ada yang tersusun oleh batuan lain seperti gipsum, batugaram, maupun batuan evaporit (Adji, 1999). Kawasan karst Indonesia tersebar di beberapa di wilayah Pulau Sumatera, Papua dan pulau-pulau kecil lainnya (Samodra, 2001).

Di antara kawasan karst Indonesia tidak semuanya berkembang dengan baik, kawasan karst yang dianggap baik dan fenomenal diantaranya Gunung Sewu, Gombong, Maros, Sangkulirang dan Papua (Samodra, 2001). Keberadaan kawasan karst di seluruh kepulauan Indonesia mencapai  $\pm 140.000 \text{ km}^2$  atau 20% dari total luas wilayah. Salah satu diantaranya bentang karst terdapat di Yogyakarta yaitu Gunung Sewu. Pada September 2015, UNESCO 2015 menetapkan kawasan Pegunungan Sewu sebagai kawasan Geopark Dunia (Global Geopark Network / GGN).

Penjelasan Achmad (2011) menyatakan bahwa karst adalah daerah batuan karbonat ( $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{MgCO}_3$ ) atau campuran dari keduanya, yang telah mengalami pelarutan oleh  $\text{CO}_2$  di atmosfer melalui air hujan, maupun  $\text{CO}_2$  yang berasal dari sisa tanaman atau humus. Keberadaan karst terjadi di daerah berbatuan karbonat dan batuan lain yang mudah larut dengan porositas sekunder (kekar dan sesar intensif) seperti batu gipsum dan batu garam.

Karstifikasi atau proses pembentukan lahan lahan karst menurut Haryono *et al.* (2010), didominasi oleh proses pelarutan. Proses pelarutan batu gamping diawali oleh larutnya  $\text{CO}_2$  di dalam air membentuk  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Larutan  $\text{H}_2\text{CO}_3$  tidak stabil terurai menjadi  $\text{H}^+$  dan  $\text{HCO}_3^{2-}$ . Ion  $\text{H}^+$  inilah yang selanjutnya menguraikan  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{HCO}_3^{2-}$ . Masa proses pelarutan tersebut dapat digambarkan dalam reaksi kimia yaitu :



Menurut Adji *et al.* (2012), karstifikasi dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dampak tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi. Yang termasuk dalam faktor pengontrol dan faktor pendorong yaitu:

- a. Faktor pengontrol
  1. Batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan.
  2. Curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun)
  3. Batuan terekspos di ketinggian yang menungkinkan perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal.
- b. Faktor pendorong
  1. Temperature
  2. Penutupan hutan

## 2.2 Restorasi Tanah Karst

Wilayah di ekosistem karst yang sangat spesifik menimbulkan berbagai permasalahan terutama menyangkut fungsi dan daya dukung ekosistem karst. Permasalahan yang ada diantaranya menyangkut fungsi dan daya dukung ekosistem karst yaitu, permasalahan tentang kekeringan, kekurnagan air, gagal panen, hijauan ternak terbatas, lahan kritis yang luas, kualitas sumber daya air, rendahnya pendapatan, kemiskinan, tingkat pendidikan rendah, saran dan prasarana publik yang tersedia dll (Suryatmojo, 2006).

Kondisi iklim tanah karst yang relatif kering dengan curah hujan tahunan rendah menyebabkan produktivitas lahan rendah dan terjadi kekeringan. Sumber air tanah karst sebagian besar didominasi oleh aliran bawah permukaan, sumber air permukaan hanya diperoleh melalui telaga dan sumber air dari sungai bawah tanah yang keluar. Lahan kritis yang sangat luas diakibatkan karena dominasi dari batuan karbonat (batu bertanah) dengan solum yang sangat tipis (Suryatmojo, 2006).

Dibalik permasalahan tanah karst tersebut, banyak potensi-potensi di kawasan ekosistem karst yang memiliki peluang untuk dikembangkan, salah satunya adalah potensi biotik berupa pengembangan kegiatan dibidang kehutanan, perkebunan, dan pertanian. Luasnya tanah karst ini dapat dioptimalkan dengan merestorasi karst dengan bahan-bahan pembenah tanah yang umum digunakan (Suryatmojo, 2006).

Restorasi adalah suatu upaya mengubah struktur obyek konservasi untuk menggambarkan keadaan terdahulu yang diketahui; contohnya, mengubah hutan pinus (tumbuhan asing) disuatu kawasan hutan konservasi menjadi hutan tanaman rasamala yang merupakan tumbuhan asli kawasan hutan konservasi bersangkutan (Basuni, 2009).

Menurut Departemen Kehutanan (2004a), restorasi ekologi merupakan upaya untuk mengembalikan unsur biotik (flora dan fauna) serta unsur abiotik (tanah, iklim, dan topografi) pada kawasan hutan produksi, sehingga tercapai keseimbangan hayati. Restorasi ekologi (ekosistem) ini dilakukan melalui penanaman, pengayaan, pemudaan alam, dan atau pengamanan ekosistem.



Penggunaan pembenah tanah yang efektif pada lahan-lahan kritis adalah dengan memanfaatkan sumber daya daerah setempat seperti sisa-sisa tanaman. Pemanfaatan pembenah tanah yang lazim digunakan saat ini adalah kapur, abu dan pupuk kandang atau konpos. Beberapa alternatif lain dengan pemberian bahan yang lebih setabil dan mempunyai kemampuan bertahan lebih lama dapat dilakukan juga dengan penambahan arang/*biochar* (Ratmini, 2018).

Penggunaan *biochar* selain mampu memperbaiki kualitas tanah, juga mampu meningkatkan produksi tanaman (Nurida, 2012). *Biochar* mempunyai kemampuan menyimpan air cukup tinggi, sehingga penambahan *biochar* ke dalam tanah dapat mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan air dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara bagi tanaman (Ratmini, 2018).

Secara konvensional arang bukan merupakan suatu pupuk, penggunaan arang pada tanah dapat memperbaiki produksi hasil pertanian dan kesuburan, yakni melalui peningkatan pH tanah dan daya retensi hara arang yang jauh lebih besar dibandingkan bahan organik lainnya, sehingga unsur hara tanah tersedia. Peningkatan pH merupakan suatu kontribusi yang penting dalam hal perbaikan kualitas tanah. Nilai pH tanah mempengaruhi ketersediaan relatif dari unsur-unsur hara. pH tanah yang rendah toksisitas Al dapat timbul dan menyebabkan kerusakan terhadap pertumbuhan tanaman. Toksisitas ion Al merupakan masalah utama pada tanah kritis, oleh karena itu, arang dapat digunakan sebagai solusi yang baik untuk meredamnya (Siringorongi *et al.*, 2011).

Bahan organik termasuk arang mempunyai muatan positif dan negatif, oleh karena itu bahan organik ataupun arang dapat menahan kation dan anion. Penggunaan arang juga dapat menarik dan menahan unsur hara tanah, maka arang berpotensi mengurangi kebutuhan pupuk (Siringorongi *et al.*, 2011). Namun menurut Glaser *et al.* (2001) *biochar* sepertinya lebih berperan sebagai *soil conditioner* dan sebagai pembawa perubahan/transformasi terhadap hara daripada sebagai sumber utama hara.

Pupuk kandang merupakan bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air dengan cara mengikat molekul-molekul air melalui gugus-gugus fungsionalnya dan pori-pori mikronya sebagai dampak dari perbaikan agregasi tanah (Syaikhu *et al.*, 2016). Penambahan pupuk kandang pada lahan kering seperti karst dapat memperbaiki sifat fisik, biologi dan kimia tanah. Penguraian bahan organik melepaskan unsur hara serta menghasilkan humus yang dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah. Dari aspek fisik pupuk kandang dapat mendorong proses pengemburan tanah sehingga dapat menunjang pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (Latarang *et al.*, 2006)

### 2.3 Gas CH<sub>4</sub> (CH<sub>4</sub>)

Gas CH<sub>4</sub> adalah adalah hidrokarbon yang sebagian besar berasal dari alam hasil dari dekomposisi anaerobik bahan organik. Sekitar 60-90% CH<sub>4</sub> yang diproduksi dapat dioksidasi sebelum dilepas ke atmosfer. Saat ini diperkirakan sekitar 60-70% dari total emisi CH<sub>4</sub> adalah berasal dari antropogenik (Casper, 2010).

Murdiyarso *et al.* (1994) menyatakan bahwa gas rumah kaca kedua terbesar yang menyebabkan terjadinya pemanasan global adalah CH<sub>4</sub>, karena CH<sub>4</sub> menyumbang sekitar 15% dari total gas rumah kaca. Menurut Newman (1993) CH<sub>4</sub> dapat terbentuk dari selulosa dan hemiselulosa. Prosesnya terjadi dalam 3 (tiga) tahapan biologis yang terpisah, yaitu:



Selama ini dapat diketahui bahwa produksi CH<sub>4</sub> sebagian besar berasal dari limbah domestik seperti kotoran sapi, sludge, dan pembuangan domestik. Ginting (2007) menambahkan CH<sub>4</sub> terbentuk akibat penguraian zat-zat organik dalam kondisi anaerob pada air limbah. Gas ini dihasilkan lumpur yang membusuk pada dasar kolam, tidak berdebu, tidak berwarna dan mudah terbakar.

Menurut Whitman *et al.* (1992) dalam Boone (2000), CH<sub>4</sub> adalah produk penting yang terbentuk dari hasil degradasi bahan organik oleh bakteri di lingkungan seperti tanah tergenang, lahan basah, muara, sedimen air tawar dan laut, serta saluran pencernaan binatang. Setiap tahunnya ada 350-500 juta ton CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari peternakan, penggunaan bahan bakar fosil, gas alam, kultivasi padi, dan lahan tempat pembuangan akhir sampah.

Emisi CH<sub>4</sub> merupakan gas emisi yang juga potensial mencemari lingkungan bahkan berkontribusi dalam pemanasan global. Walaupun gas karbondioksida merupakan gas yang paling berpengaruh terhadap pemanasan global, radiasi CH<sub>4</sub> lebih tinggi dibandingkan karbondioksida. Pemanasan CH<sub>4</sub> terhadap atmosfer meningkat 1% setiap tahunnya, dan hewan ternak berkontribusi menghasilkan CH<sub>4</sub> sebesar 3% dari total gas rumah kaca (Tyler *et al.*, 2006).

Kontribusi gas rumah kaca terhadap pemanasan global tergantung dari jenis gasnya. Setiap gas rumah kaca mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential – GWP*) yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO<sub>2</sub> dengan nilai 1 (satu). Semakin besar nilai GWP maka akan semakin bersifat merusak (Sugiyono, 2006).

Setiap gas rumah kaca memiliki GWP berbeda-beda dan dibandingkan dengan besarnya GWP CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> memiliki dampak 21 kali lebih tinggi dibandingkan gas CO<sub>2</sub> sehingga gas ini termasuk gas yang menimbulkan efek rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global (BPPP, 2004).

#### 2.4 Emisi CH<sub>4</sub> Kondisi Lingkungan Mikro

Emisi CH<sub>4</sub> sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mikro pada tanah seperti kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, daya hantar listrik (DHL) tanah, pH tanah, dan redoks potensial tanah (Arif *et al.*, 2015). Pada penelitian yang dilakukan Arif *et al.* 2015 menyatakan bahwa adanya hubungan yang linier antara emisi CH<sub>4</sub> dengan kelembaban tanah, emisi CH<sub>4</sub> terlihat cukup tinggi ketika kelembaban tanah menunjukkan angka berkisar 0,45-0,50 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

CH<sub>4</sub> pada kondisi suhu tanah yang berkisar antara 25°-30°C menurut penelitian Arif *et al.* (2015) terdeteksi cukup tinggi. Suhu tanah pada aktifitas mikroorganisme memegang peranan yang sangat penting karena sebagian besar bakteri metanogenik (bakteri penghasil gas CH<sub>4</sub>) bekerja optimum pada suhu 30°C (Vogels *et al.*, 1988 pada Arif *et al.*, 2015). Pada DHL tanah yang

menunjukkan angka 0,3-0,4 mS/cm penelitian Arif *et al.*, (2015) menunjukkan nilai maksimum pada emisi CH<sub>4</sub>.

Menurut Rubol *et al.*, (2012) pada Wang *et al.*, (2018), pengukuran potensial redoks tanah bermanfaat menjadi kontrol hidrologis. Respirasi mikroba dalam tanah juga berkaitan dengan proses oksidasi reduksi yang mempengaruhi nilai potensial redoks (Eh) dan menjadi indikator proses biogeokimia dalam tanah (Annisa *et al.*, 2016) yang mengatur emisi GRK. Namun, beberapa penelitian melihat bahwa efek kondisi redoks tanah berpengaruh terhadap emisi GRK tanah. Setyanto *et al.*, (2004) menjelaskan bahwa produksi CH<sub>4</sub> terjadi pada kisaran nilai Eh -150 mV dan bergerak sampai dibawah -300 mV. Hal ini terjadi karena bakteri metanogen sebagai penghasil CH<sub>4</sub> pada tanah dengan penambahan bahan pembenah tanah berupa bahan organik bekerja secara optimal pada nilai Eh ≤ -150 mV dengan nilai pH mendekati angka netral.

Nilai pH tanah yang mendekati angka netral juga akan meningkatkan aktivitas bakteri metanogen dalam mengurangi CO<sub>2</sub> menjadi CH<sub>4</sub>. Penelitian yang dilakukan Yavitt *et al.*, (2004) pada Annisa *et al.*, (2016) menjelaskan bahwa korelasi antara fluks CH<sub>4</sub> dengan nilai pH tanah masih belum nyata terlihat yang menyebabkan proses metanogenesis rendah.

## 2.5 Eucalyptus sp.

Eucalyptus sp. termasuk dalam famili Myrtaceae, terdiri dari kurang lebih 700 jenis. Jenis Eucalyptus tumbuh mencapai ketinggian 100 meter berbentuk semak atau perdu. Memiliki batang bulat, lurus, tidak berbanir dan sedikit bercabang. Bentuk pohon pada umumnya bertajuk sedikit ramping, ringan dan banyak meloloskan sinar matahari. Ciri khas Eucalyptus adalah sebagian atau seluruh kulitnya mengelupas dengan bentuk kulit bermacam-macam. Warna kulit mulai dari putih kelabu, abu-abu muda, hijau kelabu sampai coklat, merah, sawo matang sampai coklat (Departemen Kehutanan, 1994)

Eucalyptus merupakan spesies yang cepat tumbuh (*fast growing species*) dan memiliki keunggulan yaitu rotasi pendek, sedikit serangan penyakit, banyak manfaatnya, dan mempunyai nilai ekonomi yang tinggi (Sulichantini, 2016). Kebanyakan tanaman Eucalyptus tidak tahan pada suhu dingin. Tanaman ini bisa tumbuh dengan baik pada suhu rata-rata per tahun 20<sup>o</sup>-32<sup>o</sup> Celcius. Eucalyptus tersebar secara alami di sebelah Timur garis Wallace, juga tersebar di kawasan Australia, New Britania, Papua, dan Tazmania (Hamdan Adma Adinugraha, 2016).

Eucalyptus sp. adalah tanaman yang banyak di ditanam di Sumatra dan Kalimantan dalam bentuk hutan tanaman industri (HTI) (Hamdan Adma Adinugraha, 2016). Beberapa jenis Eucalyptus sp. dijadikan sebagai bahan kayu bakar dan arang juga menghasilkan minyak esensial untuk bahan obat dan parfum. Selain itu, beberapa kawasan yang ditanami Eucalyptus juga menghasilkan madu dari hasil budidaya lebah madu/*apiculture* (Yaicel Gé Proenza, 2013).

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Tabel 1 Studi Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
1	Rajkishore <i>et al.</i> (2013)	Emisi gas metan pada sistem penanaman padi.	Metode pengambilan sampel menggunakan metode teknik chamber tertutup secara statis. Pengambilan gas di pagi hari pada pukul 09:00-10:00 dan siang hari pada pukul 14:00-15:00. CH <sub>4</sub> dianalisa menggunakan <i>gas chromatography</i> (GC) dengan gas pembawa adalah <i>flame ionization detector</i> (FID).	Emisi CH <sub>4</sub> yang dihasilkan berbanding lurus dengan kemajuan pertumbuhan dari tanaman padi. Tingkat emisi lebih tinggi terdapat pada penanaman model konvensional dibanding SRI. Emisi gas metan berkurang 29%-32% menggunakan metode SRI.
2	Spokas <i>et al.</i> , (2009)	Dampak biochar pada produksi GRK.	5 mL sampel dimasukkan ke dalam botol vial. Analisa sampel gas menggunakan <i>gas chromatographic mass spectrometer</i> (GC-MS). Kolom pertama adalah RT-Molesieve 5A dan kolom kedua adalah RT-QSPLOT.	Dampak penambahan <i>biochar</i> tergantung pada jenis tanah dan jenis <i>biochar</i> -nya. Jenis bahan baku <i>biochar</i> , suhu pirolisis, komposisi unsur, tidak ada korelasi dengan dampak dari emisi GRK. Sebagian besar mengurangi laju oksidasi CH <sub>4</sub> , menurunkan produksi CH <sub>4</sub> dalam tanah dari penghasil awal.
3	Arif <i>et al.</i> , (2015)	Jaringan saraf tiruan untuk menduga emisi GRK.	Metode pengambilan sampel dengan boks tertutup. GRK dianalisa menggunakan <i>gas chromatography</i> (GC). Pengukuran pada pukul 12:00 siang. Pengambilan sampel dilakukan setiap 10 menit. Menggunakan metode <i>Simpson</i> .	Model Jaringan saraf tiruan dapat digunakan, parameter lingkungan biosfer yaitu kelembaban tanah, suhu tanah, dan daya hantar listrik. Hasil validasi dari model sebesar 0,93 dan 0,70 untuk prediksi emisi gas CH <sub>4</sub> dan N <sub>2</sub> O.

Lanjutan Tabel 1

No	Sumber	Topik	Metode	Hasil
4	Imanda <i>et al.</i> , (2018)	Pengaruh jenis media tanam pada pertumbuhan pepaya.	Media tanam (M) dengan lima jenis media menggunakan perbandingan sama yaitu M1= tanah : pasir : pupuk kandang (2:1:1), M2 = tanah : pasir : arang sekam (2:1:1), M3 = tanah : pasir : kokopit (2:1:1), M4 = tanah : pupuk kandang : kokopit (2:1:1), dan M5 = tanah : pupuk kandang : arang sekam (2:1:1). Perbandingan beerdasarkan volume (v/v/v) dimasukkan kedalam polybag. Media penggunaan lahan S1 dan S2. Anak petak adalah pemupukan NPK yaitu: P1=NPK 100%, P2=NPK 75%. Dosis NPK 100%, B0=Tanpa bahan organik, B1= Pola petani, B2=Kompos (kombinasi kompos Jerami 30% + Kompos Purun 30% + Kompos Kotoran Sapi 40%). Untuk tanahnya diamati pH tanah dan potensial redoks tanah (Eh). Pengukuran fluks emisi GRK menggunakan Gas Chromatography (GC). Contoh gas dari <i>closed chamber (Paralon fiber)</i> dengan menggunakan jarum suntik ( <i>syringe</i> ).	Komposisi campuran media tanam tanah, pupuk kandang, dan arang sekam (M5) dengan perbandingan 2:1:1 merupakan media paling baik untuk bibit pepaya serta memiliki bobot bibit per polybag yang paling ringan dibandingkan dengan media tanam lain sehingga memudahkan dalam transportasi bibit.
5	Annisa <i>et al.</i> , (2016)	Pengaruh pupuk terhadap hasil padi dan emisi CH <sub>4</sub> .		Pertumbuhan tanaman padi di lahan sulfat masam yang intensif dibudidayakan lebih baik dibandingkan di lahan sulfat masam alami, namun emisi metana yang dilepaskan lebih besar. Emisi metana tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan S2P1B1.

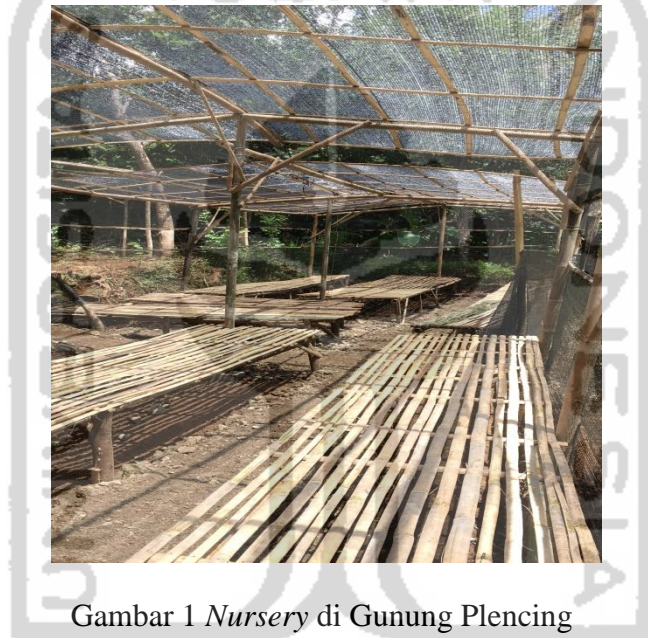


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Pembuatan media dan pengambilan data dilaksanakan selama 10 bulan terhitung dari 22 Juni 2019 sampai dengan Maret 2020. Lokasi penelitian dilakukan di area *Nursery* yang dibuat di Gunung Plecing, Wukirsari, Imogiri, Bantul, D.I. Yogyakarta dengan koordinat 7°54'04.2''S 110°23'55.7''E. Analisis sampel emisi CH<sub>4</sub> dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca Jakenan-Pati, Jawa Tengah, sedangkan analisa tekstur tanah (media) dilakukan di Laboratorium Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (BPTP) Yogyakarta.



Gambar 1 *Nursery* di Gunung Plecing

### 3.2 Metode Penelitian

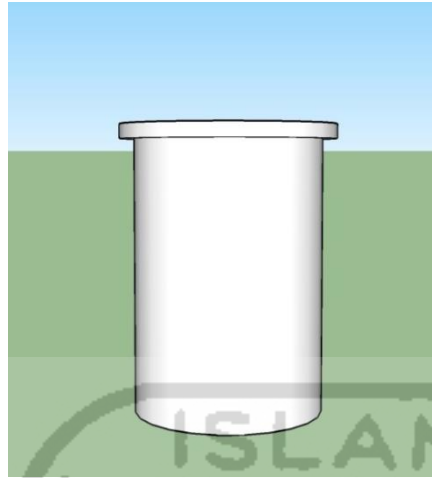
Pada penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan yang menunjang pengambilan sampel uji emisi CH<sub>4</sub> maupun tanah. Pengujian emisi CH<sub>4</sub> sendiri dilakukan di Laboratorium Gas Rumah Kaca Jakenan. Prosedur penelitian disajikan pada Gambar 7.

Alat dan bahan penunjang yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut:

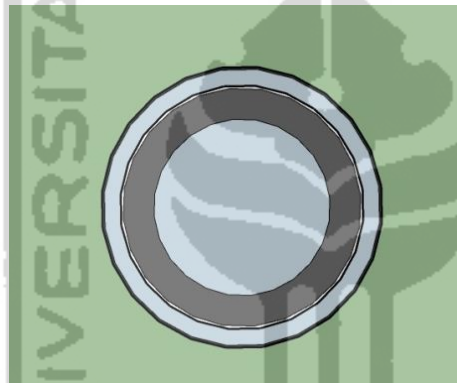
#### 3.2.1 Alat

Alat pengambilan contoh uji emisi CH<sub>4</sub>, antara lain:

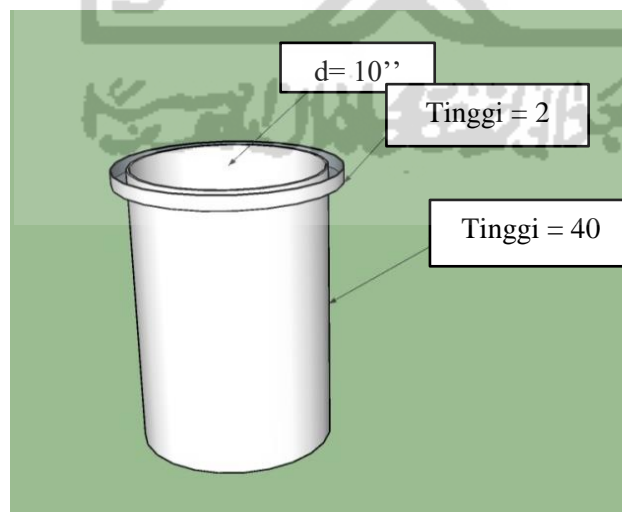
1. **Base Chamber**, terbuat dari aluminium dengan ukuran tinggi 40 cm dan diameter 10 inch seperti Gambar 4. Base chamber digunakan sebagai pengganti pot media tanam.



Gambar 2 Tampak depan *base chamber*



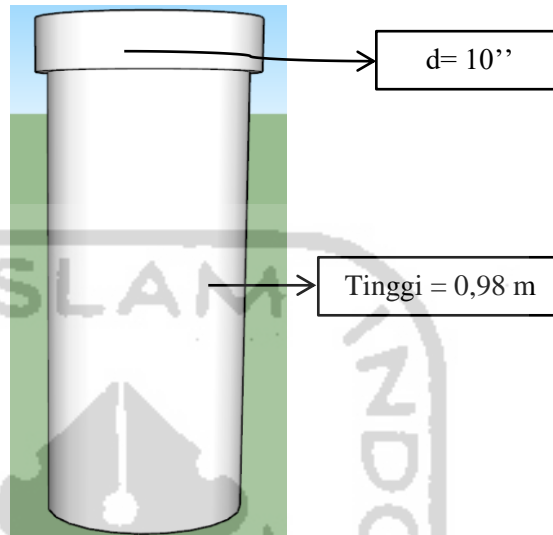
Gambar 3 Tampak atas *base chamber*



Gambar 4 Tampak 3 dimensi *base chamber*



2. **Upper chamber** ditutup dengan **dop pipa**, terbuat dari pipa PVC dengan diameter 10 inch dan tinggi 98 cm. **Upper chamber** berguna untuk ruang udara saat pengambilan sampel emisi  $\text{CH}_4$ . **Dop pipa**, dengan diameter 10 inch.



Gambar 5 Tampak depan upper chamber



Gambar 6 Tampak atas upper chamber

3. **Alumunium foil**, digunakan untuk melapisis *upper chamber*, tujuannya agar sinar matahari tidak meyerap masuk kedalam *upper chamber* saat dilakukan pengambilan gas.
4. **Tabung *vacum plain* 10 mL**, digunakan untuk wadah sampel yang akan diuji.
5. **Suntikan 50 mL**, digunakan untuk pengambilan sampel gas dari *upper chamber* dan memasukkan gas ke dalam tabung *vacum*.

6. **Three way**, digunakan untuk menutup dan membuka jalur keluarnya gas saat pengambilan sampel.
7. **Selang transparan**, digunakan untuk jalur penyambung antara *three way* dan udara di dalam *upper chamber*.
8. **Nail polish**, digunakan untuk menutup lubang pada karet tabung vacum.
9. **Termometer digital**, digunakan untuk mengukur suhu *chamber*.
10. **Kipas**, terletak didalam *upper chamber* sebagai alat sirkulasi udara
11. **Baterai AAA**, berfungsi sebagai sumber tenaga untuk kipas.
12. **Plastisin**, berfungsi untuk menutup celah-celah agar benar-benar tidak ada udara yang keluar maupun masuk dari luar dan dalam *chamber*.
13. **Kabel**, berfungsi sebagai penghantar listrik dari baterai menuju kipas.
14. **Tutup tabung reaksi**, digunakna sebagai penutup lubang yang dibuat untuk jalur pengambilan sampel  $CH_4$ .
15. **Rak tabung reaksi**, digunakan sebagai tempat menaruh sampel uji yang berada dalam tabung vacum.
16. **Plastic Wrap**, digunakan untuk menyatukan tabung vacum dengan kode sampel sama dan menutup celah agar udara lua tidak masuk.
17. **Plastik bening ukuran ½ kg**, digunakan sebagai pengatur tekanan udara yang di gantung di *upper chamber*.

Alat uji tanah yang digunakan antara lain:

1. **Neraca analitik**, digunakan untuk menimbang berat sampel tanah saat melakukan pengujian.
2. **Soil moisture PMS710**, digunakan untuk mengukur kelembapan tanah.
3. **ORPmeter**, berfungsi untuk mengukur potensi oksidasi reduksi (REDOKS).
4. **Timbangan**, digunakan untuk menimbang berat campuran bahan pembenah tanah.

Alat uji lainnya:

1. **Temperature/humidity data logger**, digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan udara atmosfer pada lokasi penelitian.

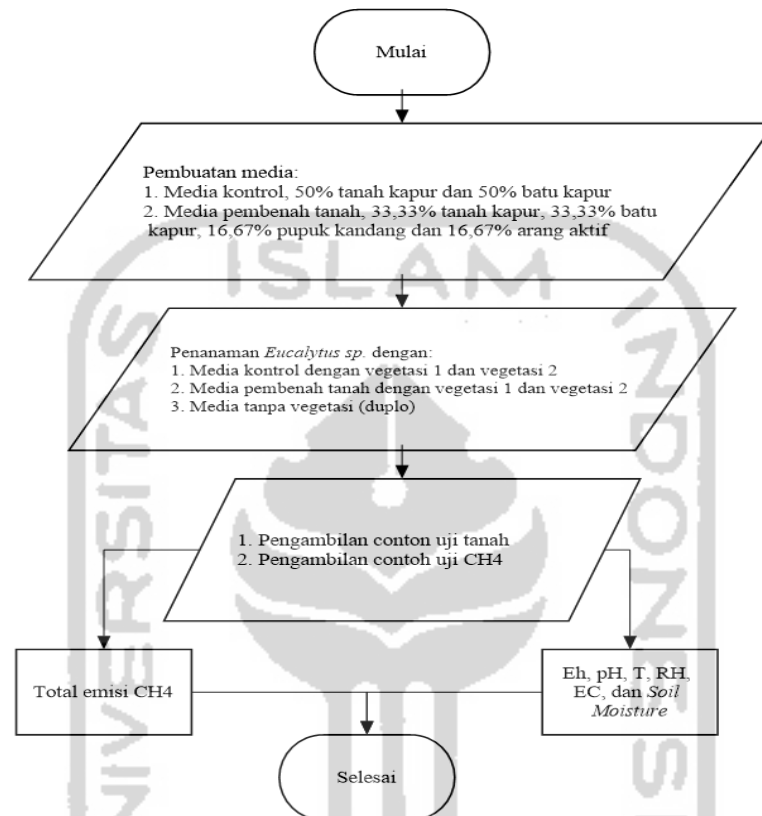
### 3.2.2 Bahan

Bahan untuk uji sampel tanah adalah **akuades**, digunakan untuk melarutkan sampel tanah.

Bahan untuk membuat media pembenah tanah antara lain:

1. **Tanah kapur dan batu kapur**, digunakan sebagai campuran untuk perlakuan media kontrol
2. **Tanah kapur, batu kapur, biochar dan pupuk kandang**, digunakan sebagai campuran perlakuan media pembenah tanah.

3. **Polybag 20x20x30 cm**, digunakan sebagai wadah media tanah.
4. **Styrofoam**, digunakan sebagai wadah sementara sampel sebelum dikirim ke Laboratorium Jakenan.
5. **Bibit *Eucalyptus sp.***, digunakan sebagai vegetasi pada media tanam.



Gambar 7 Prosedur Penelitian

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 3.3.1 Pembuatan Media dan Penanaman Vegetasi

Percobaan ini dipengaruhi oleh dua faktor. Faktor pertama adalah media tanam (M) dengan 2 jenis media. M1 sebagai kontrol [tanah kapur : batu kapur (1:1)] dan M2 sebagai media pembenah tanah [tanah kapur : batu kapur : *biochar* : pupuk kandang (2:2:1:1)]. Faktor kedua adalah penambahan vegetasi (*Eucalyptus sp.*).

Perbandingan media tanam berdasarkan volume (v/v/v). Percobaan terdiri dari 4 perlakuan dan 2 ulangan. Setiap media akan ditanami 2 vegetasi dan sisanya tanpa vegetasi. Sehingga total media yang digunakan adalah 8 media dengan 4 perlakuan penanaman vegetasi.

Percobaan ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan, yaitu persiapan media, pemindahan bibit ke dalam polybag dan *chamber* dan pemeliharaan di *nursery*. Media tanam yang digunakan dicampur sesuai dengan perlakuan dengan perbandingan yang sama. Penanaman bibit dilakukan pada *polybag* ukuran 20 cm x 20 cm x 40 cm. Pemeliharaan dilakukan dengan menyiram tanaman 2 kali sehari pada pagi dan sore hari.

### 3.3.1 Pengukuran dan Analisis *Micro-Environmental Condition*

Pengukuran *Micro-Environmental Condition* ini akan digunakan untuk mengetahui pengaruh antara fluks dari CH<sub>4</sub> dengan kondisi lingkungan mikronya terdiri dari:

#### 1. Pengukuran Parameter Lingkungan Mikro Potensial Tanah.

Parameter Lingkungan Mikro tanah yang dilakukan dengan melakukan pengukuran potensial reduksi dan oksidasi (redoks) tanah pada media yang telah dibuat di lokasi nursery dilakukan 2 minggu sekali dengan ORPmeter hasilnya tertera di layar digital ORPmeter dengan hasil analisis meliputi potensial reduksi dan oksidasi (redoks) tanah (Eh), derajat keasaman (pH) tanah, suhu (T), dan konduktivitas listrik (EC),. Selain potensial redoks tanah, kelembapan tanah (*soil moisture*) juga di ukur dengan menggunakan alat sensor digital alat ukur kelembapan tanah. Pengukuran *Micro-Environmental Condition* ini akan digunakan untuk mengetahui pengaruh antara fluks dari CH<sub>4</sub> dengan kondisi lingkungan mikronya.

#### 2. Pengukuran Parameter Lingkungan Mikro Di Udara

Pengukuran parameter lingkungan mikro di udara dalam nursery menggunakan Elitech GSP-6 yang dapat mengukur kelembapan udara dan suhu udara. Alat ini dipasang pada ketinggian 1-1,5 m dari permukaan tanam dengan interval yang diatur adalah 30 menit secara kontinyu.

### 3.3.2 Analisis Tekstur Tanah

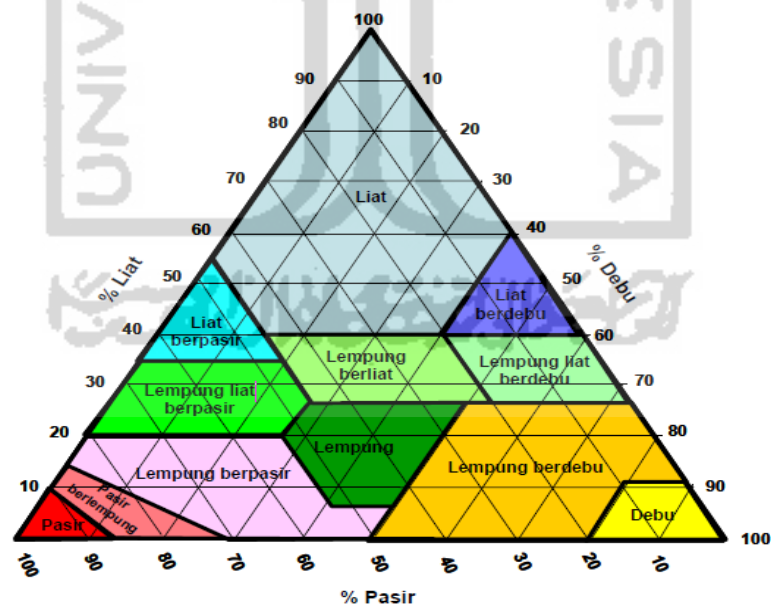
Analisis sifat fisik tanah memerlukan contoh tanah yang berbeda, tergantung tujuannya. Sampel tanah yang diambil kali ini adalah sampel tanah utuh (*undisturbed soil sample*). Contoh tanah utuh adalah contoh tanah yang diambil dari lapisan tanah tertentu dalam keadaan tidak terganggu, sehingga kondisinya hampir mirip dengan kondisi di lapangan. Berikut ini adalah prosedur pengambilan sampel tanah utuh (Suganda *et al.*, 2002):

1. Permukaan diratakan dan dibersihkan dari rumput atau serasah.
2. Tanah digali sampai kedalaman tertentu (5-10 cm) di sekitar calon tabung tembaga diletakkan, kemudian ratakan tanah dengan pisau.
3. Tabung diletakkan di atas permukaan tanah secara tegak lurus dengan permukaan tanah, kemudian dengan menggunakan balok kecil yang diletakkan di atas permukaan tabung, tabung ditekan sampai tiga per empat bagian masuk ke dalam tanah.
4. Tabung yang lain diletakkan di atas tabung pertama, dan tekan sampai 1 cm masuk ke dalam tanah.
5. Tabung bagian atas dan tabung bagian bawah dipisahkan.
6. Tabung digali menggunakan sekop. Dalam menggali, ujung sekop harus lebih dalam dari ujung tabung agar tanah di bawah tabung ikut terangkat.

7. Kelebihan tanah diiris pada bagian atas terlebih dahulu dengan hati-hati agar permukaan tanah sama dengan permukaan tabung, kemudian tutuplah tabung menggunakan tutup plastik yang telah tersedia. Setelah itu, iris dan potong kelebihan tanah bagian bawah dengan cara yang sama dan tutuplah tabung.
8. Label dicantumkan di atas tutup tabung bagian atas contoh tanah yang berisi informasi kedalaman, tanggal, dan lokasi pengambilan contoh tanah.

Analisa tekstur menunjukkan kondisi kasar atau halusya tanah, berdasarkan perbandingan banyaknya butiran pasir, debu, dan lempung dalam massa tanah (Hardjowigeno, 2003). Tekstur tanah ini akan berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam permeabilitas, kemudahan pengelolaan tanah, daya menahan air dan hara serta berpengaruh terhadap perkembangan akar tanaman (Suswati *et al.*, 2011). Berdasarkan presentase perbandingan fraksi-fraksi tanah, maka tekstur tanah dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu halus, sedang, dan kasar. Makin halus tekstur tanah mengakibatkan kualitas tanah semakin menurun karena berkurangnya kemampuan tanah dalam menghisap air (Haryati *et al.*, 2019).

Setelah dianalisa di dapatkan tanah dengan berbagai perbandingan pasir, debu dan liat yang dikelompokkan atas berbagai kelas tekstur seperti digambarkan pada segitiga tekstur (Gambar 8).



Gambar 8 Segitiga Tekstur

Sumber: Buku penetapan tekstur tanah balai penelitian tanah

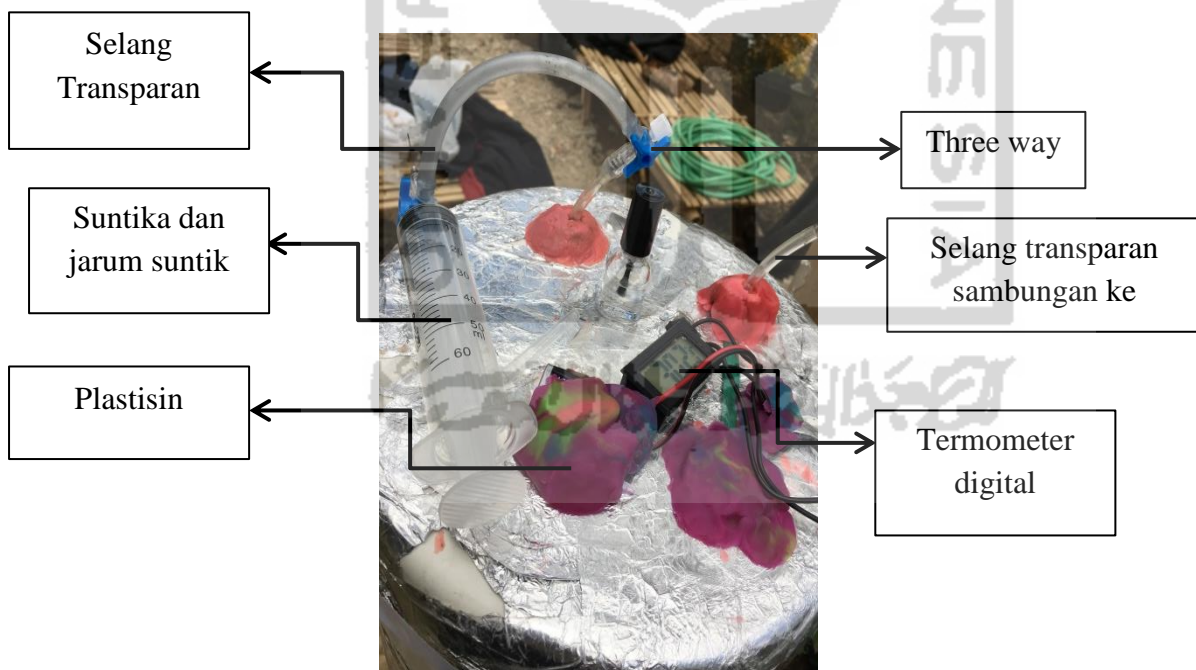
Cara penggunaan segitiga tekstur adalah sebagai berikut: Misalkan tanah mengandung 50% pasir, 20% debu, dan 30% liat. Dari segitiga tekstru dapat dilihat bahwa sudut kanan bawah segitiga menggambarkan 0% pasir

dan sudut kirinya 100% pasir. Temukan titik 50% pada sisi dasar segitiga dan dari titik ini tarik garis sejajar dengan sisi kanan segitiga. Dari titik ini tarik garis sejajar dengan kiri segitiga, sehingga garis ini berpotongan dengan garis pertama. Kemudian temukan titik 30% liat dan tarik garis ke kanan sejajar dengan sisi dasar segitiga sehingga memotong dua garis sebelumnya. Dari perpotongan ketiga garis ini, ditemukan bahwa tanah ini mempunyai kelas tekstur “lempung liat berpasir” (Agus *et al.*, 2006).

### 3.3.3 Pengukuran Sampel Gas

Sampel gas diambil di lokasi penelitian yaitu di lokasi *nursery*. Pengambilan gas dilakukan dengan memasang *upper chamber* diatas *base chamber* yang didalamnya sudah terdapat media tanah dan *Eucalyptus sp.* Gas diambil setiap 2 minggu sekali menurut Rajakishore *et al.* (2013) sampel gas di ambil pada pagi hari sekitar pukul 09.00-10.00 dan pada siang hari sekitar pukul 14:00-15:00. Pada penelitian ini akan mengambil sampel pada pagi hari dengan kisaran waktu pagi hari yaitu 09:00-10:00. Langkah-langkah persiapan yang harus dilakukan yaitu:

1. Seluruh alat disediakan untuk pengambilan sampel gas seperti tabung vacum 10 ml, *nail polish*, baterai cadangan, suntikan, jarum suntik, dan *upper chamber* yang sudah dirakit seperti Gambar 9.



Gambar 9 Tampak Luar Upper Chamber



Gambar 10 Tampak Dalam Upper Chamber

2. Upper chamber diletakkan di atas di base chamber.
3. Air dituangkan disekeliling chamber yang bertujuan agar udara dari luar tidak masuk kedalam chamber.



Gambar 11 Pemberian Air Pada Sela Chamber

4. Menyambung suntikan dengan three way dan selang.

Setelah persiapan selesai hal pertama yang harus dilakukan adalah menyalakan kipas selama kurang lebih 1 menit agar sirkulasi udara di dalam chamber menjadi homogen. Kemudian, melakukan pembilasan suntikan dengan cara mengambil 20 mL – 30 mL udara dari dalam *chamber* kemudian dibuang kembali dan diulang sebanyak 3 kali. Setelah itu, udara dari dalam chamber diambil sebanyak 30-50 mL untuk mengisi 2 tabung vacum 10 ml melalui selang yang sudah di sambungkan *three way*. Masing-masing sampel diambil setiap 10 menit, mulai dari menit ke-0 sampai dengan menit ke-20. Tutup tabung vacum kemudian dilapisi dengan *nail polish* agar tidak ada gas yang keluar dan dibungkus rapat menggunakan *wrapping plastic* sesuai dengan menit dan jenis sampel. Terakhir Sampel yang sudah dibungkus kemudian dimasukkan kedalam kardus yang sudah dilapisi dengan *styrofoam* dan aluminium foil sebelum



dikirim ke Jakenan. Tata letak alat saat pengambilan sampel gas di lapangan disajikan pada Gambar 11.



Gambar 12 Tata letak alat saat pengambilan contoh gas di Gunung Plencing

### 3.3.4 Analisis Sampel Gas dan Perhitungan Emisi CH<sub>4</sub>

Analisis gas di Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Penelitian Lingkungan Jl. Jakenan-Jaken Km 5, Pati, Jawa Tengah ini mengacu pada IIRI and US-*Environmental Protection Agency United Nations* (1995) . Alat yang digunakan untuk melakukan analisis CH<sub>4</sub> adalah kromatografi gas Shimadzu 8A. Contoh gas dalam syringe diinjeksi ke dalam *Micro GC CP-4900*. Sampel akan masuk ke dalam column dan dipisahkan dengan senyawa lain, kemudian masuk ke detektor dan akan diidentifikasi ke dalam komputer dalam bentuk peak. Peak akan diinterpretasikan dalam bentuk angka (area konsentrasi). Laju gas per satuan waktu tersebut digunakan dalam perhitungan besarnya fluks gas. Perhitungan fluks CH<sub>4</sub> (CH<sub>4</sub>) dihitung dengan Persamaan (1) (IAEA 1992) .

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times h_{ch} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2+T} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- E = fluks CH<sub>4</sub> (mg/m<sup>2</sup>/menit)
- $\frac{\delta C}{\delta t}$  = perbedaan konsentrasi CH<sub>4</sub> per waktu pengambilan (ppm/menit)
- $h_{ch}$  = tinggi chamber (m)
- mW = Berat molekul CH<sub>4</sub> (g)
- mV = Volume molekul CH<sub>4</sub> (22,41 liter pada suhu dan tekanan standar (STP))
- T = Temperatur selama sampling (°C)



Apabila laju perubahan emisi  $\text{CH}_4$  bernilai positif maka terjadi emisi GRK, namun apabila laju perubahan bernilai negatif maka yang terjadi adalah penyerapan. Metode perhitungan total emisi  $\text{CH}_4$  adalah metode Simpson dengan mengintegrasikan nilai dari emisi  $\text{CH}_4$  (Arif *et al.*, 2015) seperti pada Persamaan (2).

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{b-a}{6} \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- $f(x)$  = total emisi  $\text{CH}_4$  ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$ )
- $a$  = waktu awal periode budidaya (hari setelah tanam/HST)
- $b$  = waktu akhir periode budidaya (hari setelah tanam/HST)

Dari rumus laju emisi diatas akan didapatkan laju emisi rotal pada setiap minggu pengukuran dan setiap media. Selanjutnya fluks yang sudah didapat dibuat grafik seperti Lampiran 1 untuk mengetahui fluktuatif fluks kedua media pada setiap minggu pengukuran. Dari total fluks yang akan di gunakan persamaan 3 untuk mencari persentase perbedaan total fluks antar media.

$$\text{Persentase} = \frac{(\text{Total fluks a} - \text{Total fluks b})}{\text{Total fluks a}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Setelah itu fluks  $\text{CH}_4$  yang sudah di dapatkan akan dihubungkan dengan parameter lingkungan mikro di dalam tanah. Grafik pada Lampiran 2 yang di buat akan menunjukkan karakteristik emisi  $\text{CH}_4$  berdasarkan perubahan parameter lingkungan mikronya.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kondisi Lingkungan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam persemaian dengan luas 70,4 m<sup>2</sup> pada lahan kosong yang dikelilingi oleh pepohonan. Persemaian ini dilengkapi dengan paranet (naungan buatan). Fungsi utama dari penggunaan paranet ini adalah untuk mengurangi intensitas cahaya yang diterima tanaman dan mengurangi suhu sekitar tanaman yang ada pada media (Ramadhan & Hariyono, 2019). Media tanam dalam persemaian dilakukan penyiraman masing-masing 2 kali sehari pada pagi dan sore hari. Penelitian berlokasi di Kabupaten Bantul dan dilakukan selama Juni-September 2019. Penelitian dilakukan selama musim kemarau, karena menurut data dari BMKG (2019) awal musim hujan daerah Bantul dan sekitarnya adalah bulan November 2019 dan musim kemarau berada pada April-Oktober 2019.

Selama proses pengambilan sampel yaitu 10 minggu di persemaian, suhu udara rata-rata yang terukur adalah 25,5°C, suhu maksimum yang terukur adalah 37,4°C, dan suhu minimum yang terukur adalah 18,1°C dari sensor *humidity data logger* yang dicatat per 30 menit secara kontinyu. Selain suhu udara tersebut, nilai kelembapan udara dilokasi persemaian didapatkan rata-rata adalah 73,2%, kelembapan udara maksimum adalah 96,5% dan kelembapan minimum yang terukur adalah 29,6%. Dari pengukuran menggunakan ORP meter, didapatkan pH rata-rata dari media per minggunya adalah 7,77, pH maksimum adalah 8,88, pH minimum adalah 6,35.

Suhu tanah rata-rata yang didapatkan selama pengukuran pada tiap media per minggunya didapatkan adalah 28,8°C, suhu tanah maksimum yang terukur berkisar antara 33,2°C dan suhu tanah minimum yang terukur berkisar antara 25,6°C. Nilai rata-rata potensial redoks (Eh) yang terukur selama 10 minggu dari tiap media adalah 245,18 mV, Eh maksimum yang terukur berkisar antara 319,52 mV, Eh minimum yang terukur berkisar antara 136,32 mV.

Nilai daya hantar listrik (DHL) yang terukur dari ORP meter pada tiap media per minggunya memiliki rata-rata adalah 0,23 mS/cm, nilai maksimum yang terukur adalah 0,67 mS/cm dan nilai DHL minimum yang terukur adalah 0,07 mS/cm. Parameter lain yang diukur adalah kelembapan tanah pada tiap media per minggunya, nilai yang terukur adalah 44,65%, nilai maksimum kelembapan tanah adalah 45,9% dan nilai minimum kelembapan tanah yang terukur adalah 37,6%.

Kondisi iklim persemaian yang terukur di atas disebut juga kondisi lingkungan mikro yang akan mempengaruhi fluks emisi CH<sub>4</sub>. Pada Lampiran 3 terdapat nilai konsentrasi emisi CH<sub>4</sub> yang dihitung nilai fluksnya menggunakan Persamaan 1. Dari nilai fluks yang telah didapatkan pada

Lampiran 4, data tersebut diplotkan kedalam grafik yang terbentuk pada masing-masing medianya.

Media pada penelitian ini tersusun atas bahan yang berbeda sehingga memiliki tekstur tanah yang berbeda. Berdasarkan data yang didapatkan dari laboratorium pada Lampiran 5 tanah pada M1 di kategorikan liat seperti pada Lampiran 6, dan tanah pada M2 di kategorikan liat berpasir seperti Lampiran 7. Tekstur tanah yang dominan pada M1 adalah liat sebesar 51%. Kadar liat tanah berpengaruh terhadap kandungan bahan organik. Tanah-tanah dengan kadar liat tinggi pada umumnya memiliki kadar bahan organik yang lebih tinggi (Tangketasik *et al.*, 2012). Kebanyakan sumber bahan organik tanah berasal dari jaringan tanaman/tumbuhan. Berbeda sumber dan jumlah bahan organik tersebut akan berbeda menyebabkan perbedaan pengaruh terhadap bahan organik yang disumbangkan ke dalam tanah (Rahmi & Biantary, 2014).

Pada M2 tekstur tanah yang dominan adalah pasir sebesar 54%. Tanah yang didominasi dengan partikel pasir memiliki kemampuan yang rendah dalam menahan air yang rendah dan tidak memiliki sifat palstis dan lekat. Pasir memiliki luas butiran yang kecil, sehingga tidak berperan cukup besar terhadap peristiwa kimia tanah, pori-pori berukuran besar menyebabkan aerasi berjalan lancar tetapi memiliki kemampuan menyimpan air yang sangat rendah (Rahmi & Biantary, 2014).

Perbedaan perlakuan pada M1 dan M2 terletak pada pemberiana tambahan bahan pembenahan tanah berupa pupuk kandang dan *biochar*. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Intara *et al.* (2011), membuktikan bahwa pemberian bahan organik mampu menekan laju evaporasi yang terjadi didalam tanah. Rendahnya evaporasi diduga karena pemberian pupuk dapat menambah kandungan bahan organik yang juga meningkatkan kadar humus dalam tanah. Pada tanah yang banyak mengandung bahan organik dan liat, penggenangan dan pengolahan tanah menyebabkan perubahan redoks potensial dan pH tanah secara cepat, sehingga kondisi tersebut sesuai bagi perkembangan bakteri pembentuk metana (Neue *et al.*, 1990).

Selain itu tekstur tanah ini juga berpengaruh besarnya emisi gas metan yang keluar dari dalam tanah. Tingkat perkolasi yang tinggi pada tanah berlempung dan berpasir dapat menghambat proses reduksi dan pembentukan metana, serta banyaknya pencucian metana terlarut ke lapisan yang lebih dalam (Wang *et al.*, 1993). Pada tanah dengan kandungan liat tinggi dapat memberikan fluks metana rendah akibat metana terperangkap mengalami oksidasi sebelum terlepas ke atmosfer.

## 4.2 Fluks Emisi Gas CH<sub>4</sub>

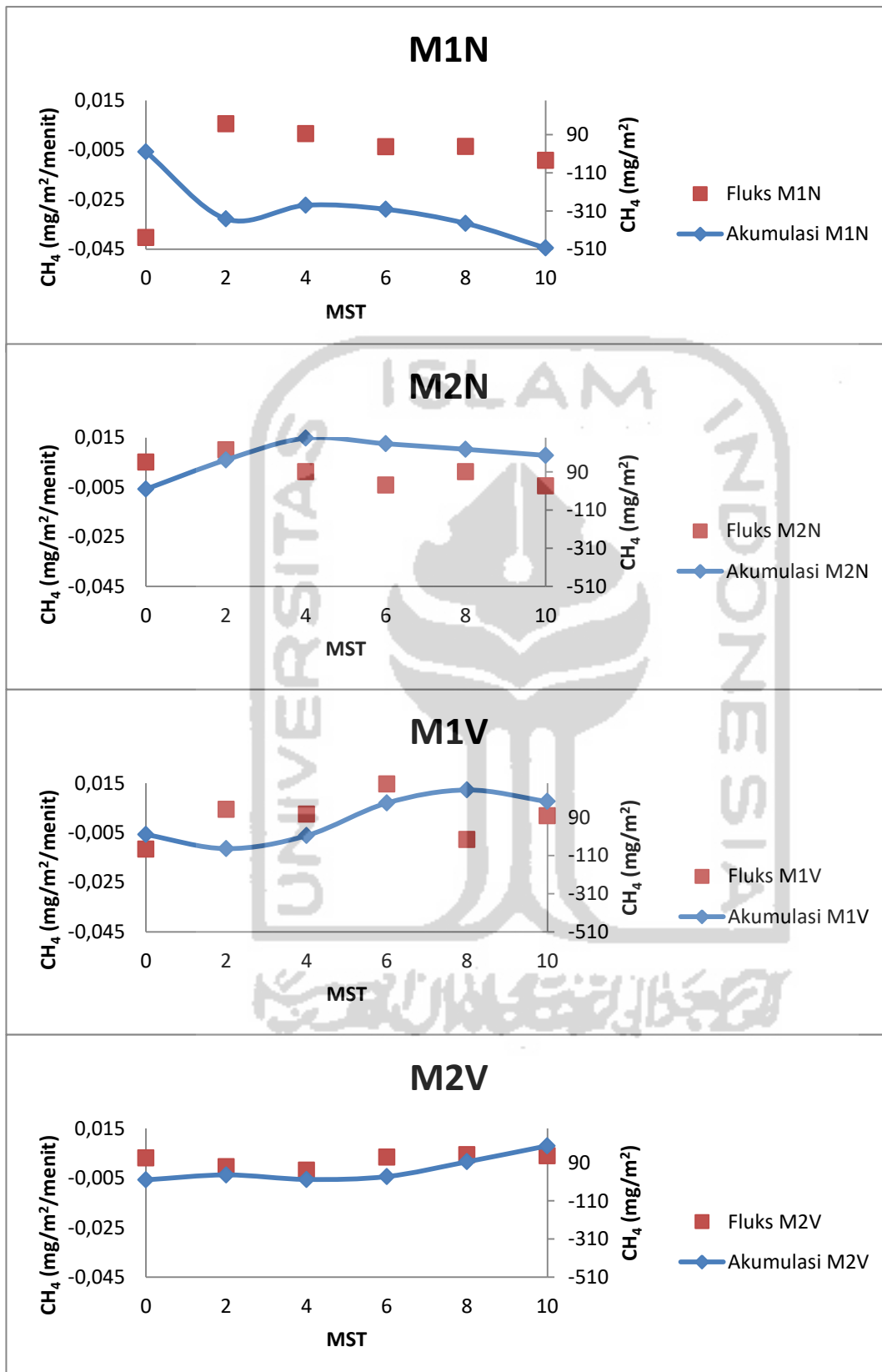
### 4.2.1 Nilai Fluks Emisi Gas CH<sub>4</sub>

Fluks emisi dari restorasi karst pada media kontrol dan penambahan pembenah tanah yang dianalisa adalah gas CH<sub>4</sub>. Fluks emisi gas CH<sub>4</sub> pada media kontrol adalah media 1 tanpa vegetasi (M1N1 dan M1N2) dan media 1 dengan vegetasi (M1V1 dan M1V2) sedangkan media dengan pembenah tanah adalah media 2 tanpa vegetasi (M2N1 dan M2N2) dan media 2 dengan vegetasi (M2V1 dan M2V2). Dari hasil perhitungan fluks emisi gas CH<sub>4</sub> pada Lampiran 4 kemudian diambil rata-rata dari setiap pengulangan per media sehingga tersisa 4 jenis perlakuan (M1N, M2N, M1V, dan M2V) seperti pada Lampiran 8. Fluks gas CH<sub>4</sub> dengan 4 jenis perlakuan media selama masa pertumbuhan dari penanaman minggu ke 0 hingga minggu ke 10 terlihat pada Gambar 13. Emisi gas CH<sub>4</sub> mengalami penurunan dan peningkatan yang beragam untuk kondisi pada masing-masing jenis perlakuan medianya.

Tiap media memiliki nilai fluks yang variatif, pada M1N nilai fluks tertinggi terdapat pada minggu ke 2 sebesar 0,00550 mg/m<sup>2</sup>/menit, sama halnya dengan M1N, pada M2N nilai fluks gas CH<sub>4</sub> tertinggi juga terdapat pada minggu ke 2 sebesar 0,01005 mg/m<sup>2</sup>/menit. Pada M1V nilai fluks tertinggi terdapat pada minggu ke 6 sebesar 0,01457 mg/m<sup>2</sup>/menit, sedangkan pada M2V fluks tertinggi terdapat pada minggu ke 8 sebesar 0,00432 mg/m<sup>2</sup>/menit. Fluks CH<sub>4</sub> yang masuk ataupun keluar dari tanah merupakan sebuah interaksi dari beberapa proses biologi dan fisika tanah (Segers, 1998).

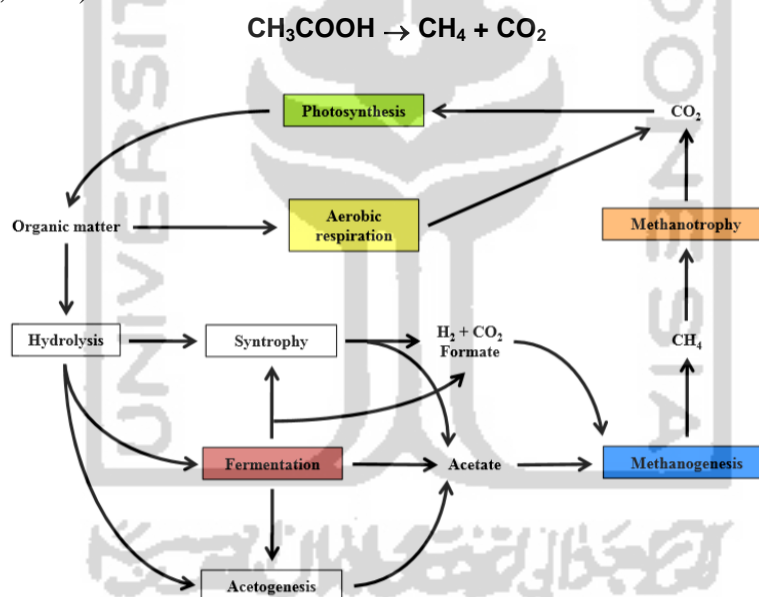
Pada Gambar 13 terlihat bahwa peningkatan fluks emisi gas CH<sub>4</sub> yang terdeteksi di minggu ke 0-2 pada M2N dikarenakan meningkatnya aktifitas bakteri metanogen yang menghasilkan CH<sub>4</sub> saat proses dekomposisi bahan organik berupa pupuk kandang dan *biochar* (Sumani *et al.*, 2009). Perbedaan nilai fluks dapat dibandingkan dengan M1N yang tidak memiliki cukup bahan organik di dalam tanah karena tidak dilakukan penambahan pembenah tanah. Perbedaan ini dapat dilihat dari grafik akumulasi pada Gambar 13 untuk M1N dan M2N, terlihat bahwa pada M1N nilai fluks yang terdeteksi adalah negatif. Nilai fluks yang terdeteksi berhubungan dengan produksi dan konsumsi emisi CH<sub>4</sub>. Jika nilai negatif maka konsumsi lebih besar dari pada emisi dan akan terjadi sebaliknya jika nilai emisi positif. Selain sebagai penyedia unsur hara, penambahan pupuk dan *biochar* juga mempunyai kemampuan menyimpan air dan juga tanah meningkatkan produksi CH<sub>4</sub> dalam proses dekomposisi (Sumani *et al.*, 2009).

Produksi metana terjadi dalam tanah ketika bahan organik terdegradasi secara anaerob (Segers, 1998). Beberapa bakteri mendegradasi bahan organik tersebut melalui jaringan makanan yang kompleks. Proses akhir akan dilakukan oleh bakteri methanogen (bakteri penghasil metana) pada proses methanogenesis yang menggunakan sejumlah kecil substrat antara lain asetat dan hidrogen dari bagian terpenting dalam sistem air tawar. Asetat dan hidrogen terbentuk oleh fermentasi bahan organik terhidrolisis (Peters & Conrad, 1996).



Gambar 13 Fluks dan akumulasi emisi gas CH<sub>4</sub> pada 4 jenis perlakuan media

Dalam hidrolisis, gula, asam amino, dan asam lemak yang dihasilkan oleh degradasi mikroba biopolimer akan dimetabolisme oleh kelompok bakteri dengan fermentasi produk akhir seperti laktat, propionat, asetat dan etanol oleh aktivitas enzimatik lainnya yang sangat bervariasi dengan mikroba tanah. Meskipun beberapa asetat dan hidrogen secara langsung diproduksi saat hidrolisis, produk ini berasal dari proses aseto-genesis dan dehidrogenasi asam lemak volatil yang tinggi. Bakteri aseratogenik penghasil hidrogen obligat mampu menghasilkan asetat dan hidrogen dari asam lemak yang lebih tinggi. Selanjutnya bakteri methanogen dalam rangkaian methanogenesis mengkonversi asetat dan hidrogen menjadi  $\text{CH}_4$ . Sebagian besar methanogen adalah konsumen  $\text{H}_2$  karena mereka membutuhkan  $\text{H}_2$  sebagai donor elektron sehingga mereka perlu berinteraksi erat dengan mikroorganisme penghasil  $\text{H}_2$  (Stams & Plugge, 2009). Methanogen pemakan hidrogen/ $\text{CO}_2$  mengurangi keberadaan  $\text{CO}_2$  sebagai akseptor elektron melalui formil, metenil dan metil melalui hubungan dengan koenzim untuk akhirnya menghasilkan  $\text{CH}_4$ . Reaksi asetoklastik keseruruhan dapat di nyatakan sebagai (FAO, 1997):



Gambar 14 Siklus  $\text{CH}_4$  global di alam

Sumber: Nazaries *et al.* (2013)

Bahan utama yang dibutuhkan bakteri methanogen untuk menghasilkan  $\text{CH}_4$  adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Pada media secara umum tanah menyerap senyawa  $\text{CO}_2$  dari udara, sedangkan atom hidrogen berasal dari  $\text{H}_2\text{O}$  yang tereduksi (Rosmarkam & Yuwono, 2002). Selain itu, media dengan penambahan tanah yang memiliki kandungan bahan organik dari pupuk kandang dan biochar akan menambah jumlah bahan yang dibutuhkan oleh methanogen dalam menghasilkan  $\text{CH}_4$  melalui proses hidrolisis dan aseto-genesis. Bakteri methanogen dalam hal ini bergantung pada keberadaan konsorsium bakteri lain termasuk hidrolitik, fermentasi, sintaksis dan bakteri

asetogenik. Karena methanogen tidak dapat menggunakan senyawa organik yang kompleks, mereka membutuhkan kehadiran bakteri lain untuk mendegradasi senyawa dari bahan organik menjadi gula dan asam lemak sederhana kemudian difermentasikan lebih lanjut oleh bakteri syntrophic untuk membentuk asetat, format, hidrogen ( $H_2$ ) dan  $CO_2$ , yang merupakan substrats utama methanogenesis (Gambar 14) (Nazaries *et al.*, 2013).

Pada M1V terlihat fase fluktuasi yang sangat jelas, pada minggu ke 0 emisi  $CH_4$  yang terdeteksi bernilai negatif karena konsentrasi  $CH_4$  pada menit 10 dan 20 lebih kecil dari menit ke 0 sehingga nilai fluks yang muncul adalah negatif. Namun diiringi dengan fase generatif tumbuhan Eucalyptus, pada minggu ke 6 fluks yang terdeteksi sangat besar. Hal ini terjadi karena tumbuhan telah melakukan proses adaptasi dengan kondisi tanah dan keberadaan mikroba asli tanah melalui berbagai mekanisme, salah satunya sekresi eksudat akar (Vivanco *et al.*, 2009). Eksudat akar akan dimanfaatkan oleh mikroba dalam tanah sehingga dapat bertahan hidup dan berkembangbiak. Semakin banyak mikroba dalam tanah maka semakin tinggi juga proses penguraian bahan organik tanah untuk melepaskan nutrisi dalam bentuk yang tersedia bagi tanaman dan mendegradasi residu toksik. Eksudat akar merupakan sumber karbon dan energi bagi mikroba (Hindersah & Simarmata, 2004).

M1V yang merupakan media 1 dengan vegetasi jika dibandingkan dengan M1N yang merupakan media 1 tanpa vegetasi terdapat perbedaan nilai fluks emisi  $CH_4$  yang terdeteksi. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan perlakuan yang diberikan yaitu dengan vegetasi dan tanpa vegetasi. Seperti yang dijelaskan oleh Yu *et al.* (1997), tanaman merupakan salah satu jalur keluarnya emisi dari dalam tanah. Transportasi gas  $CH_4$  dapat terjadi melalui matriks tanah yang dikendalikan oleh air tanah dan melalui vegetasi yang kadang-kadang dipengaruhi oleh kondisi iklim/cuaca. Vegetasi juga mempengaruhi jumlah karbon yang terdegradasi (Segers, 1998). Dapat disimpulkan bahwa penanaman vegetasi pada M1V sangat mempengaruhi emisi  $CH_4$  yang dihasilkan oleh mikroba dalam tanah yang mendapatkan nutrisi tambahan dari sekresi eksudat akar (Vivanco *et al.*, 2009).

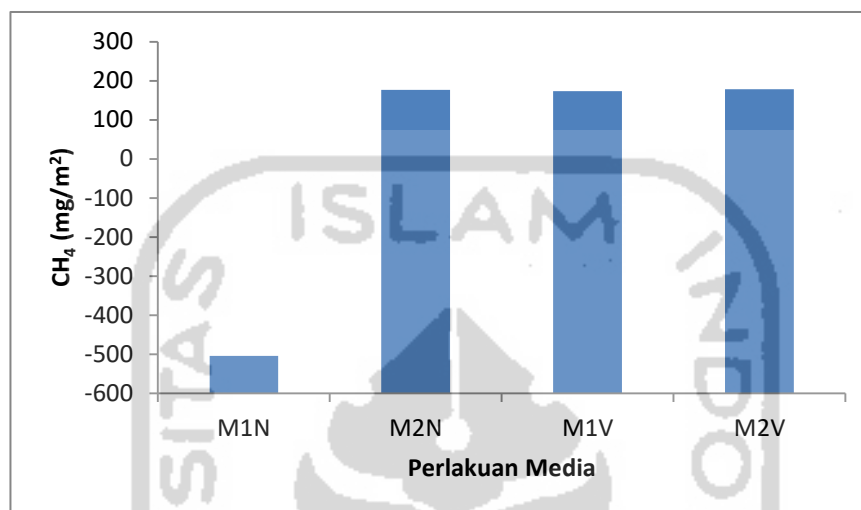
Pada M2V minggu pertama fluks emisi  $CH_4$  terdeteksi cukup tinggi, jika dibandingkan dengan M1V. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pemberian bahan pembenah tanah dapat menjadi salah satu faktor perbedaan dari emisi  $CH_4$  yang terlihat pada Gambar 13 sama seperti yang telah dijelaskan oleh Sumani *et al.* (2009).

#### 4.2.2 Total Fluks Emisi Gas $CH_4$

Dari fluks gas  $CH_4$  per menit pada Lampiran 8 akan diubah menjadi satuan per hari untuk menghitung total fluks seperti pada Lampiran 9. Total fluks didapatkan dengan cara menghitung areal fluks di bawah kurva dari minggu ke 0-10 dengan menggunakan Persamaan 2 didapatkan hasil yang terlihat pada Lampiran 10. Total fluks emisi  $CH_4$  pada berbagai jenis media dapat dilihat pada Gambar 15.



Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa setiap media memiliki total fluks yang berbeda-beda, M1N memiliki total fluks sebesar  $-504,17 \text{ mg/m}^2$ , M2N memiliki total fluks sebesar  $176,80 \text{ mg/m}^2$ , M1V memiliki total fluks sebesar  $173,16 \text{ mg/m}^2$ , dan M2V memiliki total fluks sebesar  $178,31 \text{ mg/m}^2$ . Dari data tersebut dapat dilihat bahwa M2V memiliki total fluks yang paling besar diantara media lainnya.



Gambar 15 Total fluks emisi CH<sub>4</sub>

Media dengan pembenah tanah (M2) memiliki total fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan media tanpa pembenah tanah (M1). Penambahan bahan organik pembenah tanah seperti pupuk dan *biochar* memang mempengaruhi emisi CH<sub>4</sub> yang keluar dari tanah karst. Seperti yang dikatakan Sumani *et al.* (2009), bahan organik dapat menjadi faktor penyebab besarnya emisi CH<sub>4</sub> di dalam tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik pada tanah meningkatkan produksi CH<sub>4</sub> dalam proses dekomposisi. Bahan organik menstimulasi produksi CH<sub>4</sub> melalui suatu rangkaian proses yang diakhiri dengan pembentukan CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Terlihat pada Gambar 15 jika dibandingkan antara M1N dan M2N, media dengan pembenah tanah (M2N) terbukti menghasilkan emisi CH<sub>4</sub> lebih besar sebanyak 385,16% dari media tanpa pembenah tanah (M1N).

M2V merupakan media dengan pembenah tanah yang memiliki vegetasi. Jika dibandingkan dengan media yang sama yaitu M2N namun tidak memiliki vegetasi, M2V memiliki total emisi lebih tinggi sebanyak 0,85% dibandingkan dengan M2N dan 2,89% lebih tinggi dibandingkan dengan M1V dengan perlakuan sama menggunakan vegetasi. Hal ini dipengaruhi pemberian perbedaan perlakuan yaitu media dengan tanaman dan media tanpa tanaman. Menurut Yu *et al.* (1997), tanaman merupakan salah satu jalur keluarnya emisi dari dalam tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Yu *et al.* (1997) juga terbukti pada perlakuan M1 di penelitian ini, M1V dengan vegetasi memiliki total fluks emisi CH<sub>4</sub> yang jauh lebih tinggi sebesar 391,16% dibandingkan dengan M1N.

M1N bernilai negatif diduga akibat dari aktivitas bakteri metanotrof asli dalam tanah yang menyerap  $\text{CH}_4$  dan tidak terpengaruh oleh pemberian pupuk maupun bahan organik lain. Bakteri metanotrof lokal bekerja mengoksidasi  $\text{CH}_4$  sebagai sumber karbon dan sumber energi (Muttaqin, 2012).

Dari Gambar 15 dapat dilihat bahwa media dengan penambahan vegetasi memiliki angka total fluks yang lebih besar dibandingkan dengan media yang tidak memiliki vegetasi. Selain apa yang telah dijelaskan oleh Yu *et al.* (1997) bahwa tanaman melupakan salah satu jalur kelaurnya emisi, faktor lain juga dijelaskan oleh Abichou *et al.* (2015) pada penelitiannya yang menjelaskan bahwa akar tanaman dapat meningkatkan aerasi tanah dengan cara memperbesar makropori akar. Hal ini akan meningkatkan difusi oksigen ke dalam tanah serta pasokan  $\text{CH}_4$  ke tumbuhan. Akibatnya, potensi oksidasi metana dari tanah yang ditanami tumbuhan diperkirakan akan mengalami peningkatan dibandingkan dengan media yang tidak memiliki tanaman.

Nilai dari total fluks emisi gas  $\text{CH}_4$  seperti Gambar 15 tidak bisa mengesampingkan adanya faktor-faktor lingkungan mikro yang berperan dalam jumlah emisi yang keluar. Menurut Arif *et al.* (2015), emisi  $\text{CH}_4$  sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mikro pada tanah seperti kelembaban tanah, suhu tanah, suhu udara, daya hantar listrik (DHL) tanah, pH tanah, dan redoks potensial tanah. Selain kondisi iklim lingkungan atau kondisi lingkungan mikro menurut Abichou *et al.* (2015), tipe tanah juga mempengaruhi muatan atau kandungan gas metana dalam tanah. Pada penelitian Abichou *et al.* (2015), dijelaskan bahwa peningkatan porositas tanah akan diisi oleh udara yang membatu oksigen menyebar lebih dalam ke dalam tanah, perbedaan perubahan porositas tanah ini tergantung juga pada kondisi lingkungan mikro yang akan dibahas lebih pada pembahasan selanjutnya.

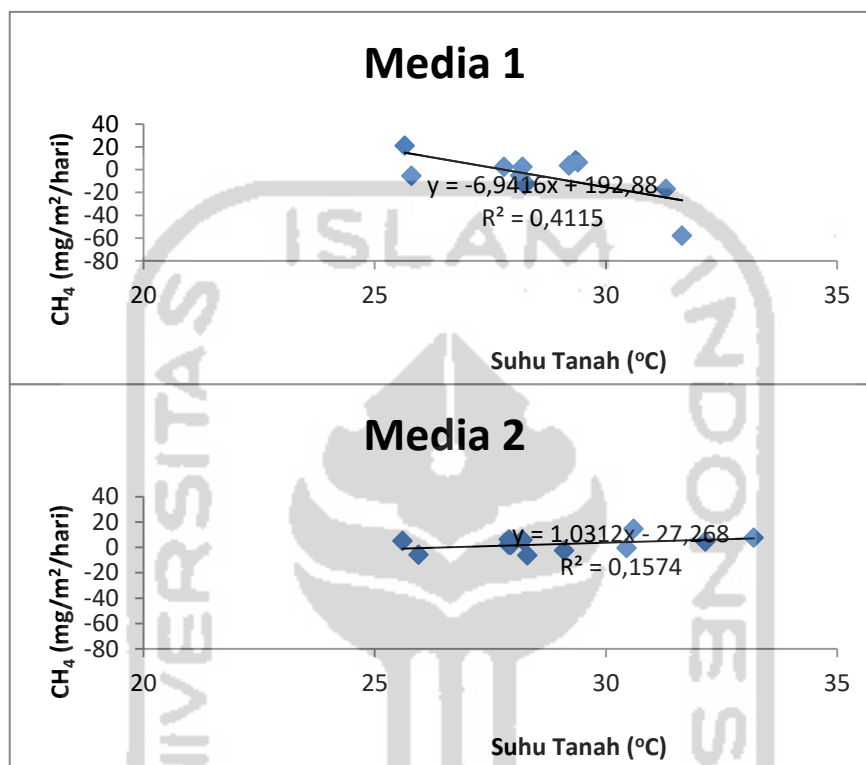
### 4.3 Hubungan Dengan Kondisi Lingkungan Mikro

Setelah melakukan pengukuran terhadap kondisi lingkungan mikro pada persemaian di Gunung Plencing, kemudian data dikumpulkan seperti yang terlihat pada Lampiran 11. Grafik kemudian dibuat dengan sumbu-x merupakan kondisi lingkungan mikro dan sumbu-y merupakan fluks emisi gas  $\text{CH}_4$ . Secara umum data yang didapatkan mengenai hubungan emisi  $\text{CH}_4$  dengan kondisi lingkungan mikronya tidak signifikan atau lemah dengan ditandai oleh nilai  $R^2$  yang didapatkan  $<0,7$ . Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Arif *et al.* (2015) menjelaskan bahwa nilai  $R^2$  yang cukup kecil mengindikasikan hubungan yang tidak linier antara emisi  $\text{CH}_4$  dan kondisi lingkungan mikronya.

#### 4.3.1 Suhu Tanah

Tanah memegang peranan penting pada siklus  $\text{CH}_4$  akibat dari aktifitas bakteri methanotrop (mengoksidasi  $\text{CH}_4$ ) dan bakteri methanogen (memproduksi  $\text{CH}_4$ ) terjaid didalam tanah (Serranio-Silva *et al.*, 2014). Selain itu, perubahan suhu tanah akan mempengaruhi produksi metana pada

tanah karts. Semua media mengalami penurunan suhu pada minggu ke 6. Suhu media berkisar antara 25 °C-34 °C, hal ini akan mempengaruhi nilai fluks emisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Pada dasarnya sebagian besar bakteri metanogenik (bakteri penghasil gas CH<sub>4</sub>) bekerja optimum pada suhu 30°C (Vogels *et al.*, 1988 pada Arif *et al.*, 2015).



Gambar 16 Hubungan suhu tanah terhadap fluks emisi gas CH<sub>4</sub>

Hubungan suhu tanah dengan fluks emisi gas CH<sub>4</sub> dapat dilihat kecenderungannya melalui *trendline* (kemiringan garis) seperti pada Gambar 16. Azmi (2018) mengatakan bahwa jika kemiringan garis cenderung ke arah kanan itu artinya ada hubungan positif, namun jika kemiringan garis cenderung ke arah kiri, maka terdapat hubungan negatif.

Pada Gambar 15 terdapat perlakuan media yang memiliki hubungan kecenderungan negatif yaitu M1, sedangkan untuk M2 memiliki kecenderungan hubungan yang positif. Hubungan antara suhu tanah dengan fluks emisi CH<sub>4</sub> yang kecenderungan negatif ini menandakan bahwa semakin tinggi suhu tanah, jumlah emisi gas CH<sub>4</sub> yang teremisi semakin sedikit. Sedangkan untuk hubungan suhu tanah dengan emisi CH<sub>4</sub> yang kecenderungan positif ini adalah kebalikannya, semakin tinggi suhu maka emisi CH<sub>4</sub> juga semakin tinggi.

Hasil pada M1 sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Azmi (2018) pada lahan padi, menerangkan bahwa hubungan antara suhu tanah dengan emisi gas CH<sub>4</sub> kecenderungan negatif seperti pada M1. Hal ini dapat menjadi pertimbangan yang cukup kuat bahwa pada M1 hubungan antara

suhu dengan emisi gas CH<sub>4</sub> berbanding terbalik. Artinya semakin tinggi suhu pada M1 tanpa ada pembenahan tanah maka emisi gas CH<sub>4</sub> yang diemisikan akan semakin kecil. Hal ini diakibatkan oleh aktivitas bakteri metanotrof asli dalam tanah yang menyerap CH<sub>4</sub>, bekerja mengoksidasi CH<sub>4</sub> sebagai sumber karbon dan sumber energi (Muttaqin, 2012). Menurut Serranio-Silva *et al.* (2014), aktivitas optimal bakteri methanotrof ditemukan sebagian besar pada suhu berkisar antara  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ . Pada kisaran suhu tersebut bakteri methanotrof akan mengkonsumsi CH<sub>4</sub> di permukaan tanah sebagai sumber C dan energi. Pernyataan tersebut mendukung hasil yang di dapatkan pada M1, pada kisaran suhu  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  emisi yang terdeteksi semakin menurun akibat dari aktivitas bakteri methanotrof.

Namun, pada penelitian yang dilakukan Arif *et al.* (2014) di lahan sawah, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hubungan antar suhu tanah dengan emisi gas CH<sub>4</sub> adalah kecenderungan positif atau berbanding lurus seperti pada hasil *trendline* M2. Pada M2 yang merupakan media dengan pembenah tanah, menyatakan bahwa semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula emisi gas CH<sub>4</sub> yang diemisikan. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas bakteri metanogen. Bakteri tersebut bekerja secara optimum pada suhu berkisar  $30^{\circ}\text{C}$ . Peningkatan suhu dan C organik dari penambahan biochar sebagai pembenah diketahui meningkatkan pelepasan CH<sub>4</sub> dari dalam tanah (Serranio-Silva *et al.*, 2014). Bakteri metanogen mampu menghasilkan CH<sub>4</sub> dengan cara memecah sumber karbon (dari arang aktif) dan bahan organik (dari pupuk kandang) yang tersedia di tanah. Oleh karena itu, pada M2 *trendline* yang terlihat dari Gambar 16 bernilai positif artinya semakin tinggi suhu maka semakin tinggi pula produksi emisi gas CH<sub>4</sub> pada tanah yang dilakukan pembenahan akibat dari aktivitas bakteri metanogen penghasil CH<sub>4</sub>. Hal ini berbeda dengan M1 *trend* yang terlihat adalah negatif.

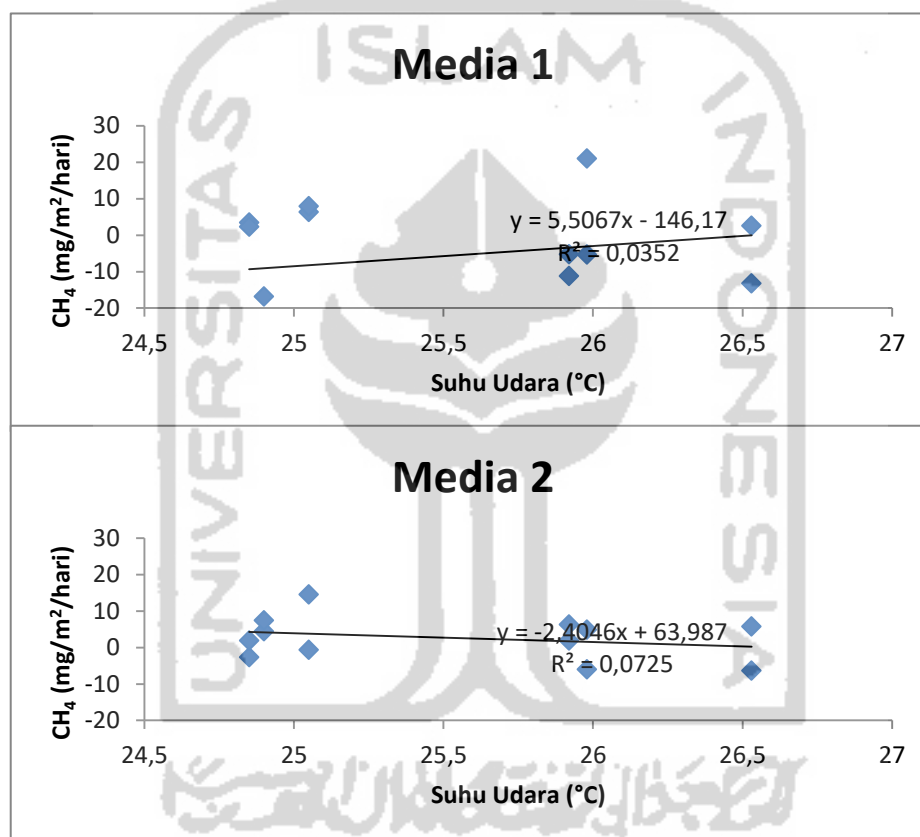
#### 4.3.2 Suhu Udara

Faktor lingkungan mikro selain suhu tanah yaitu pengaruh suhu udara terhadap konsentrasi emisi gas CH<sub>4</sub> di udara. Suhu udara rata-rata untuk periode dimana sample gas dikumpulkan dihitung dengan merataratakan seluruh data yang didapatkan dari *Humidity and Temperature Data Logger*. Plot sebaran fluks emisi gas CH<sub>4</sub> dibandingkan dengan suhu udara rata-rata ditunjukkan pada Gambar 17.

*Trend* yang dimunculkan pada M1 dapat dilihat pada Gambar 17 adalah memunculkan *trendline* kecenderungan positif. Menurut Serranio-Silva *et al.* (2014), suhu udara mempengaruhi laju transportasi emisi CH<sub>4</sub> melalui struktur aerenkim, dari akar ke atmosfer melalui daun atau pucuk tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Das & Adhya, 2012 menyebutkan bahwa peningkatan suhu udara akan meningkatkan aktivitas methanogenesis dan menurunkan oksidasi CH<sub>4</sub> di lahan padi. Diperkirakan bahwa emisi CH<sub>4</sub> meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dan suhu di udara akibat dari pemanasan global. Kondisi ini berkaitan dengan penurunan

potensi redok tanah dan peningkatan substrat C seperti asetat, yang mendukung aktivitas methanogen. Selain itu, populasi bakteri metanotrof akan berkurang karena potensi redoks berkurang dalam lingkungan yang diperkaya CO<sub>2</sub>.

Pernyataan ini mendukung kondisi yang ada pada M1 yang meliki *trendline* kecenderungan positif, semakin tinggi suhu udara yang ada di lingkungan maka semakin tinggi pula fluks emisi gas CH<sub>4</sub> yang terdeteksi. Selain itu, temperatur berpengaruh pada aktivitas mikroorganismenya di dalam substrat, semakin tinggi suhu udara maka aktivitas mikroorganismenya dalam tanah juga akan semakin meningkat (Kaparaju, 2006).



Gambar 17 Hubungan suhu udara terhadap fluks gas CH<sub>4</sub>

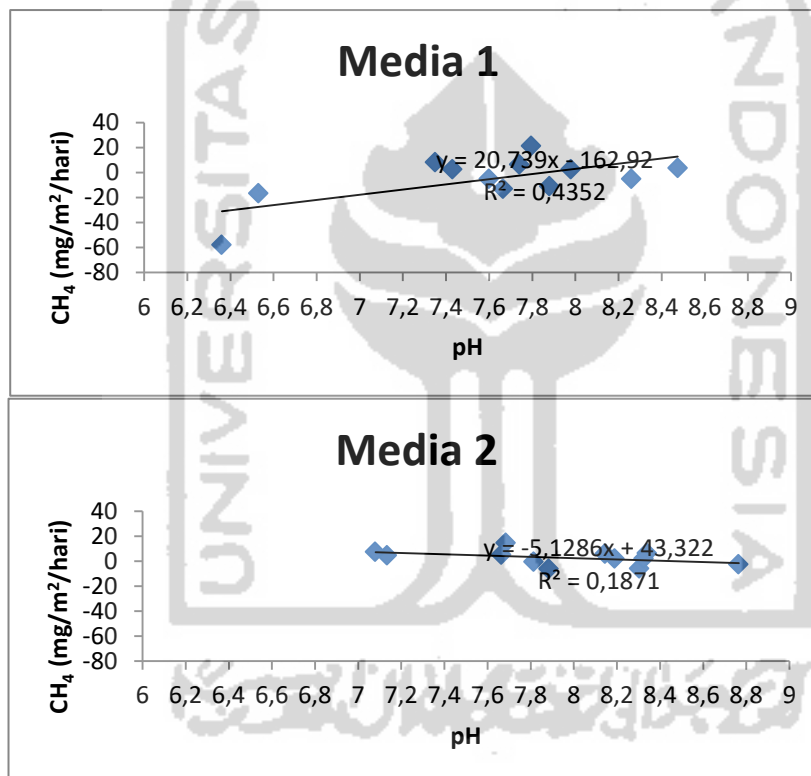
Suhu udara yang terdeteksi berkisar antara 24-27°C yang berarti berada pada kondisi mesofilik. Pada M2 dengan pembenah tanah yang memiliki kandungan bahan organik untuk menunjang aktivitas bakteri metanogen dalam memproduksi CH<sub>4</sub>. Namun, pada penelitian Darmanto *et al.* (2012) disebutkan bahwa pada kondisi mesofilik dan termofilik, produksi gas yang dihasilkan lebih tinggi berada pada kondisi termofilik.

Darmanto *et al.* (2012) juga menyebutkan bahwa pada suhu tinggi (termofilik) aktivitas bakteri akan sangat cepat dan aktif. Pada kondisi ini pembelahan membran sel dalam proses perkembangbiakan bakteri akan lebih singkat. Selain itu, pada kondisi ini produksi asam asetat dalam tanah juga

akan sangat tinggi sehingga produk berupa ada asetat yang dihasilkan dari bakteri asam akan langsung bereaksi dengan enzim yang dihasilkan oleh bakteri metanogen yang akan menghasilkan  $\text{CH}_4$ . Hal inilah yang mempengaruhi *trendline* yang terlihat pada M2 kecenderungan negatif, artinya semakin tinggi suhu udara maka emis  $\text{CH}_4$  yang teremisikan semakin kecil.

### 4.3.3 pH Tanah

Salah satu faktor yang mengendalikan produksi  $\text{CH}_4$  dari dalam tanah salah satunya adalah pH tanah (Dalal *et al.*, 2008). Azmi (2018) menyatakan bahwa nilai kadar air yang semakin kecil pada tanah menyebabkan pH akan semakin menurun. Selain itu juga fluks  $\text{CH}_4$  akan menurun pada saat kadar air tanah berkurang.



Gambar 18 Hubungan pH terhadap fluks emisi gas  $\text{CH}_4$

Berdasarkan Gambar 18 diketahui bahwa hubungan antara fluks emisi gas  $\text{CH}_4$  pada M1 berbanding lurus dan pada M2 berbanding terbalik. Menurut Azmi (2018) saat kondisi tanah kering pH akan cenderung turun sehingga sifatnya lebih asam. Saat kondisi kering tersebut fluks gas  $\text{CH}_4$  juga akan menurun saat kondisi tanah kering. M1 merupakan media tanpa pembenah tanah artinya tanah karst asli yang mempunyai ciri salah satunya adalah lahan kering. Hal ini mendukung hasil antara pH tanah pada M1 dengan fluks emisi  $\text{CH}_4$  memiliki hubungan yang kecenderungan positif, semakin tinggi pH maka emisi  $\text{CH}_4$  juga akan semakin tinggi. Bakteri

metanotrof berkerja optimal pada pH 4,5 – 5,5 (Dedysh *et al.*, 1998) untuk menyerap CH<sub>4</sub> sebagai energi, sehingga pada kondisi Gambar 18 bakteri methanotrop tidak berkerja secara optimum.

*Trendline* yang muncul antara M1 dan M2 memiliki keterkaitan dengan tekstur dan kelembapan dalam tanah (Suprihati, 2006). Pada M2 terlihat di Gambar 18 *trendline* yang muncul adalah kecenderungan negatif. Artinya, semakin tinggi pH pada M2 emisi gas CH<sub>4</sub> akan semakin menurun. Hasil ini mendukung penelitian yang telah dilakukan oleh Margandari (2015) yang menyatakan bahwa, kemasaman tanah mempunyai pengaruh terhadap pembentukan CH<sub>4</sub> di dalam tanah. Semakin asam tanah akan menurunkan fluks gas CH<sub>4</sub>.

Seperti diketahui, M2 merupakan media dengan pembenah tanah berupa pupuk kandang dan biochar. Pemberian bahan pembenah tanah ini dijelaskan oleh Sumani *et al.* (2009) akan menstimulasi pertumbuhan bakteri methanogen dalam tanah. Bakteri methanogen bekerja secara optimum pada situasi anaerob (Ghaly, 2000). Nilai pH yang terbaik untuk proses metanogenesis adalah antara 6,6-7,6 dan nilai idealnya adalah 7,2. Pertumbuhan bakteri ini akan sangat terbatas pada pH <5 dan >8,5.

Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa pada M2 rentang pH yang terukur adalah 7-8,9. Kondisi pH tanah yang cukup tinggi tersebut menyebabkan pertumbuhan bakteri methanogen akan sangat terbatas (Ghaly *et al.*, 2000) sehingga hubungan fluks emisi CH<sub>4</sub> dan pH pada M2 memiliki trend negatif.

#### 4.3.4 Potensial Reduksi-Oksidasi (Redoks)

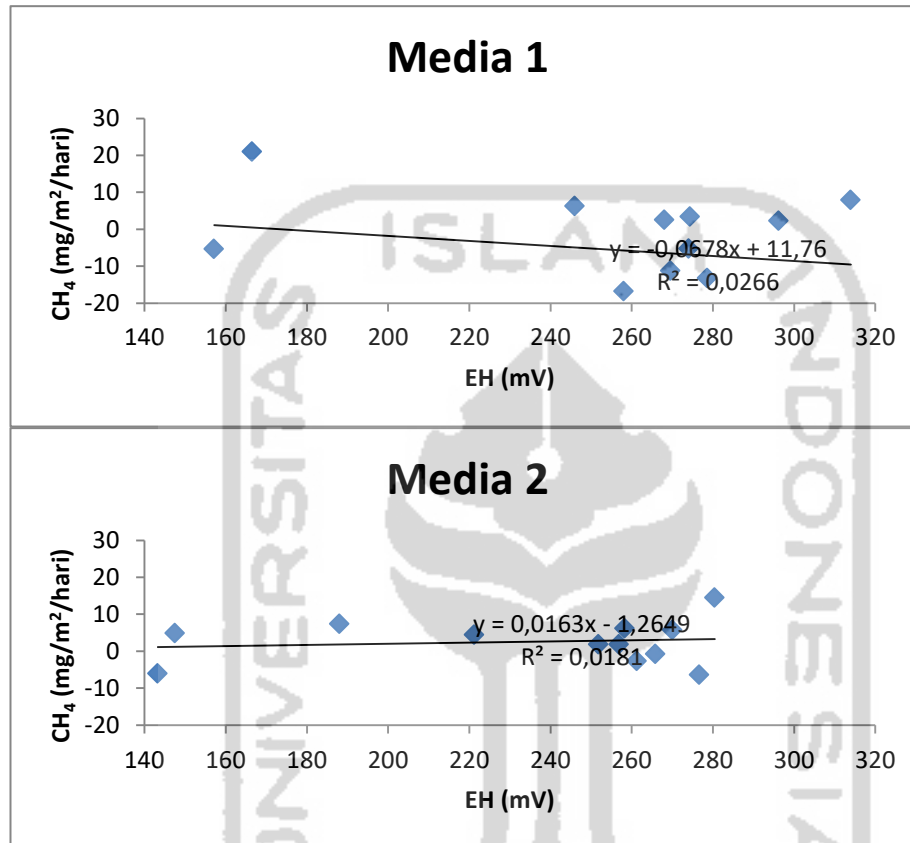
Potensial redoks juga merupakan salah satu faktor yang mengendalikan produksi CH<sub>4</sub> dari dalam tanah. Produksi CH<sub>4</sub> secara biologis hanya dapat berlangsung ketika beberapa agen kimia dengan potensial redoks tinggi seperti molekul oksigen, nitrat, besi (III) (Fe<sup>3+</sup>), mangan (IV), sulfat dan asam humat telah berkurang di dalam tanah (Dalal *et al.*, 2008).

Potensial reduksi merupakan parameter yang menggambarkan kondisi ketersediaan O<sub>2</sub> yang berhubungan erat dengan reaksi redoks dalam tanah. Semakin aerob kondisi tanah, maka semakin tinggi nilai potensial redoksnya (Azmi, 2018).

Gambar 19 memperlihatkan perbedaan *trendline* yang muncul antar media. M1 menyatakan bahwa saat redoks tanah tinggi maka fluks gas CH<sub>4</sub> mengalami penurunan. Hasil yang sama juga didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Margandari (2015) dan Arif *et al.* (2014) menyatakan bahwa hubungan antara redoks tanah dan fluks emisi CH<sub>4</sub> memiliki hubungan yang kecenderungan negatif berarti semakin tinggi potensial redoks, maka semakin rendah emisi CH<sub>4</sub> yang dihasilkan.

Yu dan Patrick (2004) menyatakan bahwa pada lahan padi sawah kontribusi GWP dari CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O berada pada rentan redoks -150 mV hingga +180 mV. Ketika nilai Eh lebih tinggi dari +180 mV, produksi CO<sub>2</sub>

dan  $N_2O$  akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap GWP, sedangkan produksi  $CH_4$  akan berkontribusi tinggi jika nilai Eh lebih rendah dari -150 mV. Pada kondisi tanah reduktif tersebut, besarnya metana yang dihasilkan ditentukan oleh jumlah dan laju dekomposisi substrat organik mudah terombak.



Gambar 19 Hubungan potensial redoks tanah dengan fluks emisi  $CH_4$

Dapat dilihat pada Gambar 19 nilai Eh yang terlihat tidak ada yang bernilai negatif, namun bernilai positif antara 150 mV – 310 mV pada kedua media. Hal ini dikarenakan pengukuran tanah tidak dilakukan dalam kondisi tergenang. Kondisi yang tidak tergenang ini menyebabkan tanah berada pada kondisi aerob. Dalam kondisi aerob dengan oksigen berlimpah Eh tanah akan positif dan tinggi, dapat mencapai +400 mV (DeLaune & Reddy, 2005) dan berpotensi mengurangi emisi  $CH_4$  (Hasanah *et al.*, 2017). Dari penjelasannya tersebut, dapat diartikan bahwa *trend* pada M1 hubungan Eh dengan fluks emisi  $CH_4$  adalah kecenderungan negatif. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arief *et al.* (2014) dan Margandari (2015) yang menyatakan bahwa hubungan antara redoks tanah dan fluks emisi  $CH_4$  memiliki hubungan yang kecenderungan negatif.

Berkebalikan dengan M1 yang telah di jelaskan sebelumnya, M2 mengalami hubungan yang kecenderungan positif terlihat pada Gambar 19 artinya semakin tinggi redoks tanah maka semakin tinggi pula emisi  $CH_4$  .



yang keluar. Jika diperhatikan nilai Eh yang terukur pada M2 lebih rendah dibanding M1, berada pada nilai antara 143,26 mV-280,48 mV. Sedangkan pada M1 berada pada rentan 166,52 mV- 313,98 mV. Menurut Lestarie *et al.* (2016), *trend* positif ini muncul akibat dari pemberian bahan pembenah tanah di M2. Semakin banyak kandungan bahan organik didalam tanah/media, maka bakteri metanogen dapat tumbuh dengan baik dan juga akan semakin banyak bahan organik yang diubah menjadi gas metana didaerah sekitar perakaran.

Namun disisi lain, pemberian bahan pembenah tanah ini juga menyebabkan aerasi pada tanah berjalan lancar, tetapi memiliki kemampuan menyimpan air yang sangat rendah (Rahmi & Biantary, 2014). Nilai Eh yang tinggi dikategorikan sebagai kondisi aerasi (oksidasi) (Hasanah *et al.*, 2017). Aerasi yang baik dapat menyebabkan daerah dengan *biochar* memiliki nilai Eh yang tinggi, sedangkan daerah sekitar akar akan memiliki nilai Eh yang rendah karena kadar O<sub>2</sub> sekitar perakaran sudah digunakan oleh mikroba untuk beraktivitas (Joseph *et al.*, 2015). Pernyataan tersebut tidak sesuai dengan hasil yang didapatkan pada M2 dengan pembenah tanah (penambahan *biochar* dan pupuk kandang) dimana nilai Eh yang terukur lebih kecil dibanding M1.

#### 4.3.5 Kelembaban Tanah

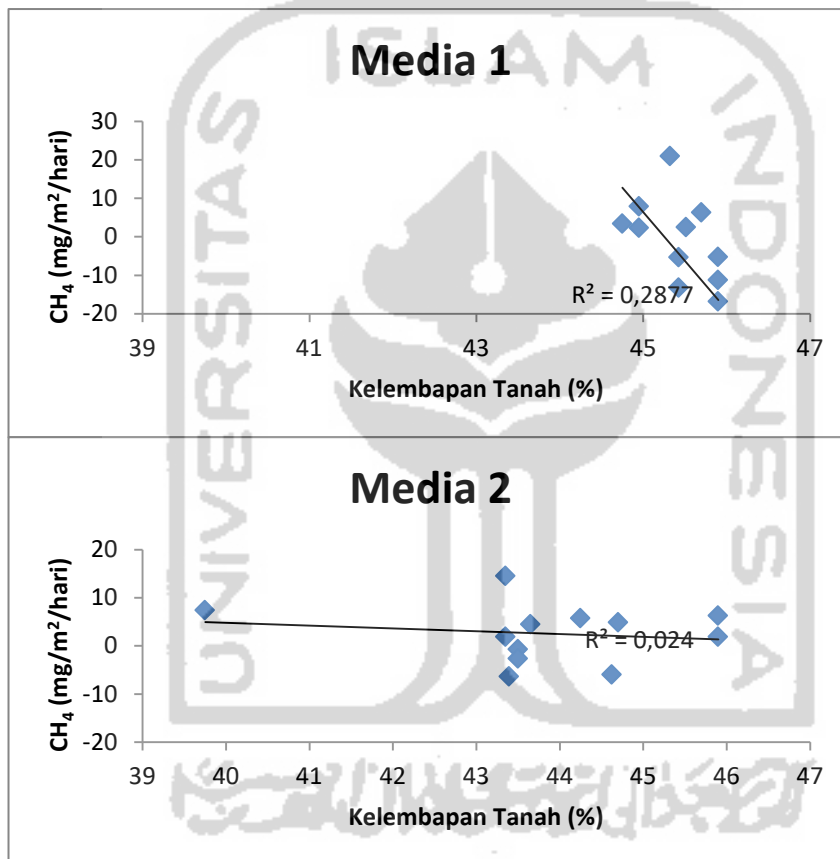
Kelembapan tanah merupakan faktor penting dalam produksi dan konsumsi CH<sub>4</sub> (Jugniah *et al.*, 2008). Hasanah *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa kelembapan tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi puncak dari emisi CH<sub>4</sub>. Berdasarkan analisis sensitivitas yang dilakukan pada penelitian Hasanah *et al.* (2017) kelembapan tanah adalah parameter lingkungan mikro yang paling berpengaruh pada fluks emisi CH<sub>4</sub>.

Pada Lampiran 12 menunjukkan adanya penurunan kadar air tanah dengan semakin tinggi pF. Kadar air tertinggi terdapat pada pF 1 yaitu pada saat kondisi tanah jenuh air dan kadar air terendah pada pF 4,2 yaitu pada saat kondisi tanah titik layu permanen. Hasil analisa menunjukkan bahwa pada tanah dengan tekstur liat memiliki kadar air tertinggi daripada tanah dengan tekstur liat berpasir baik dalam kondisi jenuh lapang (pF1), pori drainase cepat (pF2), kondisi kapasitas lapang (pF2,54), dan kondisi titik layu permanen (pF4,2).

Pada Lampiran 11 terdapat data kelembapan tanah, kelembapan tanah minimum dari M1 bernilai 44,01% sedangkan dari M2 bernilai 37,6%. Nilai kelembapan tanah pada M1 berada antara pF1 dan pF2. Sedangkan untuk M2 berada pada nilai >pF1. Dari nilai pF ini dapat dilihat bahwa M1 dan M2 berada pada kondisi jenuh. Dimana jenuh merupakan kondisi anaerob yang kekurangan oksigen. Bakteri metanogen bekerja optimal pada kondisi anaerob (Ghaly, 2000)..

Namun hal ini tidak sesuai dengan *trend* kecenderungan negatif yang terlihat pada M1 dan M2 di Gambar 20, artinya semakin tinggi kelembapan tanah emisi CH<sub>4</sub> akan semakin kecil. Kedua media berada pada kondisi jenuh,

pada kondisi ini harusnya bakteri methanogen akan bekerja secara optimal dalam menghasilkan emisi  $\text{CH}_4$ . Hasil ini juga tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arif *et al.* (2015) dan Azmi (2018) yang menyebutkan bahwa kelembapan tanah memiliki kecenderungan positif terhadap emisi gas  $\text{CH}_4$ . Semakin tinggi kadar air tanah maka emisi  $\text{CH}_4$  akan meningkat. Selain itu Setyanto *et al.* (2000) juga menjelaskan bahwa, peningkatan kelembapan tanah diikuti juga dengan pengurangan oksigen di dalam tanah yang diindikasikan dengan berkurangnya nilai potensial redoks tanah. Pengurangan oksigen menyebabkan aktifitas bakteri metanotropik yang menyerap gas  $\text{CH}_4$  menjadi terhambat sehingga emisi gas  $\text{CH}_4$  meningkat (Arif *et al.*, 2015).



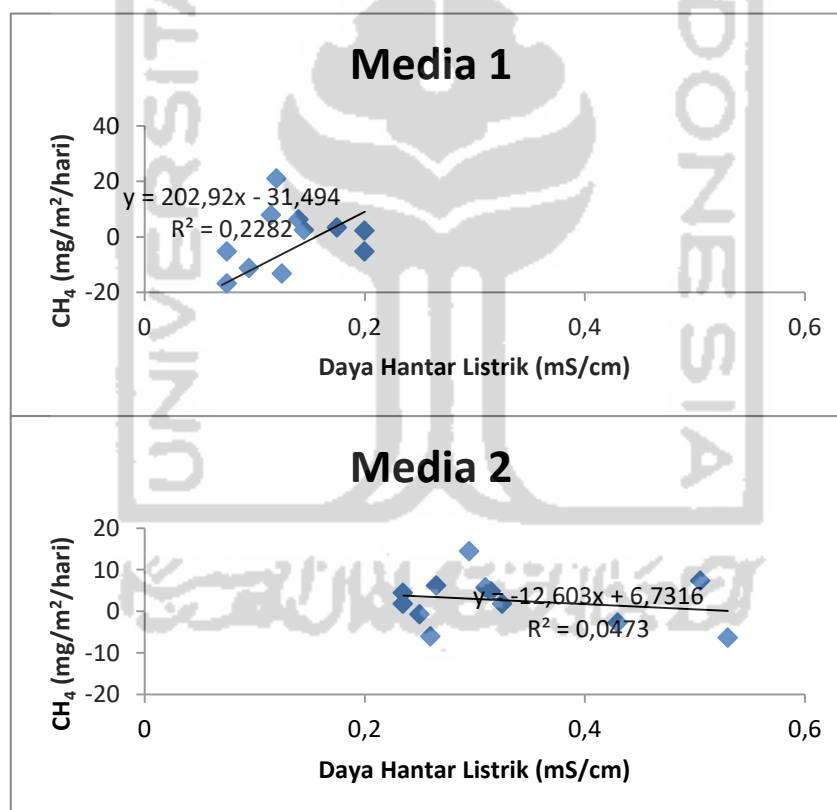
Gambar 20 Hubungan kelembapan tanah dengan fluks emisi gas  $\text{CH}_4$

Hasil yang tidak sesuai ini mungkin saja terjadi karena pada saat mengukur kelembapan tanah sensor kelembapan tanah berada di zona dengan aerasi baik sehingga kondisi yang terdeteksi adalah aerob sekitar 5 cm dari permukaan tanah. Sedangkan, pada saat mengambil sampel tanah untuk mengukur kadar pF tanah berada pada zona jenuh tanah. Sampel tanah yang diambil untuk mnegukur pF ini merupakan sampel tanah utuh yang diambil pada lapisan-lapisan tertentu tanah.

#### 4.3.6 Daya Hantar Listrik (DHL)

Salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi puncak Emisi  $\text{CH}_4$  adalah daya hantar listrik (DHL) (Hasana *et al.*, 2017). Daya hantar listrik diartikan berkaitan erat dengan salinitas tanah. Kondisi salinitas tana memiliki hubungan yang negatif pada keanekaragaman bakteri dalam tanah (Smith *et al.*, 2002).

Hubungan antara daya hantar listrik dengan fluks emisi  $\text{CH}_4$  dapat dilihat pada Gambar 21. M1 yaitu media tanpa pembenah tanah menunjukkan hubungan positif antara DHL dengan fluks emisi  $\text{CH}_4$ . Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arif *et al.* (2015) dan Azmi (2018) yang menyatakan bahwa hubungan DHL dengan fluks emisi  $\text{CH}_4$  adalah kecenderungan positif. Semakin tinggi nilai DHL maka semakin tinggi pula emisi  $\text{CH}_4$  yang diemisikan oleh tanah. Penelitian yang dilakukan Arief *et al.* (2015) menyebutkan bahwa nilai maksimum dari emisi  $\text{CH}_4$  terjadi pada kisaran DHL 0,3-0,4 mS/cm.



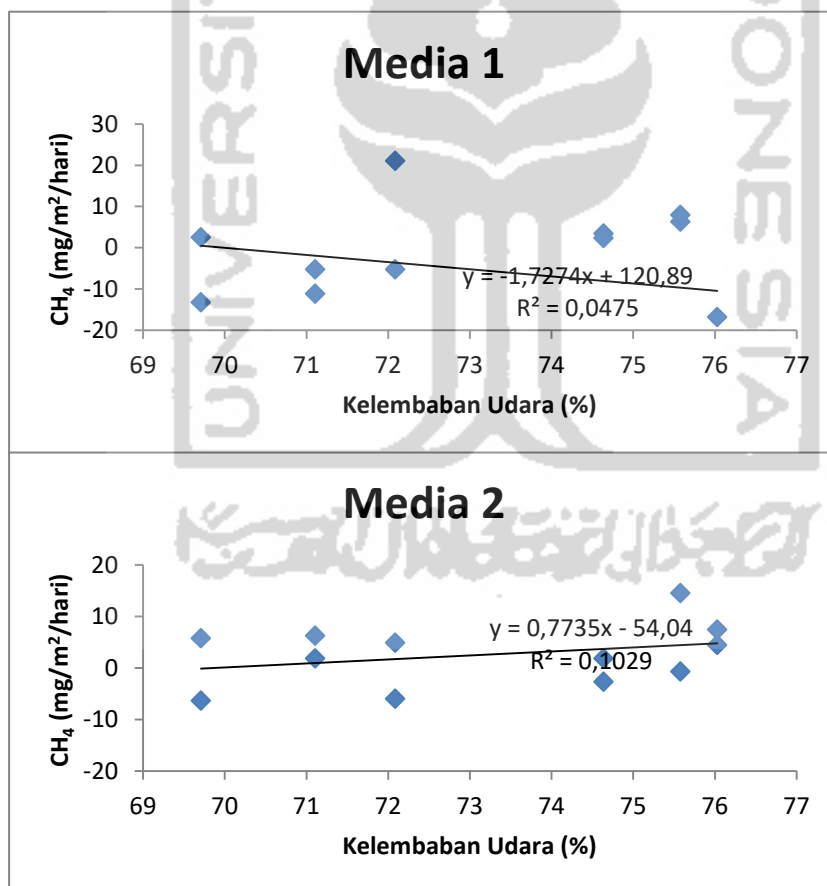
Gambar 21 Hubungan daya hantar listrik tanah dengan fluks emisi gas  $\text{CH}_4$

Sedangkan pada Gambar 21 M2 yang ditambahkan bahan pembenah tanah memiliki *trend* kecenderungan negatif, artinya semakin tinggi DHL maka emisi  $\text{CH}_4$  akan semakin kecil. Perbedaan perlakuan pada M2 salah satunya dengan penambahan *biochar* pada tanah dapat meningkatkan DHL dalam tanah. DHL tanah yang meningkat disebabkan oleh penambahan kation-kation ke dalam tanah yang bersumber dari *biochar* itu sendiri (Berek

*et al.*, 2017). Penambahan *biochar* pada M2 menurut Feng *et al.* (2011) pada penelitian yang dilakukan dilahan padi ternyata menurunkan emisi  $\text{CH}_4$ . Dari pernyataan tersebut dapat dihubungkan bahwa saat DHL naik pada M2 akibat dari penambahan *biochar* menyebabkan penurunan emisi  $\text{CH}_4$  dari media tersebut.

#### 4.3.7 Kelembaban Udara

Kelembaban udara merupakan salah satu faktor lingkungan mikro yang mempengaruhi emisi  $\text{CH}_4$  (Sumani *et al.*, 2009). Peningkatan kelembaban udara mempengaruhi perubahan struktur komunitas bakteri yang ada di sekitar akar tanaman, perubahan ini diawali oleh kelembaban udara yang meningkat terkait dengan variabel abiotik tanah dan biotik yang dimodifikasi. Perubahan struktur pada komunitas bakteri saat kenaikan kelembaban udara berkaitan dengan proses perubahan C, N, dan P serta proses pelapukan mineral di tanah. Humidifikasi mempengaruhi sejumlah filotipe dari berbagai jenis genus bakteri (Truu *et al.*, 2017). Hubungan antara kelembaban udara dengan fluks emisi  $\text{CH}_4$  dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Hubungan kelembaban udara dengan fluks gas emisi  $\text{CH}_4$

Kelembaban udara pada kedua media berada pada rentang 69,71%-76,03%. Pada kondisi kelembaban udara yang sama ternyata perlakuan media

memiliki hubungan yang berbeda. Pada M1 memiliki hubungan kecenderungan negatif, artinya semakin tinggi kelembaban udara maka emisi  $\text{CH}_4$  akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan kelembaban udara akan mempengaruhi aktifitas difusi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{O}_2$  ke dalam tanah. Bakteri methanotrof mudah terdegradasi substrat pada eksudat akar. Pada saat kondisi seperti yang disebutkan sebelumnya, beberapa tanaman dapat mengangkut  $\text{CH}_4$  dan oksigen dari udara ke zona akar, melalui aerenchyma (Philippot *et al.*, 2009). Hal ini menyebabkan kemungkinan oksidasi  $\text{CH}_4$  dalam rhizosfer meningkat sehingga emisi  $\text{CH}_4$  menjadi menurun.

Berbeda dengan M1, *trend* yang terlihat pada M2 adalah kecenderungan positif. Semakin tinggi kelembaban udara maka semakin tinggi emisi  $\text{CH}_4$  yang terdeteksi. Hal ini dapat disebabkan karena penambahan bahan pembenah tanah pada M2. Bahan pembenah tanah ini mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Kelembaban udara ini mempengaruhi kelembaban tanah yang menyebabkan kondisi anaerob di permukaan tanah. Kondisi anaerob merupakan kondisi terbaik bagi pertumbuhan bakteri metanogen (Ghaly, 2000). Peningkatan aktivitas bakteri metanogen ini akan meningkatkan emisi  $\text{CH}_4$  pada M2 sehingga *trend* yang muncul pada media ini adalah kecenderungan positif.





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah:

1. Fluks emisi  $\text{CH}_4$  pada media tanpa pembenah tanah dan dengan pembenah tanah memiliki nilai yang variatif, namun media dengan pembenah tanah memiliki total fluks yang lebih tinggi dibandingkan dengan media tanpa pembenah tanah. Total fluks pada M1N adalah sebesar  $-504,17 \text{ mg/m}^2$ , M2N memiliki total fluks sebesar  $176,80 \text{ mg/m}^2$ , M1V memiliki total fluks sebesar  $173,16 \text{ mg/m}^2$  dan M2V memiliki total fluks sebesar  $178,31 \text{ mg/m}^2$ .
2. Kondisi lingkungan mikro selama penelitian memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap fluks emisi  $\text{CH}_4$  pada M1 dan M2. Secara umum pengaruh dari kondisi lingkungan mikro antara M1 dan M2 memiliki hubungan yang berkebalikan. Pengaruh suhu tanah, Eh, dan kelembapan udara pada M1 memunculkan *trend* negatif, sedangkan *trend* negatif pada M2 muncul pada suhu udara, pH, dan DHL. Kelembapan tanah memunculkan *trend* negatif pada kedua media. Sedangkan hubungan positif terdapat pada suhu udara, pH dan DHL pada M1 dan suhu tanah, Eh, dan kelembapan udara pada M2.

#### **5.2 Saran**

Untuk mendapatkan hasil yang lebih tepat mengenai hubungan pemberian bahan pembenah tanah dengan emisi  $\text{CH}_4$ , sebaiknya menambahkan type media yang hanya menambahkan pupuk kandang saja dan *biochar* saja. Karena 2 jenis pembenah tanah tersebut memberikan pengaruh berbeda terhadap emisi  $\text{CH}_4$ . Selain itu, potensi kontribusi emisi  $\text{CH}_4$  yang dihasilkan dalam sehari akan lebih tepat lagi jika pengambilan sampel gas dilakukan dalam 3 waktu pada pagi, siang, dan sore hari.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR PUSTAKA

- Abichou, T., Kormi, T., Yuan, L., Johnson, T., dan Francisco, E. 2015. **Modeling the effects of vegetation on methane oxidation and emissions through soil landfill final covers across different climates.** *Waste Management Journal* 36 hal: 230-240.
- Achmad, A. 2011. **Rahasia Ekosistem Hutan Bukit Kapur.** Surabaya: Brilian Internasional.
- Adji, N., T., Sunariya, M., I., T., Wicaksono, Z. 2012. **Laju Penyerapan Karbondioksida Daerah Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin, Karst Gunung Sewu.** Laporan Akhir. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Adji, T. N., Haryono, E., Woro, S. 1999. **Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia.** Prosiding Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia.
- Agus, F., Yusrial, dan Sutono. 2006. Penetapan Tekstur Tanah. **Buku Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya.** Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. Hal. 43-62.
- Agusni, Marlina, & Satriawan, H. 2014. **Pengaruh Olah Yanah dan Pemberian Pupuk Kandang Terhadap Sifat Fisik Tanah dan Produksi Tanaman Jagung.** *Lentera*, 14(11), 1-6.
- Annisa, W., Nursyamsi, D. 2016. **Pengaruh Amelioran, Pupuk dan Sistem Pengelolaan Tanah Sulfat Masam terhadap Hasil Padi dan Emisi Metana.** *Jurnal Tanah dan Iklim* Vol 40 No 2 Hal. 135-145.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Widodo, S., Rudiyanto, -, Hasanah, N. A. I., & Mizoguchi, M. 2015. **Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan untuk Menduga Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Sawah dengan berbagai Rejim Air.** *Jurnal Irigasi*, 10(1), 1.
- Azmi Khairul dan Arif Chusnul. 2018. **Analisis Sensitivitas Emisi Gas Metana (Ch4) Pada Sawah Dengan Metode Korelasi Spearman's Rank.** *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3(2): 98-110.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 2004. **Tanah Sawah dan Teknologi Pengolahannya.** Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat (Puslitbangtanak), Bogor.
- Basuni, S. 2009. **Masa Depan Manajemen Kawasan Hutan Konservasi; Buku II: Pemikiran Guru Besar IPB.** Disunting oleh Sumarjo et al. 2009: Peranan IPTEKS dalam Pengelolaan Pangan, Energi, SDM, dan Lingkungan yang Berkelanjutan. Bogor: IPB Press
- Berek, A. K., Ceunfin, S., Taolin, R. I., Neobeni, E. Y., & Seran, M. J. (2017). **Efek Biochar dan Teh Kompos Terhadap Pertumbuhan Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Selada Darat (*Latuca sativa* L) Di Tanah Vertisol Semiarid.** *Journal Floratek* 12(2), 101-114.

- BMKG. 2019. **Prakiraan Musim Hujan 2019/2020 di Indonesia**. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Boone, D., R. 2000. **Biological formation and consumption of methane**. In: **Khalil MAK (ed) Atmospheric methane: its role in the global environmen**. Springe. Berlin. Pp 42-62.
- Casper, J. K. 2010. **Greenhouse gases: worldwide impacts**. New York: Infobase Publishing.
- Cheng, J., Lee, X., Tang, Y. & Zhang, Q., 2019. **Long Term Effects of Biochar Amendment in Rhizosphere and Bulk Soil Microbial Communities in a Karst Region, Southwest China**. *Applied Soil Ecology*, Volume 140, pp. 126-134.
- Dalal, R. C., Allen, D. E., Livesely, S. J., & Richards, G. 2008. **Magnitude and Biophysical Regulators of Methane Emission and Consumption in the Australian Agricultural, Forest, and Submerged Landscapes**. *Plan Soil* 309, 43-76.
- Darmanto, A., Soeparman, S., & Widhiyanuriawan, D. (2012). **Pengaruh Kondisi Temperatur Mesophilic (35°C) Dan Thermophilic (55°C) Anaerob Digester Kotoran Kuda Terhadap Produksi Biogas**. *Jurnal Rekayasa Mesin* 3(2), 317-326.
- Das, S., & Adhya, T. K. 2012. **Dynamics of Methanogenesis and Methanotrophy in Tropical Paddy Soils as Influenced by Elevated CO<sub>2</sub> and Temperature Interaction**. *Soil Biol. Biochem.* 47, 36-45.
- Dedysh, S. N., Panikov, N. S., & Tiedje, J. M. 1998. **Acidophilic Methanotrophic Communities From Sphagnum Peat Bogs**. *Applied and Environmental Microbiology* 64(3): 922-929.
- DeLaune, R. D., & Reddy, K. R. 2005. **Redox Potential**. *Elsevier Ltd. All Rights Reserved*, 366-371.
- Departemen Kehutanan, 1994. **Eucalyptus: Pedoman Teknis Penanaman Jenis-jenis Kayu Komersial**. Badan Litbang Departemen Kehutanan.
- Departemen Kehutanan. 2004a. **Peraturan Menteri Kehutanan No. SK.159/Menhut-II/2004 tentang Restorasi Ekosistem di Kawasan Hutan Produksi**. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Dwiputra, M. A., Kurnia, R., Riani, E. 2019. **Penggunaan Data Citra Landsat Multitemporal untuk Monitoring Kondisi Ekosistem Mangrove di Teluk Kulisusu Kabupaten Buton Utara**. *Journal of Science and Applicative Technology* vol.3 (1), pp. 1-8.
- Faber, B. 1995. **Organic Matter in Soil Aids Structure, Nutrient Exchange and Fertility**. Subtropical Fruit news. California: University of California Farm Advisor Ventura/Santa Barbara Counties.
- FAO, 1997. **Renewable Biological Systems for Alternative Sustainable Energy Production**. FAO Agricultural Services Bulletin – 128.

- Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z., & Lin, X. 2011. **Mechanism of Biochar Decreasing Methane Emission From Chinese Paddy Soil.** *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 46, 80-88.
- Ghaly, A. E., Ramkumar, D. R., Sadaka, S., & Rochon, J. D. 2000. **Effect of Reseeding and pH Control On the Performance of A Two-stage Mesophilic Anaerobic Digester Operating on Acid Cheese Whey.** *Canadian Agricultural Engineering*, 173-183.
- Ginting, Ir., P. 2007. **Sistem Pengelolaan Lingkungan Dan Limbah Industri, Cetakan pertama.** Bandung: Yrama Widya. Hal 37-200.
- Hamdan Adma Adinugraha, T. R. (2016). **Evaluasi Pertumbuhan Sambungan Eucalyptus pelitta F. Muell dengan Teknik Veneer Grafting.** *Jurnal Sylva Lestari*, 124-138.
- Hamdan Adma Adinugraha, T. R. 2016. **Evaluasi Pertumbuhan Sambungan Eucalyptus pelitta F. Muell dengan Teknik Veneer Grafting.** *Jurnal Sylva Lestari*, 124-138.
- Hardjowigeno, S. 2003. **Ilmu Tanah Cetakan Kelima.** Jakarta: Akademi Pressindo.
- Haryati, S., Hasanah, U., & Pagi, S. 2019. **Analisis Sifat Fisik Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Daerah Aliran Sungai Tawaeli.** *Agrotekbis*, 7(3).
- Haryono, E. 2009. **Model Perkembangan Karst Berdasarkan Morfometri Jaringan Lembah di Karang Bolong, Gunung Sewu, Blambangan dan Rengel. Disertasi.** Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E., Adji, T.N. 2010. **Geomorfologi Hidrologi Karst. Buku bahan ajar.** Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hasanah, N. A., Setiawan, B. I., Mizoguchi, M., Sands, G. R., Arif, C., & Widodo, S. 2017. **Triangle Graphs Development for Estimating Methane and Nitrous Oxide Gases Emission from the System of Rice Intensification (SRI).** *Journal of Environmental Science and Technology*, 10(4), 206-2014.
- Hindersah, T. R., & Simarmata. 2004. **Kontribusi Rizobakteri Azotobacter dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah Melalui Fiksasi N<sub>2</sub> dan Produksi Fitohormon di Rizosfer.** *Jurnal Natur Indonesia*, 127-133.
- Hindersah, T. R., & Simarmata. 2004. **Kontribusi Rizobakteri Azotobacter dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah Melalui Fiksasi N<sub>2</sub> dan Produksi Fitohormon di Rizosfer.** *Jurnal Natur Indonesia*, 127-133.
- <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks/indonesia/gunung-sewu/>. Diakses pada 2 Desember 2019.

- IAEA. 1992. **Manual on Measurements of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture**. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Imanda, N., Suketi, K. 2018. **Pengaruh Jenis Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bibit Pepaya (*Carica Papaya L.*) Genotipe IPB 3, IPB 4, dan IPB 9**. *Jurnal Bul. Agrohorti* 6(1) : 99 – 111.
- IPCC. 2001. **TAR Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press..
- IPCC. 2008. **Climate Change 2007: Synthesis report**. Geneva: Intergovernmental Panel Climate Change.
- Jugnia, L. B., Cabral, A. R., & Greer, C. W. 2008. **Biotic Methane Oxidation Within an Instrumented Experimental Landfill Cover**. *Ecol. Eng.* 33, 102-109.
- Kehutanan, B. L. 1994. **Pedoman Teknis Penanaman Jenis Kayu Komersial**. Bogor.
- Latarang, B., Syakur, A. 2006. **Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah (*allium ascalonicum l.*) Pada Berbagai Dosis Pupuk Kandang**. *Jurnal Agroland* 13 (3) : 265 – 269.
- Lestarie E. Silvia, Hidayati Yuli A, Juanda Wowon. 2016. **Skripsi: Analisis Jumlah Bakteri Anaerob Dan Proporsi Gas Metana Pada Proses Pembentukan Biogas Dari Feses Sapi Perah Dalam Tabung Hungate**. Bandung: Fakultas Peternakan Universitas Padjajaran.
- Liu, Y., Huang, X., Yang, H., & Zhong, T. 2014. **Environmental Effects Of Land-Use/Cover Change Caused By Urbanization And Policies In Southwest China Karst Area - A Case Study Of Guiyang**. *Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam*. 8(1) : 65-85.
- Manggandari, D. 2015. **Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) dari Lahan Padi Sawah Pada Berbagai Kondisi Lingkungan Mikro**. Bogor: Skripsi Institut Pertanian Bogor.
- Miyata A, Leuning R, Denmead OTh, Kim J, Harazonoa Y. 2000. **Carbon Dioxide And Methane Fluxes From An Intermittently Flooded Paddy Field**. *Agricultural and Forest Meteorology* 102 (2): 287–303.
- Murdiyarsa, D., Hairiah, Van Noordwijk M. 1994. **Modelling And Measuring Soil Organics Matter Dynamics And Greenhouse Gas Emission After Forest Conversion**. *Report of A Workshop Training Course*, Bogor.
- Muttaqin, M. 2012. **Kombinasi Bakteri Metanotrof, Pereduksi Dinitrogen Oksida, dan Penambat Nitrogen Sebagai Agen Pereduksi Gas Rumah Kaca dan Pupuk Hayati Pada Tanaman Padi**. Thesis Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.

- Nazaries, L., Murrell, J. C., Millard, P., Baggs, L., & Singh, B. K. 2013. **Methane, Microbes and Models: Fundamental Understanding of the Soil Methane Cycle for Future Predictions.** *Environmental Microbiology*, 1-23.
- Newman E I. 1993. **Applied Ecology.** Blockwell Science Ltd, Cambridge.
- Nurida, L., N. 2012. **Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia.** *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*; 57-68.
- Nurida, N. 2014. **Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia.** *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*, 57-68.
- Oktaviani, L., Aspan, A., & Nusantara, R. W. 2018). **Pengaruh Biochar dan Kompos Terhadap Retensi Kalium Pada Tanah Bekas Penambangan Emas Tanpa Izin (PETI) Kecamatan Singkawang Tengah Kota Singkawang.** *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian Vol 7, No 3* .
- Peraturan Daerah Propinsi Jawa Barat Nomor : 2 Tahun 2002 Tentang **Perlindungan Lingkungan Geologi.**
- Peters, V., & Conrad, R. 1996. **Sequential Reduction Processes and Initiation of CH<sub>4</sub> Production Upon Fooding of Oxidic Upland Soils.** *Soil Biology and Biochemistry Vol. 28(3)*: 371-382.
- Philippot, L., & Hallin, S. 2011. **Towards food, feed and energy crops mitigating climate change.** *Trends in plant science*, 16(9), 476-480.
- Pusarpedal. 2011. **Standar Operasional Prosedur (SOP) Pelaksanaan Pemantauan NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> di Udara Ambien Dengan Metode Pasif.** Tangerang: Kementerian Lingkungan Hidup RI.
- Rahmi, A., & Biantary, M. P. 2014. **Karakteristik Sifat Kimia Tanah dan Status Kesuburan Tanah Lahan Pekarangan dan Lahan Usaha Tani Beberapa Kampung di Kabupaten Kutai Barat.** *ZIRAA'AH*, 30-36.
- Rajkishore, S.K., Doraisamy, P., Subramanian, K.S., Maheswari, M., 2013. **Methane emission patterns and their associated soil microflora with SRI and conventional systems of rice cultivation in Tamil Nadu, India.** *Taiwan Water Conservancy* 61, 126-13.
- Ramadhan, A. F., & Hariyono, D. 2019. **Pengaruh Pemberian Naungan Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Pada Tiga Varietas Tanaman Stroberi (*Fragaria chiloensis* L.).** *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(1), 1-7.
- Ratmini Niluh Putu, Juwita Sri Yuana, dan Sasmita Priatna. 2018. **Pemanfaatan Biochar untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Sub Optimal.** Seminar Nasional Lahan Suboptimal. Palembang.
- Rosmarkam, A., & Yuwono, N. W. 2002. **Ilmu Kesuburan Tanah.** Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Rubol, S., W.L. Silver, and A. Bellin. 2012. **Hydrologic Control On Redox And Nitrogen Dynamics In A Peatland Soil.** *Sci. Total Environ.* 432: 37-46.

- Samodra, Hanang. 2001. **Nilai Strategis Kawasan Karst Di Industri Pengelolaan dan Perlindungannya**. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Publikasi khusus.
- Segers, R. 1998. **Methane Production and Methane Consumption: A Review of Processes Underlying Wetland Methane Fluxes**. *Biogeochemistry* 41: 23-51.
- Serranio-Silva, N., Sarria-Guzman, Y., Dendooven, L., & Luna-Guido, M. 2014. **Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review**. *Soil Science Society of China*, 24(3): 291-307.
- Setiawan, B.I., Irmansyah, A., Arif, C., Watanabe, T., Mizoguchi, M., Kato, H. 2013. **Effects of Groundwater Level on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions under SRI Paddy Management in Indonesia**. *Journal Of Taiwan Water Conservancy* 61: 135-146.
- Setyanto P, Rosenani AB, Boer R, Fauziah CI, Khanif MJ. 2004. **The Effect Of Rice Cultivars On Methane Emission From Irrigated Rice Field**. *Indonesian Journal of Agricultural Science* 5(1): 20–31.
- Siringoringo, harris herman, & Siregar, chairil anwar. 2011. **Pengaruh Aplikasi Arang Terhadap Pertumbuhan Awal Michelia Montana Blume Dan Perubahan Sifat Kesuburan Tanah Pada Tipe Tanah Latosol (The Effect of Biochar Application on Early Growth of Michelia montana Blume and Change in Soil Fertility of Latosol Soil Type)**. 65–85.
- Smith, J., Halvorson, J., & Bolton, H. J. 2002. **Soil Properties and Microbial Activity Across a 500 m Elevation Gradient in a Semi-Arid Environment**. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1749–1757.
- Spokas, K. A., & Reicosky, D. C. 2009. **Impacts of Sixteen Different Biochars on Soil Greenhouse Gas Production**. 3(612), 179–193.
- Stams, A. J., & Plugge, C. M. 2009). **Electron Transfer in Syntrophic Communities of Anaerobic Bacteria and Archaea**. *Nature Reviews Microbiology* 7, 568-577.
- Suganda, A., A. Rachman, dan Sutono. 2002. **Petunjuk Pengambilan Contoh Tanah**. Balittanah, Litbang, Departemen Pertanian. Bogor. Hal 9-10.
- Sugiyono, A. 2006. **Penanggulangan Pemanasan Global di Sektor Pengguna Energi**. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 7(2): 15-19.
- Sulichantini, E. D. 2016. **Pertumbuhan Tanaman Eucalyptus pelitta F. Muell di Lapangan dengan Menggunakan Bibit Hasil Perbanyakan dengan Metode Kultur Jaringan, Stek Pucuk, dan Biji**. *ZIRAA'AH*, 269-275.
- Sumani D.P., Ariyanto J. Syamsiyah, dan Mujiyo. 2009. **Pengaruh Imbangan Pupuk Organik Dan Anorganik Terhadap Emisi Gas Metana (CH<sub>4</sub>) Di Lahan Sawah Palur, Sukoharjo, Jawa Tengah**. Surakarta: Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Surakarta.
- Suryatmojo, H. 2006. **Strategi Pengelolaan Ekosistem Karst di Kabupaten Gunung Kidul**. Seminar Nasional Strategi Rehabilitasi Kawasan

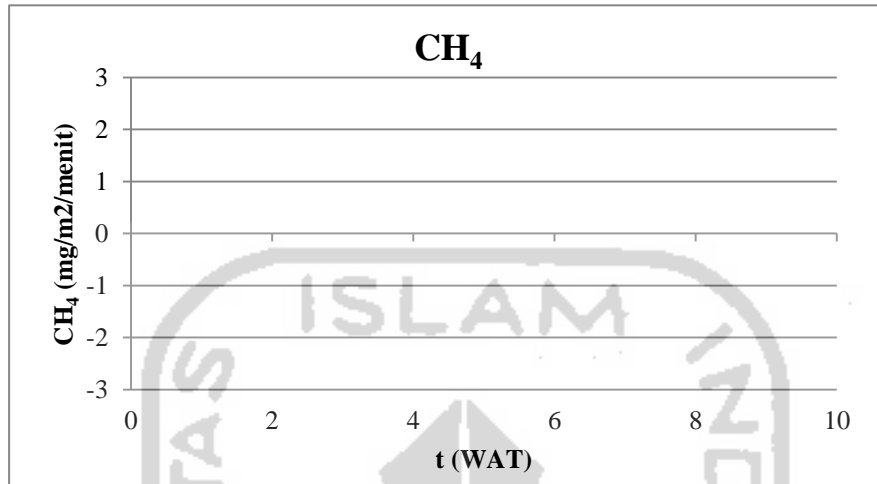
- Konservasi di Daerah Padat Penduduk.** Yogyakarta: Fakultas Kehutanan UGM.
- Suswati, D. 2011. **Identifikasi Sifat Fisik Lahan Gambut Rasau Jaya III Kabupaten Kubu Raya Untuk Pengembangan Jagung.** Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UGM. Jogjakarta. Vol. 1 hal 32.
- Syaikhu A. H. F., Hariyono, B., Suprayogo, D. 2016. **Uji Kemanfaatan Biochar Dan Bahan Pembena Tanah Untuk Perbaikan Beberapa Sifat Fisik Tanah Berpasir Serta Dampaknya Terhadap Pertumbuhan Produksi Tebu.** *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 3(2) : 345-357.
- Tangkitasik, A., Wikarniti, N. M., Soniari, N. N., & Narka, I. W. 2012. **Kadar Bahan Organik Tanah pada Tanah Sawah dan Tegalan di Bali serta Hubungan dengan Tesktur Tanah.** *AGROTROP*, 101-107.
- Tyler H D dan M E Ensminger. 2006. **Dairy Cattle Science: Fourth Edition.** Pearson Education Inc., New Jersey.
- Vivanco, D. V. 2009. **Regulation and Function oof Root Exudates.** *Plant, Cell and Environmental*, 666-681.
- Vogels, G.D., Keltjen, J.T., Van der Drift, C. 1988. **Biochemistry Of Methane Production Biology Of And Aerobic Microorganisms.** *Nature* 350: 406-409.
- Wang, J., Bogen, H. R., Vereecken, H., dan Bruggemann, N. 2016. **Characterizing Redox Potential Effects on Greenhouse Gas Emissions Induced by Water-Level Changes.** *Jurnal Vadose Zone* 17:170152. doi:10.2136.
- Whitman, W. B., T. L. Bowen, D. R. Boone. 1992. **The methanogenic bacteria. In: The Prokaryotes, a Handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications, second edition ( A. Ballows, H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder, and K.-H. Schleifer, eds.).** Springer-Verlag, New York, p. 719–767.
- Yaicel Gé Proenza, R. Q. 2013. **Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil from Eucalyptus pellita F. Muell.** *J. Med. Plants Res.*, 1979-1983.
- Yavitt, J., C. Williams and R. Wieder. 2004. **Soil Chemistry Versus Environmental Controls On Production Of Ch<sub>4</sub> and Co<sub>2</sub> In Northern Peatlands.** *European Journal of Soil Science*. 56(2): 169-178.
- Yu, K. W., Wang, Z. P., & Chen, G. X. (1997). **Nitrous Oxide and Methane Transport Trough Rice Plants.** *Biol Fertil Soil*, 24, 341-343.
- Yu, K., & Patrick, W. H. 2004. **Redox Window with Minimum Global Warming Potential Contribution from Rice Soils.** Soil Science Society of America.



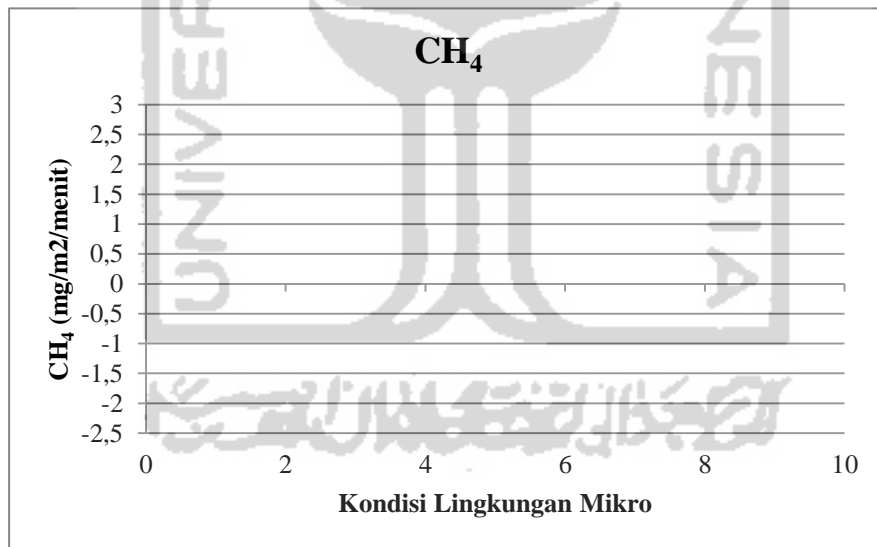
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LAMPIRAN



Lampiran 1 Gambar Grafik fluks terhadap waktu



Lampiran 2 Gambar Hubungan antara emisi CH<sub>4</sub> dengan parameter lingkungan mikro

Lampiran 3 Hasil Pengujian Gas CH<sub>4</sub>

No.	Kode Sampel	Konsentrasi CH <sub>4</sub> (ppm)
1	M1N1.0.0	5.01
2	M1N1.0.10	2.87
3	M1N1.0.20	2.60
4	M1N2.0.0	2.44
5	M1N2.0.10	2.33
6	M1N2.0.20	2.33
7	M2N1.0.0	1.98
8	M2N1.0.10	2.29
9	M2N1.0.20	2.52
10	M2N2.0.0	2.95
11	M2N2.0.10	2.31
12	M2N2.0.20	2.73
13	M1V1.0.0	2.94
14	M1V1.0.10	2.81
15	M1V1.0.20	2.40
16	M1V2.0.0	2.40
17	M1V2.0.10	2.34
18	M1V2.0.20	2.21
19	M2V1.0.0	2.01
20	M2V1.1.0	2.25
21	M2V1.0.20	2.46
22	M2V2.0.0	2.34
23	M2V2.0.10	2.23
24	M2V2.0.20	2.08
25	M1N1.1.0	2.04
26	M1N1.1.10	2.17
27	M1N1.1.20	2.17
28	M1N2.1.0	2.22
29	M1N2.1.10	2.12
30	M1N2.1.20	2.43
31	M2N1.1.0	2.14
32	M2N1.1.10	2.49
33	M2N1.1.20	2.75
34	M2N2.1.0	2.61
35	M2N2.1.10	2.66
36	M2N2.1.20	2.62
37	M1V1.1.0	2.39
38	M1V1.1.10	2.96
39	M1V1.1.20	2.71
40	M1V2.1.0	2.70
41	M1V2.1.10	2.89
42	M1V2.1.20	2.65
43	M2V1.1.0	2.24
44	M2V1.1.10	2.38

## Lanjutan Lampiran 3

No.	Kode Sampel	Konsentrasi CH <sub>4</sub> (ppm)
45	M2V1.1.20	2.09
46	M2V2.1.0	2.20
47	M2V2.1.10	2.26
48	M2V2.1.20	2.32
49	M1N1.2.0	2.23
50	M1N1.2.10	2.61
51	M1N1.2.20	2.14
52	M1N1.2.0	2.11
53	M1N1.2.10	2.30
54	M1N1.2.20	2.30
55	M2N1.2.0	2.38
56	M2N1.2.10	2.12
57	M2N1.2.20	2.39
58	M2N2.2.0	2.32
59	M2N2.2.10	2.45
60	M2N2.2.20	2.39
61	M1V1.2.0	2.36
62	M1V1.2.10	2.33
63	M1V1.2.20	2.30
64	M1V2.2.0	2.08
65	M1V2.2.10	2.39
66	M1V2.2.20	2.29
67	M2V1.2.0	2.34
68	M2V1.2.10	2.48
69	M2V1.2.20	2.52
70	M2V2.2.0	2.90
71	M2V2.2.10	2.75
72	M2V2.2.20	2.60
73	M1N1.3.0	2.52
74	M1N1.3.10	2.40
75	M1N1.3.20	2.30
76	M1N2.3.0	2.24
77	M1N2.3.10	2.25
78	M1N2.3.20	2.23
79	M2N1.3.0	1.97
80	M2N1.3.10	2.58
81	M2N1.3.20	2.45
82	M2V2.3.0	2.26
83	M2V2.3.10	2.59
84	M2V2.3.20	2.52
85	M1V1.3.0	2.14
86	M1V1.3.10	2.38
87	M1V1.3.20	2.38
88	M1V2.3.0	2.05

## Lanjutan Lampiran 3

No.	Kode Sampel	Konsentrasi CH <sub>4</sub> (ppm)
89	M1V2.3.10	1.92
90	M1V2.3.20	2.72
91	M2V1.3.0	2.41
92	M2V1.3.10	2.94
93	M2V1.3.20	2.87
94	M2V2.3.0	2.77
95	M2V2.3.10	2.78
96	M2V2.3.20	2.52
97	M1N1.4.0	2.18
98	M1N1.4.10	2.56
99	M1N1.4.20	2.45
100	M1N2.4.0	2.97
101	M1N2.4.10	2.23
102	M1N2.4.20	2.47
103	M2N1.4.0	2.36
104	M2N1.4.10	2.39
105	M2N1.4.20	2.32
106	M2N2.4.0	2.33
107	M2N2.4.10	2.46
108	M2N2.4.20	2.45
109	M1V1.4.0	2.21
110	M1V1.4.10	2.75
111	M1V1.4.20	2.28
112	M1V2.4.0	3.29
113	M1V2.4.10	2.46
114	M1V2.4.20	2.73
115	M2V1.4.0	2.12
116	M2V1.4.10	2.16
117	M2V1.4.20	2.27
118	M2V2.4.0	2.10
119	M2V2.4.10	2.05
120	M2V2.4.20	2.22
121	M1N1.5.0	2.67
122	M1N1.5.10	2.11
123	M1N1.5.20	2.14
124	M1N2.5.0	2.19
125	M1N2.5.10	2.10
126	M1N2.5.20	2.14
127	M2N1.5.0	2.30
128	M2N1.5.10	2.11
129	M2N1.5.20	2.11
130	M2N2.5.0	2.15
131	M2N2.5.10	2.00
132	M2N2.5.20	2.06

## Lanjutan Lampiran 3

No.	Kode Sampel	Konsentrasi CH <sub>4</sub> (ppm)
133	M1V1.5.0	1.96
134	M1V1.5.10	1.91
135	M1V1.5.20	1.88
136	M1V2.5.0	2.07
137	M1V2.5.10	2.73
138	M1V2.5.20	2.26
139	M2V1.5.0	2.00
140	M2V1.5.10	2.39
141	M2V1.5.20	2.30
142	M2V2.5.0	2.05
143	M2V2.5.10	1.79
144	M2V2.5.20	2.00

Contoh Pembacaan Kode Sampel:

M1N1.0.0 = M1 : Media 1  
 N1 : Tanpa Vegetasi 1  
 0 : Minggu ke-0 pengambilan sampel  
 0 : Menit ke-0 pengambilan sampel

Lampiran 4 Hasil Perhitungan Fluks Gas CH<sub>4</sub>

MST	Time (menit)	M1N1			E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
		CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	
0	0	5,01			
	10	2,87	-0,1205	29,8	-0,07714
	20	2,6			
2	0	2,04			
	10	2,17	0,0065	26	0,00421
	20	2,17			
4	0	2,23			
	10	2,61	-0,0045	29,3	-0,00289
	20	2,14			
6	0	2,52			
	10	2,4	-0,011	29,3	-0,00705
	20	2,3			
8	0	2,18			
	10	2,56	0,0135	31,5	0,00859
	20	2,45			
10	0	2,67			
	10	2,11	-0,0265	32,8	-0,01680
	20	2,14			

## Lanjutan Lampiran 4

M1N2					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
0	0	2,44			
	10	2,33	-0,0055	30,6	-0,00351
	20	2,33			
2	0	2,22			
	10	2,12	0,0105	27	0,00678
	20	2,43			
4	0	2,11			
	10	2,3	0,0095	30,9	0,00606
	20	2,3			
6	0	2,24			
	10	2,25	-0,0005	29,7	-0,00032
	20	2,23			
8	0	2,97			
	10	2,23	-0,025	31,9	-0,01589
	20	2,47			
10	0	2,19			
	10	2,1	-0,0025	33,2	-0,00158
	20	2,14			
M2N1					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
0	0	1,98			
	10	2,29	0,027	30	0,01727
	20	2,52			
2	0	2,14			
	10	2,49	0,0305	26	0,01977
	20	2,75			
4	0	2,38			
	10	2,12	0,0005	29,8	0,00032
	20	2,39			
6	0	2,97			
	10	2,58	-0,026	29,3	-0,01667
	20	2,45			
8	0	2,36			
	10	2,39	-0,002	31,5	-0,00127
	20	2,32			
10	0	2,3			
	10	2,11	-0,0095	33,3	-0,00601
	20	2,11			

## Lanjutan Lampiran 4

M2N2					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
0	0	2,95		30,7	-0,00702
	10	2,31	-0,011		
	20	2,73			
2	0	2,61		27	0,00032
	10	2,66	0,0005		
	20	2,62			
4	0	2,32		30,9	0,00223
	10	2,45	0,0035		
	20	2,39			
6	0	2,26		29,8	0,00832
	10	2,59	0,013		
	20	2,52			
8	0	2,33		31,8	0,00382
	10	2,46	0,006		
	20	2,45			
10	0	2,15		33,8	-0,00284
	10	2	-0,0045		
	20	2,06			
M1V1					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
0	0	2,94		29,8	-0,01728
	10	2,82	-0,027		
	20	2,4			
2	0	2,39		26	0,01037
	10	2,96	0,016		
	20	2,71			
4	0	2,36		28,8	-0,00193
	10	2,33	-0,003		
	20	2,3			
6	0	2,14		29,6	0,00769
	10	2,38	0,012		
	20	2,38			
8	0	2,21		31,9	0,00223
	10	2,75	0,0035		
	20	2,28			
10	0	1,96		32,6	-0,00254
	10	1,91			
	20	1,88	-0,004		
	10	1,79			
	20	2			

## Lanjutan Lampiran 4

M1V2					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
	0	2,4			
0	10	2,34	-0,0095	30,6	-0,00607
	20	2,21			
	0	2,7			
2	10	2,89	-0,0025	27	-0,00162
	20	2,65			
	0	2,08			
4	10	2,39	0,0105	30,7	0,00670
	20	2,29			
	0	2,05			
6	10	1,92	0,0335	29,8	0,02145
	20	2,72			
	0	3,29			
8	10	2,46	-0,028	32,3	-0,01778
	20	2,73			
	0	2,07			
10	10	2,73	0,0095	32,9	0,00602
	20	2,26			
M2V1					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
	0	2,01			
0	10	2,25	0,0225	29,2	0,01443
	20	2,46			
	0	2,24			
2	10	2,38	-0,0075	26	-0,00486
	20	2,09			
	0	2,34			
4	10	2,48	0,009	29,5	0,00577
	20	2,52			
	0	2,41			
6	10	2,94	0,023	29,2	0,01475
	20	2,87			
	0	2,12			
8	10	2,16	0,0075	29	0,00481
	20	2,27			
	0	2			
10	10	2,39	0,015	32,2	0,00953
	20	2,3			

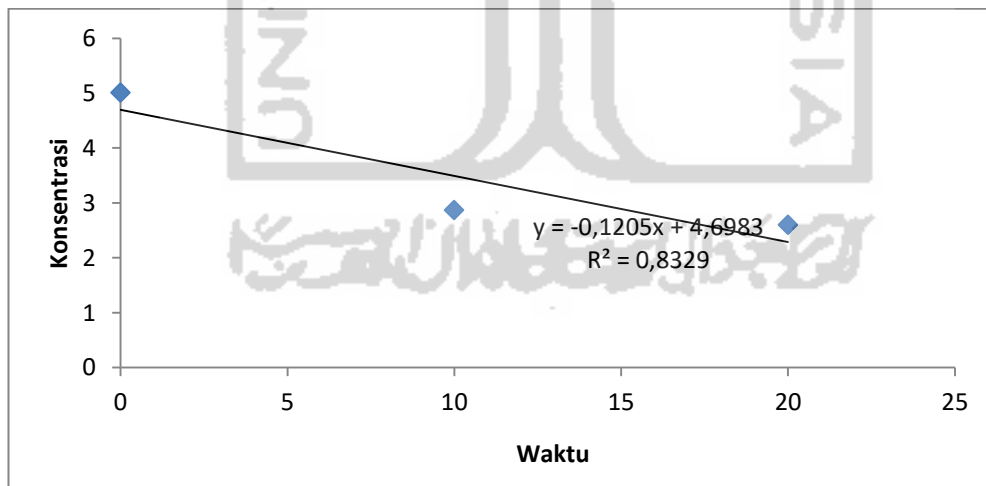


## Lanjutan Lampiran 4

M2V2					
MST	Time	CH <sub>4</sub>	dC/dT	T	E (mg/m <sup>2</sup> /menit)
0	0	2,34		30,7	-0,00830
	10	2,23	-0,013		
	20	2,08			
2	0	2,2		27	0,00388
	10	2,26	0,006		
	20	2,32			
4	0	2,9		32,8	-0,00951
	10	2,75	-0,015		
	20	2,6			
6	0	2,77		29,4	-0,00801
	10	2,78	-0,0125		
	20	2,52			
8	0	2,1		31,2	0,00382
	10	2,05	0,006		
	20	2,22			
10	0	2,05		32,8	-0,00158
	10	1,79	-0,0025		
	20	2			

Contoh perhitungan untuk mencari dC/dT:

Dari data konsentrasi dan waktu pengambilan dibuat grafik seperti di bawah ini:



Diketahui:

Berat Molekul (mW) : 16,04 g/mol

Volume Molekul (mV) : 22,14 L (kondisi STP)

H<sub>ch</sub> : 0,98 m

$\frac{\delta C}{\delta t}$  : Perbedaan konsentrasi CH<sub>4</sub> per waktu pengambilan

Rumus mencari fluks CH<sub>4</sub>:

$$E = \frac{\delta C}{\delta t} \times h_{ch} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273.2}{273.2+T}$$

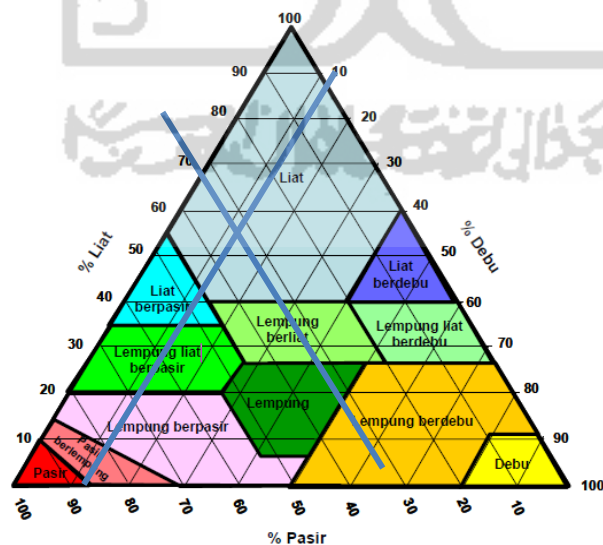
$$E = -0,1205 \times 0,98 \times \frac{16,04}{22,14} \times \frac{273.2}{273.2+29,8}$$

$$E = -0,07714$$

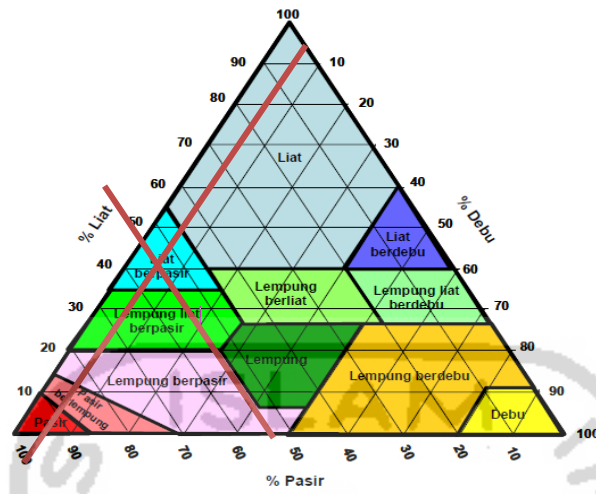
Perhitungan fluks di lanjutkan untuk seluruh media dan perlakuan. Setelah memperoleh nilai fluks tiap media, dilanjutkan dengan merata-ratakan per media sehingga tersisa 4 perlakuan seperti pada Lampiran 3.

Lampiran 5 Data analisa tekstur tanah

No	Parameter uji	Satuan	Media 1	Media 2
1	Tekstur			
	Pasir	%	35	54
	Debu	%	14	5
	Liat	%	51	41
2	C-Organik	%	1,36	2,21
3	BV	g/cc	1,1	0,92
4	BJ	g/cc	2,47	2,4
		%		
5	Ruang pori total	Volume	55,5	61,58
Jenis tanah			Liat	Liat berpasir



Lampiran 6 Analisa tekstur tanah pada media 1



Lampiran 723 Analisa tekstur tanah pada media 2

Lampiran 8 Rata-Rata Fluks Emisi CH<sub>4</sub>/Perlakuan dalam menit

MST	CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>2</sup> /menit)			
	M1N	M2N	M1V	M2V
0	-0,04033	0,00513	-0,01167	0,00307
2	0,00550	0,01005	0,00438	-0,00049
4	0,00159	0,00128	0,00239	-0,00187
6	-0,00369	-0,00417	0,01457	0,00337
8	-0,00365	0,00127	-0,00778	0,00432
10	-0,00919	-0,00443	0,00174	0,00397

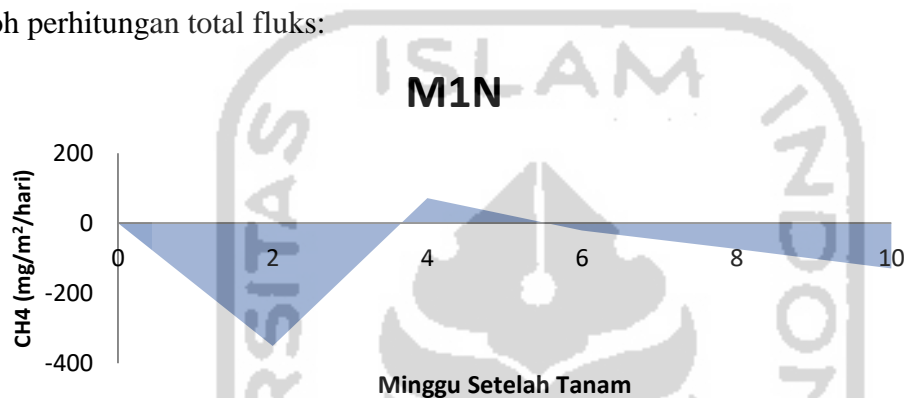
Lampiran 9 Rata-Rata Fluks Emisi CH<sub>4</sub>/Perlakuan dalam hari

MST	CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>2</sup> /hari)			
	M1N	M2N	M1V	M2V
0	-58,0690	7,3815	-16,8120	4,4170
2	7,9188	14,4691	6,3053	-0,7095
4	2,2853	1,8378	3,4380	-2,6936
6	-5,3090	-6,0117	20,9754	4,8531
8	-5,2560	1,8307	-11,1980	6,2188
10	-13,2341	-6,3758	2,5076	5,7184

Lampiran 10 Total Fluks Emisi CH<sub>4</sub>

MST	CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>2</sup> )			
	M1N	M2N	M1V	M2V
0	0	0	0	0
2	-351,05	152,95	-73,55	25,95
4	-279,62	267,10	-5,34	2,13
6	-300,79	237,89	165,55	17,25
8	-374,74	208,62	233,99	94,75
10	-504,17	176,80	173,16	178,31

Contoh perhitungan total fluks:



Total fluks emisi CH<sub>4</sub> diperoleh dengan cara menghitung areal fluks dibawah kurva selama periode penelitian.

Dengan rumus:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{b-a}{6} \left[ f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b) \right]$$

Keterangan:

a = awal periode

b = akhir periode

Perhitungan menggunakan *software Microsoft Excel* pada tabel berikut:

Awal Periode (a) (hari)	f(a)	Akhir periode (b) (hari)	f(b)	(f(a)+f(b))*(b-a/2)	Fluks CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>2</sup> )
0	-58,0690	14	7,9188	-351,0511	-351,051
14	7,9188	28	2,2853	71,428787	71,42879
28	2,2853	42	-5,3090	-21,16582	-21,1658
42	-5,3090	56	-5,2560	-73,95477	-73,9548
56	-5,2560	70	-13,2341	-129,4303	-129,43
Total Fluks Emisi CH <sub>4</sub> M1N					-504,173

## Lampiran 11 Data Kondisi lingkungan mikro

M1V	Ta (°C)	Rha	pH	T (°C)	EH (mV)	EC	Kelembapan Tanah (%)	E
0	24,9	76,03	6,53	31,3	258,04	0,075	45,9	-16,8120
2	25,05	75,58	7,74	29,4	246,02	0,14	45,7	6,3053
4	24,85	74,64	8,475	29,2	274,36	0,175	44,75	3,4380
6	25,98	72,09	7,795	25,65	166,52	0,12	45,325	20,9754
8	25,92	71,11	7,88	28,25	269,6	0,095	45,9	-11,1980
10	26,53	69,71	7,98	28,2	268,06	0,145	45,515	2,5076
M2V	Ta (°C)	Rha	pH	T (°C)	EH (mV)	EC	Kelembapan Tanah (%)	E
0	24,9	76,03	7,135	32,15	221,22	0,235	43,65	4,4170
2	25,05	75,58	7,815	30,45	265,86	0,25	43,5	-0,7095
4	24,85	74,64	8,765	29,1	261,28	0,43	43,5	-2,6936
6	25,98	72,09	7,665	25,6	147,48	0,315	44,7	4,8531
8	25,92	71,11	8,34	27,9	258,32	0,265	45,9	6,2188
10	26,53	69,71	8,145	28,2	270,06	0,31	44,25	5,7184
M1N	Ta (°C)	Rha	pH	T (°C)	EH (mV)	EC	Kelembapan Tanah (%)	E
0	24,9	76,03	6,36	31,65	260,32	0,07	45,9	-58,0690
2	25,05	75,58	7,35	29,35	313,98	0,115	44,95	7,9188
4	24,85	74,64	7,43	27,8	296,24	0,2	44,95	2,2853
6	25,98	72,09	8,26	25,8	157,14	0,2	45,425	-5,3090
8	25,92	71,11	7,6	28,15	274,02	0,075	45,9	-5,2560
10	26,53	69,71	7,665	28,25	278,6	0,125	45,425	-13,2341
M2N	Ta (°C)	Rha	pH	T (°C)	EH (mV)	EC	Kelembapan Tanah (%)	E
0	24,9	76,03	7,08	33,2	188,06	0,505	39,75	7,3815
2	25,05	75,58	7,685	30,6	280,48	0,295	43,35	14,4691
4	24,85	74,64	8,19	27,9	251,82	0,325	43,35	1,8378
6	25,98	72,09	8,305	25,95	143,26	0,26	44,625	-6,0117
8	25,92	71,11	8,325	27,95	256,86	0,235	45,9	1,8307
10	26,53	69,71	7,885	28,3	276,64	0,53	43,395	-6,3758

## Lampiran 12 Data pF tanah

No	Jenis Media	Kadar air (% volume)			
		pF1	pF2	pF2,54	pF 4,2
1	Media 1	42,94	43,58	34,13	21,08
2	Media 2	36,21	29,92	21,21	12,93

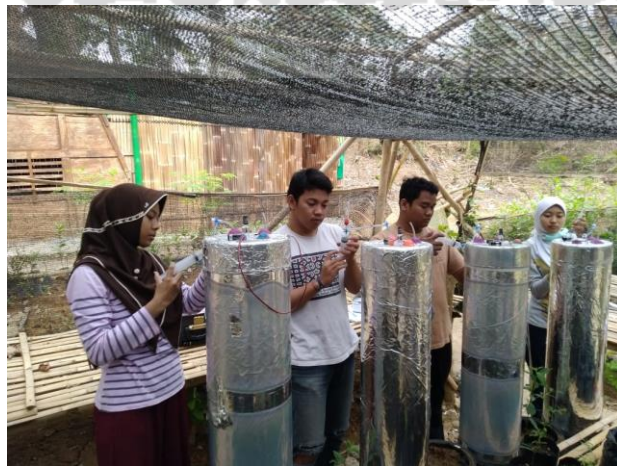


Lampiran 13 Pembuatan Media





## Lampiran 14 Pengambilan Contoh Uji Gas







## RIWAYAT HIDUP

Nurul Dinda Latifah atau biasa dipanggil (Dinda) lahir di Selong pada tanggal 4 Agustus 1998. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan H. Muslim, S.H., M.H. dan Hj. Dra. Nurhasanah S.H., M.H. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 3 Pancor, Selong, Lombok Timur. Lalu di RSBI SMPN 1 Selong dan SMAN 1 Selong, Lombok Timur.

Pada tahun 2016 diterima sebagai mahasiswi Teknik Lingkungan FTSP UII melalui jalu PSB. Selama menempuh pendidikan penulis mengikuti kegiatan akademik dan non akademik kampus. Seperti mengikuti kepanitian, organisasi, dan menjadi asisten laboratorium. Berawal dari menjadi panitian dalam *event* yang diadakan oleh kampus mendorong penulis untuk masuk ke ranah organisasi. Pada tahun 2019 menjadi *staff* departemen kewirausahaan HMTL FTSP UII.

Pada tahun 2018 dan 2019 penulis aktif menjadi asisten laboratorium di Teknik Lingkungan FTSP UII. Hingga tahun 2020 ini penulis meneruskan kegiatan menjadi asisten laboratorium. Pada pertengahan tahun 2019 penulis menyelesaikan kerja prakteknya yang berlokasi di PT. AMNT yang merupakan perusahaan tambang emas terbesar kedua di Indonesia dengan fokus kegiatan adalah menganalisis status air permukaan pada PT. AMNT berupa air sungai dan air asam tambang.

Selain itu, pada tahun 2020 penulis mengikuti intership yang diadakan oleh PusPIK yang bekerjasama dengan ACICIS. Sebuah *research* program yang berjudul *Status of Environmental Vulnerability to Climate Change in Yogyakarta* bersama seorang mahsiswi dari *Queensland University Australia*.