

**SIMPANAN KARBON PADA TANAH DI KAWASAN GEOTHERMAL IE
BROK SEULAWAH AGAM DESA MEURAH KECAMATAN
SEULIMEUM KABUPATEN ACEH BESAR
SEBAGAI REFERENSI MATAKULIAH
EKOLOGI TUMBUHAN**

SKRIPSI

Diajukan Oleh :

NELLY ARFINA

NIM. 150207057

Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
Program Studi Pendidikan Biologi



FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM, BANDA ACEH
2020 M/1441 H

**SIMPANAN KARBON PADA TANAH DI KAWASAN
GEOTHERMAL IE BROK SEULAWAH AGAM
DESA MEURAH KECAMATAN SEULIMEUM
KABUPATEN ACEH BESAR SEBAGAI
REFERENSI MATAKULIAH
EKOLOGI TUMBUHAN**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan (FTK)
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh
Sebagai Bebas Studi Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Dalam Ilmu Pendidikan Islam

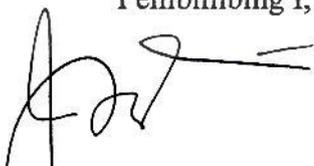
Oleh

NELLY ARFINA
NIM. 150207057

Mahasiswa Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
Program Studi Pendidikan Biologi

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,


Muslich Hidayat S. Si, M.Si
NIP. 197903022008011008

Pembimbing II


Khairun Nisa, M. Bio
NIP. 197406122005042001

**SIMPANAN KARBON PADA TANAH DI KAWASAN GEOTHERMAL IE
BROK SEULAWAH AGAM DESA MEURAH KECAMATAN
SEULIMEUM KABUPATEN ACEH BESAR
SEBAGAI REFERENSI MATAKULIAH
EKOLOGI TUMBUHAN**

SKRIPSI

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry dan Dinyatakan Lulus
serta Diterima sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Pendidikan Biologi

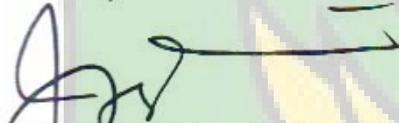
Pada Hari/Tanggal:

Selasa, 23 Juli 2020 M
14 Jumadil Awal 1441 H

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

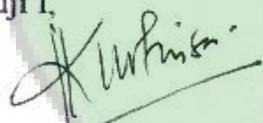
Sekretaris,

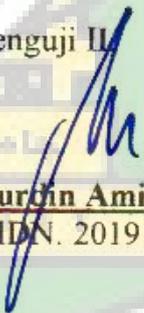

Muslich Hidayat, S. Si., M. Si
NIP. 197903022008011008


Fatemah Rosma, M. Pd
NIDN. 1317049001

Penguji I,

Penguji II,

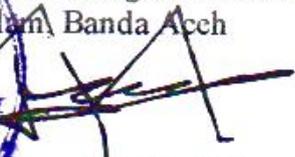

Khairun Nisa, S. Si., M. Bio
NIP. 197406122005042000


Nurhain Amin, M. Pd
NIDN. 2019118601



Mengetahui,

Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry
Darussalam, Banda Aceh


Razali, S.H, M.Ag

NIP. 19590309 198903 1 001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nelly Arfina
NIM : 150207057
Prodi : Pendidikan Biologi
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan
Judul Skripsi : Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkannya.
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain.
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya.
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi terhadap aturan yang berlaku di Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 29 Mei 2020
Yang Menyatakan,



Nelly Arfina
Nelly Arfina

ABSTRAK

Materi pembelajaran simpanan karbon pada Tanah di matakuliah Ekologi Tumbuhan mengalami kendala dalam proses pembelajaran dikarenakan kurangnya referensi pembelajaran sehingga mahasiswa tidak mendapat gambaran yang baik dan kurang memahami pembelajaran Ekologi Tumbuhan tersebut secara mendalam. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menambah informasi tentang simpanan karbon pada tanah daerah Geothermal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah simpanan karbon pada tanah yang berada di kawasan Geothermal, untuk mengetahui pemanfaatan hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal, dan untuk mengetahui uji kelayakan *output* dari hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal sebagai referensi matakuliah Ekologi Tumbuhan. Penelitian ini dilakukan di kawasan Ie Brok Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gabungan (*composite sampling*). Data jumlah simpanan karbon pada tanah dianalisis dengan menggunakan teknik analisis kuantitatif dan kualitatif. Hasil jumlah total (ton/ha) simpanan karbon tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam yaitu 3704,88 ton/ha. Hasil penelitian ini dibuat dalam bentuk *output* berupa modul pembelajaran Ekologi Tumbuhan.

Kata kunci: Simpanan Karbon, Kawasan Geothermal Ie Brok, Ekologi Tumbuhan

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan skripsi yang berjudul “*Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan*” dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat beriring salam penulis hantarkan kepada panutan umat, Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat yang telah membawa manusia dari zaman jahiliah ke zaman islamiyah.

Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Penulis ucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyelesaian skripsi ini, diantaranya kepada:

1. Bapak Muslich Hidayat, S. Si., M.Si, selaku pembimbing I dan sekaligus penasehat akademik yang telah memberi bimbingan, nasihat, dan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ibu Khairun Nisa, M. Bio. selaku pembimbing II yang telah membimbing, memberi nasehat, dan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Samsul Kamal, S.Pd., M.Pd., selaku Ketua Prodi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Bapak Mulyadi M,Pd selaku Sekretaris Prodi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
5. Kepala Desa dan masyarakat Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar yang sudah memberikan izin kepada peneliti untuk

melakukan penelitian di Ie Brok Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar.

6. Teman-teman seperjuangan Unit 02 PBL leting 2015, khususnya Nanda Khairani, Dahlia Wardani, Cut Putri Nahrisah, Melian Karlita, Nurul Huda, Fitriana, Sri Murni, Ulfah Ramadhanti dan kak Qisthi yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Teristimewa untuk kedua orang tua tercinta Alm. Arifin dan Jasniar yang selalu berdoa, memberi nasihat, dan mendukung penulis dari awal sampai terselesaikan skripsi ini dengan baik. Kepada yang terkasih kakak Ety Arfika dan Fakhrul Razi, abang Fajar Arif, dan adik Alam Arifiyanda yang selalu menyemangati. Teruntuk Rafif Althaf dan Rafa Afkar Alfatih yang selalu buat rindu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan demi penyempurnaan skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Akhirul kalam, kepada Allah jualah penulis berserah diri semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Aamiin.

Banda Aceh, 20 Juli 2020
Penulis,

Nelly Arfina

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN SIDANG	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian.....	8
D. Manfaat Penelitian.....	9
E. Definisi Operasional.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
A. Referensi Pembelajaran.....	12
B. Modul Pembelajaran.....	13
C. Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan.....	16
D. Biomassa.....	19
E. Produksi dan Produktivitas dalam Ekosistem.....	21
F. Siklus Karbon.....	24
G. Karbon.....	27
H. Daerah Geothermal.....	30
I. Kawasan Sumber Air Panas Ie Brok.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	35
A. Rancangan Penelitian.....	35
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	35
C. Populasi dan Sampel.....	36
D. Alat dan Bahan.....	36
E. Parameter Penelitian.....	38
F. Prosedur Penelitian.....	39
G. Teknik Analisis Data.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
A. Hasil Penelitian	47
1. Simpanan Karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar	47
2. Pemanfaatan Hasil Penelitian Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar	51
3. Kelayakan <i>Output</i> Hasil Penelitian sebagai Referensi Matakuliah Eklogi Tumbuhan.....	52
B. Pembahasan	
1. Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar	56
2. Pemanfaatann Hasil Penelitian Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar	63
3. Kelayakan <i>Output</i> Hasil Penelitian sebagai Referensi Matakuliah Eklogi Tumbuhan.....	65
BAB V PENUTUP	67
A. Kesimpulan	67
B. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Alat yang digunakan dan Fungsinya.....	37
3.2 Bahan yang digunakan dan Fungsinya.....	38
4.1 Hasil Pengamatan Simpanan Karbon Tanah.....	47
4.2 Hasil Pengamatan Faktor Fisik.....	49
4.3 Hasil Uji Kelayakan Modul Pembelajaran.....	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar

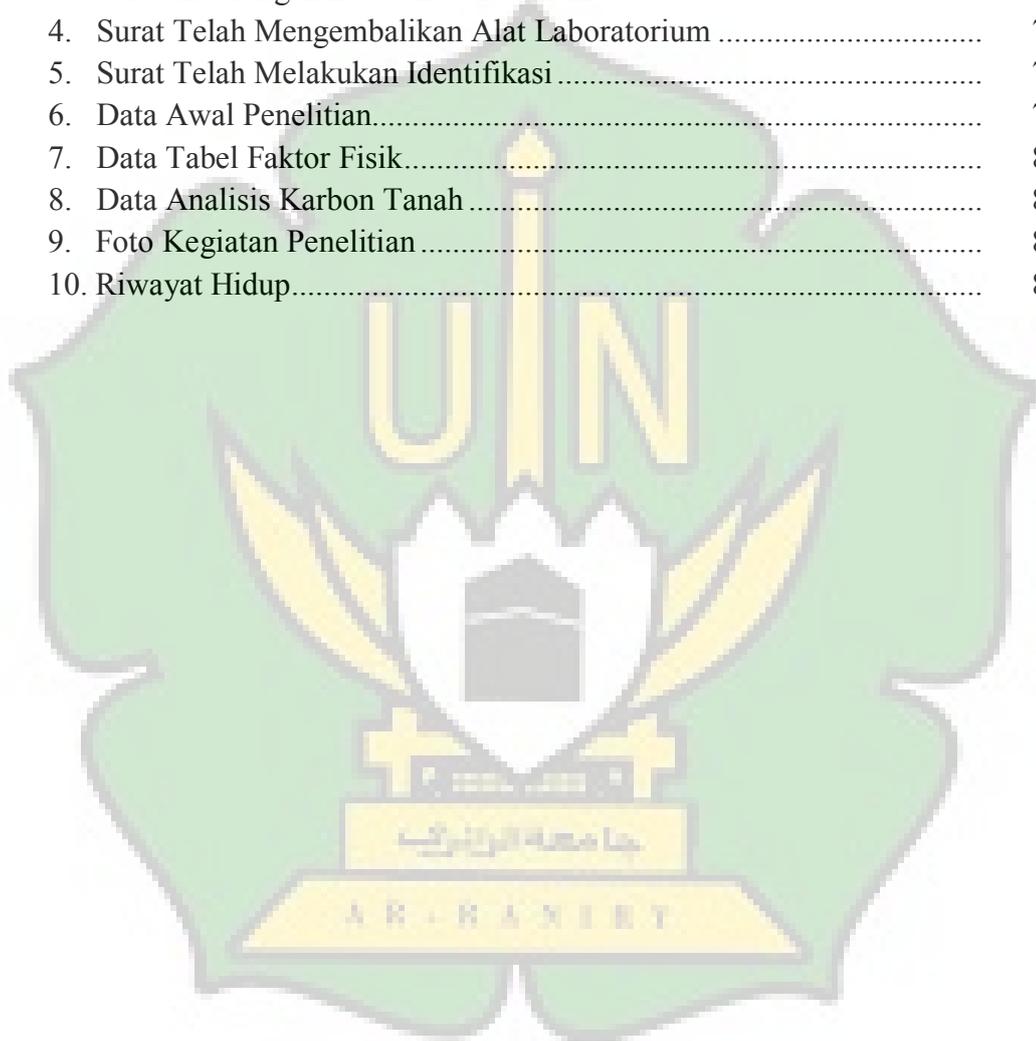
2.1 Siklus Karbon.....	24
3.1 Peta Lokasi Penelitian	36
4.1 Grafik Simpanan Karbon pada Tanah Berdasarkan Arah Mata Angin.....	48
4.3 Gambar Cover Modul Pembelajaran	52



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Surat Keputusan Pembimbing Skripsi	74
2. Surat Selesai Penelitian Dari keuchik Desa Meurah.....	75
3. Surat Keterangan Bebas Laboratorium	76
4. Surat Telah Mengembalikan Alat Laboratorium	77
5. Surat Telah Melakukan Identifikasi	78
6. Data Awal Penelitian.....	79
7. Data Tabel Faktor Fisik.....	81
8. Data Analisis Karbon Tanah.....	82
9. Foto Kegiatan Penelitian	83
10. Riwayat Hidup.....	85



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Karbon merupakan unsur yang mengalami daur dalam ekosistem. Dimulai dari karbon yang ada di atmosfer berpindah melalui tumbuhan hijau, konsumen, dan organisme pengurai, kemudian kembali ke atmosfer. Di atmosfer karbon terikat dalam bentuk senyawa karbon dioksida (CO₂).¹ Karbon dioksida (CO₂) merupakan gas dengan konsentrasi tertinggi ke lima di atmosfer yang mengalami peningkatan sebanyak 35% dalam 300 tahun terakhir. Peningkatan tersebut disebabkan karena aktivitas manusia dari pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan lainnya. Karbon dioksida secara alami juga mengalami siklus pertukaran melalui proses fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan.²

Adanya tumbuhan sebagai penyimpan karbon menyebabkan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer menurun.³ Melalui fotosintesis, karbon dioksida diserap dan diubah oleh tumbuhan menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses

¹Janzen , *Ekologi Terapan*, (Bandung : Swadaya, 2013), h. 399-417 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

² Novita Ambarsari dan Bambang S, Tedjasukmana, "Kajian Perkembangan Teknologi Sounding Untuk Mengukur Konsentrasi (CO₂) di Atmosfer", *Berita Dirgantara*, Vol. 12, No. 1, (2011), h. 28.

³Anwar, dkk, *Ekologi Ekosistem Sumatera*, (Yogyakarta: Gajah Mada Univesity Press, 2002), h. 12.

fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Kandungan karbon dalam biomassa yang tersimpan pada suatu biomassa dikenal dengan istilah *carbon storage* atau karbon tersimpan. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Karbon dapat tersimpan dalam kantong karbon dalam periode yang lama atau sebentar. Karbon tersimpan setidaknya dalam 4 kantong karbon. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan (pohon), karbon organik tanah, biomassa bawah permukaan, dan bahan organik mati. Dari keempat kantong tersebut hanya satu kantong karbon yang tersimpan di pohon, sedangkan yang lainnya tersimpan di dalam tanah.⁴

Tanah merupakan penampung karbon terbesar dalam siklus karbon di darat. Tanah merupakan gudang karbon organik yang sangat penting dalam periode jangka panjang pada ekosistem daratan, karena tanah mengakumulasi karbon (C) dalam jumlah lebih besar dari pada jumlah karbon (C) pada biomassa tanaman dan atmosfer.⁵ Jumlah karbon yang berada di tanah diperkirakan sebesar 1.100-1.600 miliar ton, dua kali lipat lebih banyak dari pada jumlah karbon yang disimpan dalam tumbuhan hidup (sekitar 560 miliar ton), dan juga jauh lebih

⁴ Muli Edwin, "Penilaian Stok Karbon Tanah Organik Pada Beberapa Tipe Penggunaan Lahan Di Kutai Timur, Kalimantan Timur", *Jurnal AGRIFOR*, Vol. XV, No. 2, (2019), h. 34.

⁵Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G., Zimov, S Soil Organic Carbon Pools In The Northern Circumpolar Permafrost Region, *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 23, No. 11, (2009), h. 112 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

banyak dari pada yang terdapat di atmosfer (750 miliar ton).⁶ Karbon yang terakumulasi di dalam tanah dipengaruhi oleh perubahan pada vegetasi dan pertumbuhannya, sisa biomassa melalui pemanenan, dan gangguan mekanis pada tanah.⁷ Hal ini sesuai dengan Firman Allah dalam surah Al-A'raf ayat 58 yang berbunyi:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًّا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

Artinya: “Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur” (Q.S Al-A'raf ayat 58).⁸

Ayat tersebut menjelaskan tentang bagaimana adanya perbedaan antara tanah yang subur dengan tanah yang tidak subur. Tanah yang baik yaitu tanah yang subur dan selalu dipelihara tanamannya akan tumbuh subur juga yaitu atas kehendak Allah yang ditetapkan-Nya melalui hukum-hukum alam. Tanah yang buruk, yaitu yang tidak subur maka Allah tidak memberinya potensi untuk menumbuhkan tanaman yang baik, karena itu tanaman-tanamannya akan banyak yang tumbuh merana. Demikianlah tanda kebesaran Allah bagi orang-orang yang mau bersyukur, yaitu yang mau menggunakan anugerah Allah sesuai dengan

⁶Team SOS. *Pemanasan Global Solusi Dan Peluang Bisnis*, (Jakarta: Gramedia Pusaka Utama, 2011), h. 147.

⁷Arifin Munandar, *Buku Panduan Penataan Taman Umum, Penanaman Tanaman, Penanganan Sampah dan Pemberdayaan Masyarakat*, (Jakarta: Sampoerna Hijau Kotaku Hijau, 2007), h. 74.

⁸Tafsir Al-Qur'an Al-A'liyy, *Al-Qur'an dan Terjemahnya*, (Bandung: Diponegoro, 2005), h. 326.

fungsi dan tujuannya.⁹ Pembahasan mengenai simpanan karbon pada tanah dapat dipelajari pada materi Produksi dan Produktivitas pada matakuliah Ekologi Tumbuhan.

Ekologi Tumbuhan merupakan matakuliah yang wajib diambil oleh mahasiswa Pendidikan Biologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh pada semester VI. Matakuliah Ekologi Tumbuhan mempunyai 4 bobot SKS dengan 3 SKS teori dan 1 SKS praktikum.¹⁰ Ekologi Tumbuhan bertujuan mempelajari tentang tumbuhan yang berinteraksi satu sama lain dengan habitat dan lingkungannya maupun dengan makhluk hidup lainnya. Salah satu materi yang dipelajari adalah Produksi dan Produktivitas. Sejauh ini proses pembelajaran pada materi Produksi dan Produktivitas sudah terlaksana dengan baik, akan tetapi materi Produksi dan Produktivitas pada tanah pada daerah Geothermal masih memerlukan referensi tambahan dalam proses pembelajaran, karena masih sedikitnya referensi yang dapat dijadikan sebagai bahan acuan bagi mahasiswa. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi bagi mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi khususnya mahasiswa yang mengambil matakuliah Ekologi Tumbuhan yang nantinya dapat dijadikan dalam bentuk modul pembelajaran untuk menunjang proses perkuliahan.

Berdasarkan hasil wawancara dengan mahasiswa leting 2015 yang telah mengambil matakuliah Ekologi Tumbuhan, didapati bahwa salah satu kendala dalam mata kuliah ini yaitu masih kurangnya referensi mengenai Produksi dan

⁹ Muhammad Quraish Shihab, *Tafsir Al-Misbah*, (Jakarta: Lentera Hati, 2002), h. 128.

¹⁰ Muhibbuthabry, *Panduan Akademik Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh*, (Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, 2015), h. 106.

Produktivitas khususnya simpanan karbon di daerah Geothermal. Referensi yang ada kebanyakan hanya didapati dari daerah luar Geothermal, sehingga mahasiswa tidak mendapat gambaran yang baik dan kurang memahami pembelajaran Ekologi Tumbuhan tersebut secara mendalam.¹¹

Selanjutnya berdasarkan hasil wawancara dengan dosen matakuliah Ekologi Tumbuhan diperoleh informasi bahwa dalam proses pembelajaran matakuliah Ekologi Tumbuhan pada materi Produksi dan Produktivitas submateri simpanan karbon pada tanah sudah dijelaskan tentang simpanan karbon namun tidak dibahas secara mendalam. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian tentang simpanan karbon pada tanah daerah Geothermal.¹² Simpanan karbon tanah yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah tanah di daerah Geothermal.

Panas bumi (Geothermal) merupakan sumber energi panas yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi. Sumber energi panas tersebut berasal dari pemanasan batuan dan air bersama unsur-unsur lain yang dikandung panas bumi yang tersimpan di dalam kerak bumi. Ciri atau tanda dari panas bumi dapat dilihat dari manifestasi geothermal. Manifestasi panas bumi merupakan suatu wilayah yang memiliki potensi panas bumi dapat diketahui dengan ditemukannya manifestasi permukaan. Manifestasi permukaan diantaranya adalah: mata air

¹¹ Hasil wawancara dengan mahasiswa leting 2015 pada tanggal 20 Januari 2019.

¹² Hasil wawancara dengan dosen pada tanggal 29 Januari 2019.

panas, uap panas, lumpur panas, dan tanah panas.¹³ Salah satu daerah Geothermal yang terdapat di Provinsi Aceh adalah daerah Ie Brok Seulawah Agam.

Ie Brok merupakan kawasan yang terdapat di pegunungan Seulawah Agam. Kawasan ini adalah satu kawasan panas bumi Seulawah yang dibuktikan oleh adanya mata air panas yang merupakan manifestasi dari panas bumi dengan posisi geografis 5°28'51" LU dan 95°43'53" BT. Kawasan Ie Brok Seulawah Agam memiliki ketinggian 1800 meter di atas permukaan laut dengan luas 16,16 ha, memiliki suhu udara minimum 19-21°C, dan maksimum 25-30°C, serta curah hujan berkisar 2.000-2.500 mm pertahun.¹⁴ Kawasan Ie Brok merupakan salah satu kawasan yang penting untuk diteliti tentang kandungan karbon pada tanah. Pada kawasan ini belum pernah ada penelitian untuk melihat simpanan karbon pada tanah.

Penelitian mengenai karbon tanah juga pernah dilakukan oleh Virni Budi Arifanti di Taman Nasional Gunung Halimun Salak, biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan (*belowground biomass*) di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang tinggi adalah lebih tinggi dibandingkan dengan yang didapatkan di hutan primer dengan kerapatan tajuk rendah. Biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan sebesar 77,695 ton/ha dan 39,022 ton C/ha.¹⁵

¹³Sella Arum Saputri, "Geologi dan Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Gunung Pandan dan Sekitarnya", *Jurnal Teknik Geologi ITATS*, Vol. 3, No. 1, (2014), h. 2-3.

¹⁴ Muhammad Raihansyah, Syukriyadin, *Studi Analisa Kapasitas Energi Listrik Panas Bumi Gunung Seulawah Agam Aceh*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Universitas Syiah Kuala Banda Aceh, (2011), hal. 2.

¹⁵ Virni Budi Arifanti, dkk, "Potensi Cadangan Karbon Tegakan Hutan Sub Montana di Taman Nasional Gunung Halimun Salak, *Jurnal TMGHS*, Vol. 3, No. 1, (2014), hal. 21-22.

Simpanan karbon tanah juga pernah diteliti oleh Muardimansyah S, Akbar di Hutan Lindung Kebun Kopi di Desa Nupabomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala seluas 1.591,1 ha. Dari luas tersebut diperoleh jumlah karbon tanah yang tersimpan di Hutan Lindung Kebun Kopi Desa Nupabomba adalah 103.047,26 ton. Pada daerah yang bertajuk jarang dengan luas daerah 196,7 ha terdapat cadangan karbon tanah 27,12 ton/ha dari jumlah karbon tanah mencapai 5.334,50 ton.¹⁶

Penelitian mengenai karbon tanah pernah dilakukan oleh Juliana di Kampus UIN Ar-Raniry diperoleh hasil simpanan karbon pada 9 lokasi/titik pengamatan sebanyak $1,36 \times 10^{-5}$ ton/ha, dan jumlah total %C organik ialah sebanyak 12,13. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa simpanan karbon pada beberapa lokasi/titik pengamatan di Kampus UIN Ar-Raniry Banda Aceh memiliki hasil yang bervariasi. Hasil simpanan karbon pada tanah dibuat dalam bentuk modul pembelajaran sebagai referensi matakuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan.¹⁷

Berdasarkan referensi dan penelitian yang telah dilakukan sangat sedikitnya referensi tentang karbon tanah tersimpan di kawasan Geothermal, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul **“Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Manifestasi Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan”**.

¹⁶ Muardimansyah S, Akhbar, Ida Arianingsih, “Cadangan Karbon Tanah pada Berbagai Tingkat Kerapatan Tajuk di Hutan Lindung Kebun Kopi Desa Nupabomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala”, *Jurnal Warta Rimba*, Vol. 4, No. 1, (2016), h. 130.

¹⁷ Juliana, Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017), h. 47-48.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa jumlah simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar?
2. Bagaimanakah pemanfaatan hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai referensi pada matakuliah Ekologi Tumbuhan?
3. Bagaimanakah uji kelayakan *output* dari hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Untuk mengetahui berapa jumlah simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar.
2. Untuk dapat dijadikan sebagai referensi yang disusun dalam bentuk modul pembelajaran pada matakuliah Ekologi Tumbuhan.
3. Untuk mengetahui tingkat kelayakan *output* dari hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini dapat digunakan sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis. Secara teoritis penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan menambah wawasan ilmu pengetahuan, serta dapat dijadikan sumber referensi mahasiswa Pendidikan Biologi dalam bentuk modul pembelajaran.

2. Manfaat praktis

Bagi mahasiswa, diharapkan dapat mengetahui simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi.

E. Definisi Operasional

1. Simpanan Karbon Tanah

Simpanan karbon tanah adalah karbon yang tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa seperti kayu, baik ketika masih berada di atas tanah maupun sudah berada di tempat penimbunan.¹⁸ Simpanan karbon yang dimaksud dalam penelitian ini adalah simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam.

¹⁸ Nur Marsipatin, dkk, *Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia* Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, (Bogor: Jaya Putra, 2010), h. 74.

2. Kawasan Geothermal

Geothermal adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, batuan bersama mineral dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi.¹⁹

Kawasan Geothermal dalam penelitian ini adalah di Ie Brok Desa Meurah Seulawah Agam yang merupakan mata air panas.

3. Referensi

Referensi merupakan suatu rujukan dalam membahas suatu disiplin ilmu yang sesuai dengan apa yang telah diterapkan atau dipelajari.²⁰ Hasil dari penelitian ini akan dibuat modul pembelajaran sebagai referensi matakuliah Ekologi Tumbuhan.

4. Ekologi Tumbuhan

Ekologi Tumbuhan merupakan mata kuliah yang wajib diambil oleh mahasiswa Pendidikan Biologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh pada semester VI. Mata kuliah Ekologi Tumbuhan mempunyai 4 bobot SKS dengan 3 SKS teori dan 1 SKS praktikum.²¹

5. Uji Kelayakan

Uji kelayakan merupakan cara untuk mendapatkan data awal kualitas bahan ajar oleh ahli yang dapat memberikan penilaian terhadap kelayakan secara struktur dan komponen produk modul pembelajaran. Uji kelayakan dalam penelitian ini adalah uji kelayakan modul pembelajaran dari hasil

¹⁹Sella Arum Saputri, *Geologi dan Identifikasi....*, h. 2-3.

²⁰Poerwadarmita, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, (Jakarta : Balai Pustaka, 2000), h. 21.

²¹ Muhibbuthabry, *Panduan Akademik Universitas....*, h. 106.

penelitian. Aspek-aspek yang diuji meliputi komponen kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan kegrafikan dan pengembangan.²²



²² Yosi Wulandari, dkk, “Kelayakan Aspek Materi dan Media dalam Pengembangan Buku Ajar Sastra Lama”, *Jurnal Gramatika*, Vol. 3, No. 2, (2017), h. 162-172.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Referensi Pembelajaran

Istilah referensi berasal dari bahasa Inggris *to refer* yang artinya menunjuk. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah sumber, acuan, rujukan atau petunjuk.²³ Referensi merupakan buku yang berisi informasi yang pada umumnya disajikan secara sistematis, dan diperuntukkan bagi pembaca yang membutuhkan berbagai macam informasi tambahan. Buku referensi dapat memberikan keterangan mengenai topik perkataan, tempat, peristiwa, data statistik, pedoman, alamat, nama orang, dan riwayat orang-orang terkenal.²⁴

Bahan-bahan referensi dapat menjadi sumber bagi suatu hal yang faktanya sudah tersusun secara baku. Bahan-bahan referensi tersebut dapat berupa biografi, buku pegangan, atlas, indeks (disertasi, tesis, artikel ilmiah), ensiklopedia, kamus, statisik, abstrak. Bahan-bahan referensi tersebut sangat dibutuhkan oleh setiap orang yang ingin mencari bahan untuk kepentingannya pribadi maupun kepentingan orang lain.²⁵ Posisi buku referensi dalam kegiatan pembelajaran lebih digunakan sebagai rujukan

²³ Nining Nugrahaini, *Layanan Referensi dan Promosi Koleksi Referensi*, (Malang: UPT Perpustakaan Universitas Negeri Malang, 2013), h. 2.

²⁴ Surya Mansur, dkk, *Mengenal Bahan Pustaka*,... h. 11.

²⁵ Azhar Arsyad, *Media Pembelajaran*, (Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 2014), h. 99.

untuk membenarkan sebuah argumen, menggali pengertian baru, membandingkan sebuah konsep, dan sumber rujukan dalam penyusunan buku ajar.²⁶ Referensi pembelajaran dapat dibuat dalam bentuk *output* modul pembelajaran.

B. Modul Pembelajaran

Modul merupakan suatu media pembelajaran yang bisa digunakan sebagai alat bantu untuk menyampaikan informasi yang berada di dalam proses pembelajaran. Guna mempermudah dan memperlancar mahasiswa dalam proses pembelajaran maka format-format dalam pembuatan modul meliputi:

- a. Penentuan judul. Modul pembelajaran terlebih dahulu harus menentukan materi pembelajaran yang akan dipelajari.
- b. Daftar isi. Daftar isi adalah urutan judul pada tiap bab beserta halaman yang terdapat pada sebuah buku atau penulisan. Fungsi daftar isi sendiri yaitu untuk memudahkan mencari judul penulisan secara cepat tanpa harus mencari satu persatu.
- c. Pokok pembahasan, seperti: pengantar, silabus pembelajaran: hal ini untuk mengetahui materi apa saja yang akan dipelajari, tujuan pembelajaran yaitu untuk mengetahui pencapaian tujuan pembelajaran setelah usaimateri yang dibahas, kegiatan belajar, dan daftar pustaka.

²⁶ An Nuur Budi Utama, *Cara Praktis Menulis Buku*, (Yogyakarta: Penerbit Deepublish, 2014), h. 8 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017), h. 13.

Modul merupakan bahan ajar yang dicetak dan dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta didik. Contoh modul: modul matakuliah, modul mata pelatihan, modul mata pelajaran, dan modul satuan pelajaran. Modul matakuliah merupakan modul yang dikembangkan untuk mencapai kompetensi yang dituangkan dalam satu semester di perguruan tinggi.²⁷ Modul mata pelatihan dikembangkan untuk memenuhi tujuan pelatihan yang dituangkan dalam waktu hitungan jam pelatihan yang dilakukan. Modul mata pelajaran dikembangkan untuk mencapai kompetensi dalam suatu mata pelajaran pada hitungan satu atau dua semester untuk satu jenjang kelas. Sedangkan modul satuan pelajaran merupakan bagian dari modul mata pelajaran yang terkait.²⁸

Modul disajikan secara tertulis dengan sedemikian rupa sehingga mahasiswa dapat menyerap sendiri materi tersebut sehingga mahasiswa dapat belajar secara mandiri. Modul ditulis lebih rinci dibandingkan buku ajar. Isi modul harus sesuai dengan matakuliah pada ranah dan jenjang yang telah ditetapkan dalam analisis kebutuhan pembelajaran yang dilakukan.²⁹ Modul memiliki ciri-ciri umum antara lain: menggunakan bahasa yang sederhana, berisi pengetahuan sesuai dengan

²⁷ Surya Dharma, *Penulisan Modul*, (Jakarta: Direktorat Tenaga Kependidikan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan Departemen Pendidikan Nasional, 2008), h. 3.

²⁸ Ika Kurniawati, *Modul Pelatihan Pengembangan Bahan Belajar*, (Jakarta: KEMDIKBUD Pusat Teknologi Informasi dan Komunikasi Pendidikan, 2016), h. 9.

²⁹ LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar, Buku Ajar, Modul, dan Panduan Praktik*, (Makassar: Erlangga, 2015), h. 8.

matakuliah atau pelajaran tertentu mengacu pada sasaran pembelajaran, dan menggunakan format yang digunakan seperti dalam buku ajar.³⁰

Modul biasanya ditulis pada kertas yang dipakai berwarna dasar putih dengan ukuran berupa 21,5x16,5 cm (kertas folio F4 dibagi dua) atau boleh juga berukuran A4 (29,7x21 cm). Batas sembir (margin) sesuai dengan ukuran kertas. Margin yang digunakan untuk kertas berukuran 21,5x16,5 cm, margin atas, kiri, kanan, bawah masing masing 2 cm, 2,5 cm, 2 cm, 2 cm. Untuk kertas A4 margin atas, kiri, kanan, bawah masing-masing 2,5 cm, 3 cm, 2 cm, 2,5 cm, dan halaman buku ditulis satu kolom.³¹

Ukuran huruf yang digunakan untuk kertas berukuran 21,5x16,5 ialah huruf berukuran 10 atau 11 dengan spasi antar baris 1 atau 1,15 sedangkan untuk kertas A4 digunakan huruf berukuran 11 atau 12 dengan spasi antara baris 1,5. Khusus untuk judul bab digunakan ukuran huruf 15 atau 16 dan subbab digunakan ukuran huruf 13 atau 14. Jenis huruf yang dapat digunakan berupa Times New Roman, Calibri, Ariel, atau jenis huruf lain yang tidak menyulitkan pembacaannya, dan lazim digunakan dalam penulisan buku teks.³² Modul bisa digunakan pada berbagai matakuliah salah satunya Ekologi Tumbuhan.

³⁰ LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar...*, h. 8.

³¹ LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar...*, h. 8

³² LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar...*, h. 8.

C. Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan

Ekologi tumbuhan sebagai salah satu cabang ilmu ekologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari secara spesifik interaksi tumbuhan dengan lingkungan hidupnya, yang berhubungan dengan berbagai proses dan fenomena alam. Misalnya, bagaimana tumbuhan untuk hidupnya memerlukan sinar matahari, air, oksigen, tanah atau lahan sebagai tempat tumbuh atau habitatnya. Bagaimana peranan energi dan nutrisi untuk proses metabolisme tubuh, tumbuhan dalam ekosistem sebagai komponen produsen menjadi sumber pakan dan sumber energi untuk makhluk hidup lainnya yang diperoleh melalui rangkaian rantai dan jaring-jaring makanan, dan proses dekomposisi oleh mikrobiota.³³

Ruang lingkup ekologi tumbuhan juga menjelaskan perkembangan kehidupan tumbuhan melalui masa reproduksi, perkecambahan, pertumbuhan dan masa dewasa, tua dan mati. Kelompok atau komunitas tumbuhan tertentu hilang atau musnah, kemudian akan muncul, tumbuh dan berkembang kembali melalui serangkaian proses suksesi. Proses kehidupan akan berlangsung terus menerus secara berkesinambungan mengikuti hukum alam.³⁴

Satuan dasar ekologi yang menjadi dasar penelaahan tentang interaksi tumbuhan dengan berbagai faktor dalam lingkungannya adalah kajian tentang sistem ekologi atau ekosistem. Berdasarkan struktur ekosistem, terdapat tiga hal yang menjadi kunci

³³ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan*, (Jakarta: Erlangga, 2015), h. 1.

³⁴ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 1.

penelaahan ekologi, yaitu individu (jenis atau spesies), populasi, dan komunitas tumbuhan. Tumbuhan sebagai satu kesatuan makhluk hidup secara individual merupakan suatu tingkatan taksonomis yang disebut jenis atau spesies. Spesies tumbuhan dapat didefinisikan sebagai organisme yang dapat melakukan perkawinan atau persilangan dengan tumbuhan sesamanya yang dapat menghasilkan turunan yang fertile. Secara genetis individu tumbuhan satu persatu merupakan suatu wujud makhluk hidup yang seragam bersama-sama dengan lingkungannya, individu-individu tumbuhan tersebut membentuk satuan ekologi.³⁵

Penelaahan mengenai ekologi individu pada dasarnya berhubungan erat dengan hal-hal bagaimana tumbuhan berinteraksi dengan makhluk lain, lingkungan makro dan lingkungan mikro di sekitarnya, yang secara individual akan menyesuaikan diri terhadap pengaruh berbagai faktor lingkungannya. Penelaahan tentang ekologi individu akan menghasilkan informasi yang berguna untuk menyusun atau mengungkapkan gambaran yang lengkap tentang kumpulan dari suatu jenis atau spesies tumbuhan yang sama yang dinamakan populasi tumbuhan.³⁶

Suatu ekosistem individu, populasi, dan komunitas tumbuhan cenderung tidak pernah sepenuhnya dalam keadaan mantap, tetapi terdapat dalam keseimbangan yang mudah goyah. Melalui berbagai kaidah ekologi yang berlangsung secara terus menerus maka berbagai proses, seperti proses interaksi, toleransi, adaptasi, fisiologi,

³⁵ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 4.

³⁶ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 6.

asosiasi, dan suksesi, akan terbentuk keseimbangan dinamis atau homeostatis untuk skala waktu tertentu.³⁷

Dalam ekologi tumbuhan konsep dasar ekologi yang penting dipelajari, antara lain adalah :

1. Mempelajari konsep ekosistem, komunitas dan populasi.
2. Mempelajari pengaruh faktor lingkungan terhadap tumbuhan dan peranan faktor lingkungan sebagai faktor pembatas.
3. Mempelajari struktur dan komposisi vegetasi suatu ekosistem atau habitat.
4. Mempelajari alir energi dan daur biogeokimia melalui metabolisme, siklus hara mineral, dan siklus air.
5. Mempelajari hubungan tempat tumbuh dengan :
 - a. Komposisi dan struktur vegetasi.
 - b. Penyebaran jenis-jenis tumbuhan.
 - c. Fenologi tumbuhan (musim berbunga atau berbuah)
 - d. Interaksi dengan makhluk hidup lainnya.
6. Mempelajari hubungan antara kesuburan tanah, iklim, dan faktor lain dengan produktivitas tumbuhan.
7. Mempelajari proses klimaks dan suksesi tumbuhan.
8. Mempelajari adaptasi tumbuhan.

³⁷ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 8.

9. Mempelajari sebaran tumbuhan (fitogeografi).³⁸ Salah satu materi yang dipelajari pada mata kuliah Ekologi Tumbuhan ialah Produksi dan Produktivitas pada submateri Biomassa.

D. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan dari melalui fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas.³⁹ Biomassa dapat dibedakan ke dalam dua jenis yaitu biomassa tumbuhan di atas permukaan tanah (*aboveground biomass*) dan biomassa di bawah permukaan tanah (*belowground biomass*). Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun dari vegetasi baik strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan. Biomassa bawah permukaan adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab

³⁸ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 8.

³⁹ Wirakusumah, S, *Dasar-Dasar Ekologi*, (Jakarta: UI Press, 2013), h. 65.

akar tumbuhan dengan diameter yang lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah.⁴⁰

Biomassa tumbuhan bertambah karena tumbuhan menyerap karbon dioksida dari udara dan mengubah zat tersebut menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis. Laju pengikatan biomassa disebut produktivitas primer bruto. Laju peningkatan biomassa bergantung pada luas daun yang terkena sinar matahari. Sisa dari hasil respirasi yang dilakukan tumbuhan disebut produktivitas primer bersih.⁴¹

Biomassa tegakan pohon memiliki proporsi terbesar penyimpanan karbon di daratan umumnya terdapat pada komponen pepohonan. Jumlah karbon dalam tegakan pohon dipengaruhi oleh proses fotosintesis dan respirasi dari tegakan pohon yang akan mempengaruhi jumlah karbon dioksida bebas di atmosfer. Hubungan timbal balik ini merupakan proses peningkatan dan pelepasan karbon bebas di atmosfer menjadi karbon terikat pada tegakan pohon. Tegakan pohon menggunakan energi cahaya matahari untuk memecah molekul air dan menggabungkannya dengan karbon dioksida untuk dijadikan karbohidrat.⁴²

Biomassa akar mentransfer karbon dalam jumlah besar langsung ke dalam tanah, dan keberadaannya dalam tanah bisa cukup lama. Pada tanah hutan biomassa akar

⁴⁰Sutaryo, D, *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*, (Jakarta: Wetlands International Indonesia Program, 2009), h. 42.

⁴¹ Anwar, dkk, *Ekosistem Sumatera*, (Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2004), h. 45.

⁴² Muhdi, *Model Simulasi Kandungan Karbon Akibat Penanaman Kayu di Hutan Alam Tropika*, (Medan : Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, 2008), h. 78.

lebih didominasi oleh akar-akar besar (diameter >2 mm), sedangkan pada tanah pertanian lebih didominasi oleh akar-akar halus dari tumbuhan yang lebih pendek daur hidupnya.⁴³ Pengambilan data biomassa akar merupakan bagian yang sulit dan tidak memiliki keakuratan sebaik yang dimiliki komponen vegetasi lainnya. penggalan seluruh bagian akar hampir mustahil untuk dilakukan, demikian juga pemilahan akar-akar yang halus secara individu tanpa tercampur dengan akar dari pohon lain yang ada di sekitarnya. Karena sulit untuk mengambil sampel pendekatan yang kerap dipakai adalah dengan menggunakan rasio akar dan batang.⁴⁴ Materi yang terkait dengan sub bab Biomassa ialah Produksi dan Produktivitas.

E. Produksi dan Produktivitas dalam Ekosistem

Produksi adalah sesuatu yang dihasilkan oleh tumbuhan dalam suatu ekosistem sedangkan produktivitas adalah laju kecepatan penyimpanan energi oleh makhluk hidup yang berperan sebagai produsen, melalui proses fotosintesis dan kemosintesis dalam bentuk materi organik yang dapat digunakan sebagai bahan pangan atau sumber energi. Fotosintesis adalah salah satu cara tumbuhan untuk menghasilkan makanan dan energi. Fotosintesis adalah pembuatan makanan oleh tumbuhan hijau melalui suatu proses biokimia pada klorofil dengan bantuan sinar matahari. Karena

⁴³ Hairiah, *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*, (Bogor: World Agroforestry Centre, 2007), h. 34.

⁴⁴ Hairiah, *Pengukuran Karbon Tersimpan....*, h. 35.

kemampuannya membuat makanan sendiri, tumbuhan hijau dikenal sebagai organisme autotrof.⁴⁵

Produktivitas dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu:

1. Produktivitas primer adalah pengubahan energi cahaya oleh produsen atau autotrof. Produktivitas primer merupakan laju penambahan energi yang dilakukan oleh produsen. Produktivitas primer dibedakan atas produktivitas primer kasar (bruto) yang merupakan hasil asimilasi total, dan produktivitas primer bersih (neto) yang merupakan penyimpanan energi di dalam jaringan tubuh tumbuhan. Produktivitas primer bersih ini juga adalah produktivitas kasar dikurangi dengan energi yang digunakan untuk respirasi.
2. Produktivitas sekunder adalah penggunaan energi pada hewan dan mikroba (heterotrof). Produktivitas sekunder merupakan laju penambahan energi yang dilakukan oleh konsumen. Pada produktivitas sekunder ini tidak dibedakan atas produktivitas kasar dan bersih. Produktivitas sekunder pada dasarnya adalah asimilasi pada aras atau tingkatan konsumen.⁴⁶

Produktivitas hutan merupakan salah satu gambaran hutan dalam mengurangi emisi CO₂ di atmosfer melalui fisiologinya.⁴⁷ Reaksi fotosintesis dapat terjadi pada semua tumbuhan yang mengandung pigmen klorofil, dan dengan adanya bantuan

⁴⁵ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 27.

⁴⁶ Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan....*, h. 42.

⁴⁷ Dewi Wahyuni, *Serapan Karbon Hutan Mangrove Gorontalo*, (Yogyakarta: Deepublish, 2012), h. 12.

cahaya matahari. Cahaya matahari merupakan sumber dari segala energi yang menggerakkan seluruh fungsi ekosistem yang ada di bumi.⁴⁸ Produksi serasah merupakan bagian yang penting dalam transfer bahan organik dari vegetasi ke dalam tanah.⁴⁹

Produsen utama dalam suatu ekosistem adalah tanaman bervaskuler yaitu tanaman berpembuluh yang menggunakan energi cahaya matahari serta karbon CO₂ dalam proses fotosintesis.⁵⁰ Fotosintesis merupakan suatu proses metabolisme yang terjadi pada tanaman untuk membentuk karbohidrat dengan menggunakan karbon dioksida (CO₂) dari udara dan air yang berasal dari dalam tanah dengan adanya bantuan matahari dan klorofil. Proses fotosintesis berlangsung dalam kloroplast yang di dalamnya terdapat klorofil.⁵¹ Proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan yang memiliki klorofil tersebut akan menghasilkan C₆H₁₂O₆ yang terjadi di dalam siklus karbon.

⁴⁸ Anugerah Nontji, *Plankton Laut*, (Jakarta: LIPI Press, 2008), h. 17.

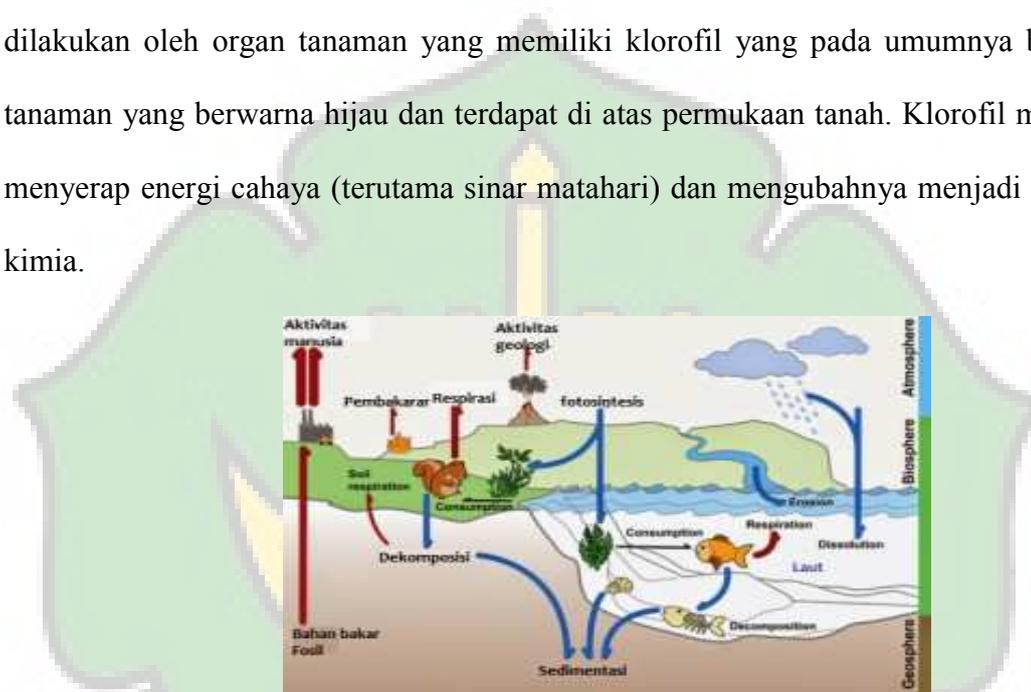
⁴⁹ Yuliadi Zamroni, "Produksi serasah Hutan Magrove di Perairan Pantai Teluk Sepi, Lombok Barat", *Jurnal Biodiversitas*, Vol. 9, No. 4, (2008), h. 284.

⁵⁰ Kemas Ali Hanafiah, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, (Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 2005), h. 190.

⁵¹ Hasan Basri Jumin, *Dasar-Dasar Agronomi*, (Jakarta: PT Raja Grafindo, 2005), h. 51.

F. Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia di mana karbon dipertukarkan antara biosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer Bumi. Unsur karbon berupa CO_2 yang berasal dari udara bebas (atmosfer) akan diserap oleh tumbuhan. Proses tersebut dilakukan oleh organ tanaman yang memiliki klorofil yang pada umumnya bagian tanaman yang berwarna hijau dan terdapat di atas permukaan tanah. Klorofil mampu menyerap energi cahaya (terutama sinar matahari) dan mengubahnya menjadi energi kimia.



Gambar 2.1. Siklus Karbon

Proses pertukaran karbon ke atmosfer dapat terjadi dengan beberapa cara yaitu:

1. Pengikatan karbon dari atmosfer
 - a. Melalui tumbuhan yang melakukan fotosintesis untuk mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat dan melepaskan oksigen ke atmosfer.
 - b. Melalui proses sirkulasi termohalin di dalam lautan, CO_2 yang larut di dalam air laut akan terbawa dalam massa air di permukaan yang lebih berat ke bagian dalam laut.

- c. Melalui Daerah yang memiliki produktivitas tinggi, organisme akan membentuk jaringan yang mengandung karbon dan akan membentuk cangkang karbonat dan bagian tubuh lainnya yang keras.
- d. Melalui pelapukan batuan karbonat yang tidak memiliki efek netto terhadap CO_2 atmosferik karena ion bikarbonat yang terbentuk terbawa ke laut dan dipakai untuk membuat karbonat laut dengan reaksi sebaliknya.

2. Pengembalian kembali karbon ke atmosfer

- a. Melalui proses respirasi (pernafasan) pada tumbuhan dan hewan. Proses respirasi akan menghasilkan karbon dioksida yang akan di keluarkan dari tubuh dan penguraian glukosa dan molekul organik lainnya.
- b. Melalui pembusukan hewan dan tumbuhan seperti fungi (jamur) dan bakteri yang akan mengurai senyawa karbon pada hewan dan tumbuhan yang sudah mati dan akan menjadi karbon dioksida apabila tersedia oksigen dan akan menjadi metana jika tidak tersedia oksigen.
- c. Melalui pembakaran material organik (seperti asap) yang mengoksidasi karbon yang terkandung menghasilkan karbon dioksida. Pembakaran bahan fosil seperti baru bara, produk dari industri perminyakan, dan gas alam yang akan melepas karbon yang sudah tersimpan selama jutaan tahun di dalam geosfer.
- d. Melalui produksi semen yaitu memanaskan batu kapur atau batu gamping yang menghasilkan karbon dioksida dalam jumlah banyak.

- e. Melalui ledakan gunung berapi yang melepaskan gas ke atmosfer. Gas-gas tersebut meliputi uap air, karbon dioksida, dan belerang. Karbon dioksida yang dilepas jumlahnya tidak jauh berbeda dengan jumlah karbon dioksida yang hilang dari atmosfer akibat pelapukan silikat.⁵²

Siklus biogeokimia karbon mencakup pertukaran/perpindahan karbon diantara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer bumi sedangkan respirasi organisme akan mengembalikan CO₂ ke atmosfer.⁵³ Meningkatnya kandungan CO₂ di udara menyebabkan panas yang dilepaskan akan diserap oleh CO₂ dan dipancarkan kembali ke permukaan bumi, sehingga proses tersebut akan memanaskan bumi. Aliran karbon dari atmosfer ke vegetasi merupakan aliran yang bersifat dua arah, yaitu pengikatan CO₂ ke dalam biomassa melalui fotosintesis dan pelepasan CO₂ ke atmosfer melalui proses dekomposisi dan pembakaran. Melalui fotosintesis, CO₂ diserap dan diubah oleh tumbuhan menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa.⁵⁴ Karbon dioksida dapat disimpan melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan sehingga menghasilkan karbohidrat yang disimpan di jaringan tumbuhan dan oksigen. Secara kimia proses fotosintesis ialah sebagai berikut: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{foton} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 +$

⁵² Nasir Hadi, *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan*..., h. 43.

⁵³ Campbell, dkk, *Biologi*. (Jakarta: Erlangga, 2004), h. 27 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

⁵⁴ Windusari, dkk, "Dugaan Cadangan Karbon Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah di Kawasan Suksesi Alami pada Area Pengendapan Tailing PT Freeport Indonesia", *Jurnal Biospecies*, Vol. 5, No. 1, h. 22-28, (2012).

6O₂.⁵⁵ Karbon yang diserap oleh tumbuhan akan tersimpan di dalam tanah yang disebut dengan karbon tanah.

G. Karbon Tanah

Karbon tanah adalah karbon yang tersimpan di dalam tanah yang diserap oleh tumbuhan pada saat proses fotosintesis. Jumlah karbon di dalam tanah selain dipengaruhi oleh jumlah karbon yang ada dalam tegakan juga dipengaruhi oleh jumlah karbon dalam serasah. Proses respirasi tanah yang dipengaruhi oleh suhu akan melepas karbon terkait menjadi karbon dioksida ke atmosfer. Sebagian besar karbon bumi atau sebanyak 75% di lapisan satu meter dari permukaan tanah.⁵⁶

Penentuan karbon bahan organik tanah dilakukan dengan dua macam sampling yakni sampling tanah terganggu untuk mendapatkan nilai karbon organik dan sampling tanah tidak terganggu untuk mendapatkan nilai bobot isi. Sampling tanah terganggu dilakukan dengan mengambil tanah dari kedalaman tertentu sedangkan sampling tanah tidak terganggu dilakukan dengan menggunakan cincin pencuplik (*core sampler*) agar tidak merubah porositas tanah sehingga dapat diketahui tekstur dan porositas tanah.⁵⁷

⁵⁵Windusari, dkk, "Dugaan Cadangan Karbon....", h. 22-29.

⁵⁶ Muhdi, *Model Simulasi Kandungan....*, h. 82.

⁵⁷Nurmi, *Peningkatan (sequestrasi) Karbon Melalui Pengolahan Konservasi dan Pengelolaan Residu Tanaman*, (Bogor : Sekolah Pasca Sarjana IPB, 2005), h. 64.

Jumlah karbon tersimpan pada berbagai tipe lahan berbeda-beda. Tergantung pada keragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanah serta cara pengelolaannya. Sistem perakaran yang luas dan besar dapat memperbaiki kondisi fisik tanah, sehingga dapat meningkatkan kualitas tanah dan memperbesar kapasitas tanah dalam menyerap karbon.⁵⁸ Bobot isi tanah menunjukkan perbandingan antara massa tanah pada keadaan kering konstan dengan volumenya. Tanah dengan bobot isi yang rendah menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki partikel tanah yang kurang padat yang kemungkinan disebabkan banyaknya fragmen berukuran besar seperti batu-batuan yang terdapat pada tanah tersebut. Adanya fragmen batu-batuan pada tanah menurunkan kapasitas tanah dalam menyerap dan menyimpan karbon.⁵⁹

Tanah memiliki karakteristik atau sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Karakteristik tanah dapat dijadikan parameter kesuburan tanah dan pertumbuhan vegetasi. Semakin besar kesuburan tanah maka semakin besar pertumbuhan vegetasi sehingga diduga akan semakin besar karbon yang akan tersimpan pada tegakan maupun tumbuhan bawah atau serasah.⁶⁰ Selain kesuburan tanah, iklim (suhu, curah,

⁵⁸ Bardgett, Markewich, *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*, (Oxford: Oxford University Press, 2005), h. 77 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

⁵⁹ Carter dan Gregorich, *Soil Sampling and Method of Analysis*, (Florida: Second Edition, Canadian Society of Soil Science, 2008), h. 89 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

⁶⁰ Omo Rusdiana dan Rinal Syahputra Lubis, "Pendugaan Korelasi antara Karakteristik Tanah terhadap Cadangan Karbon (*Carbon Stock*) pada Hutan Sekunder", *Jurnal Silvicultural Tropika*, Vol. 03, No. 01, (2012), h. 14.

hujan, sinar matahari) dapat mempengaruhi jumlah sekuestrasi SOC (*soil organic carbon*) yang dapat dicapai dengan mengatur produksi tanaman. Laju dekomposisi meningkat dengan suhu, tetapi menurun dengan kondisi yang semakin anaerob. Bahan organik juga mengurai lebih cepat ketika kadar oksigen tanah lebih tinggi dan jauh lebih lambat pada tanah yang jenuh. Bahan organik mengurai lebih cepat pada iklim yang panas dan lembab akan lebih lambat pada iklim yang dingin dan kering. Jika kondisi air tersedia suhu yang lebih tinggi menyebabkan penguraian bahan organik lebih cepat, simpanan karbon pada tipe/fraksi karbon lambat dan pasif lebih rendah, dan kehilangan melalui respirasi lebih besar. Dengan demikian, pada iklim panas, tanah umumnya mengandung SOC (*soil organic carbon*) lebih rendah daripada iklim dingin.⁶¹

Curah hujan merupakan faktor iklim yang mempunyai pengaruh besar pada produktivitas tanaman dan pasokan karbon organik ke dalam tanah. Pada wilayah curah hujan tinggi, tanah cenderung mempunyai simpanan karbon organik yang dapat dihasilkan lebih besar daripada tipe tanah yang sama pada wilayah curah hujan rendah oleh karena pertumbuhan tanaman yang lebih tinggi.⁶² Karbon tanah yang diteliti dalam penelitian ini adalah karbon tanah yang terdapat di daerah Geothermal.

⁶¹ Harris Herman Siringoringo, "Peranan Penting Pengelolaan Penyerapan Karbon dalam Tanah", *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, Vol. 11, No. 2, , (2014), h. 185-186.

⁶² Harris Herman Siringoringo, "Peranan Penting Pengelolaan,... h. 185-186.

H. Daerah Geothermal

Geothermal atau energi panas bumi merupakan energi panas yang berasal dari dalam bumi. Berdasarkan UU No. 21 Tahun 2014 tentang panas bumi, panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi.⁶³ Wilayah Indonesia umumnya didominasi oleh sistem panasbumi hidrotermal bertemperatur tinggi ($>225^{\circ}\text{C}$) dan sebagian diantaranya mempunyai bertemperatur sedang ($150\text{-}225^{\circ}\text{C}$). Reservoir yang berisi air panas atau *steam* pada sistem hidrotermal relatif dangkal yaitu kurang dari 4 km. Transfer panas pada sistem panasbumi hidrothermal terjadi secara konduksi (melalui batuan) dan secara konveksi (melalui kontak air dengan sumber panas).⁶⁴ Manifestasi panas bumi sebagai penanda adanya prospek panas bumi di kedalaman terbentuk ketika fluida panas bumi memperoleh jalan untuk mencapai permukaan. Jenis-jenis manifestasi panas bumi antara lain:⁶⁵

1. Mata air panas

Mata air panas adalah mata air yang dihasilkan akibat keluarnya air tanah dari kerak bumi setelah dipanaskan secara geothermal. Air yang keluar

⁶³Sella Arum Saputri, "Geologi dan Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Gunung Pandan dan Sekitarnya", *Jurnal Teknik Geologi ITATS*, vol. 3, no. 1, (2014), h. 2-3.

⁶⁴Whandoyo, dkk, *Geologic map of the Banda Aceh Quadrangle, Sumatera. Scale 1:250,000*, (Bandung : Geological Research & Development Centre, Direktorat Geologi, 2001), h. 57.

⁶⁵Estrella Belija Muaja, *Geothermal B*, (Bandung : Swadaya, 2013), h. 12.

suhunya di atas 37°C atau bahkan ada yang suhunya hingga di atas titik didih. Air panas lebih dapat mengencerkan padatan mineral, sehingga banyak mengandung kalsium, litium, atau radium. Memiliki pH 6-7, biasanya temperature >75°C, dan terdapat silica sinter dan mineral fluida seperti gelana, pirit, dan lain-lain.

2. Solfatara

Solfatara merupakan uap air (*steam*) yang keluar melalui rekahan batuan yang bercampur dengan H₂S, CO₂ dan kadang SO₂ serta dapat mengendapkan sulfur di sekitar rekahan tempat keluarnya (dijumpai endapan mineral berupa belerang dan mineral ubahan yaitu lempung).

3. Sinter silica

Sinter silica merupakan Silica (SiO₂) yang dibawa oleh fluida panas netral mengendap di sekitar mata air. Sinter memiliki berbagai struktur seperti dribbling, berpori, dan layering, juga sering membentuk sebuah teras besar. Berasal dari fluida hydrothermal bersusunan alkalin dengan kandungan cukup silica diendapkan ketika fluida yang jenuh silika amorf mengalami pendinginan dari 100°C ke 50°C.

4. Travertin

Travertin jenis karbonat yang diendapkan di dekat atau permukaan, ketika air meteoritic yang sedang bersirkulasi sepanjang bukaan-bukaan struktur mengalami pemanasan oleh magma dan bereaksi dengan batuan karbonat.

Biasanya terbentuk sebagai timbunan/gundukan di sekitar mata air panas bersuhu sekitar 30°C-100°C.

5. *Warm ground*

Warm ground merupakan tanah hangat (*Warm ground*) menunjukkan sebuah level terendah dalam aktifitas geothermal. Suhu tanah meningkat pada kedalaman 1 m tapi bukan pada permukaan. *Warm ground* tidak dapat dilihat oleh pencitraan inframerah tetapi perubahan vegetasi dapat diidentifikasi. *Warm ground* dan uap air yang naik ke permukaan akan menaikkan suhu disekitar daerah thermal sehingga suhu di daerah tersebut akan lebih tinggi daripada daerah di sekitarnya mencapai 30°C-40°C, seringkali indikasi langsung teramati, dan efek sekitar daun berwarna kuning, merah, dan coklat.

6. *Hot steaming ground*

Hot ground merupakan hasil konduksi panas dari bawah tanah. Uap panas naik ke permukaan tapi tidak benar-benar habis. Sebuah lapisan uap tipis yang mengembun dalam kondisi udara lembab sedangkan udara kering tidak ada uap yang teramati. Uap air yang keluar dalam jumlah sedikit dengan kecepatan rendah melalui pori dalam tanah atau batuan yang kenampakannya hanya berupa uap putih dan hangat, tidak terdengar bunyi dari tekanan uap yang tinggi seperti pada fumarole, memiliki tekanan yang kecil, vegetasi di daerah tersebut menunjukkan tegangan vegetasi anomaly, dan dapat di deteksi oleh inframerah.

7. Fumarol

Fumarol merupakan uap panas (*vapour*) yang keluar melalui celah-celah dalam batuan dan kemudian berubah menjadi uap air (*steam*), yang umumnya mengandung gas SO₂ yang relative tinggi serta gas CO₂, HF, HCL. Fumarol yang mengasosiasikan dengan system vulkanik-hidrothermal dapat memancarkan uap dengan kecepatan >150 m/s.

8. *Acid hot spring*

Acid hot spring merupakan mata air panas dengan pH asam (pH <6) yang terbentuk dari hasil kondensasi gas-gas magmatic dan uap panas didekat permukaan bumi kemudian melarut dan bercampur dengan air meteorik dan kemudian keluar menjadi mata air dengan pH asam.

9. *Neutral hot spring*

Neutral hot spring merupakan mata air panas dengan pH netral atau mendekati netral (6-7), Mata air ini diasosiasikan sebagai *direct discharge fluida* dari reservoir ke permukaan bumi. Umumnya mengandung ion klorida yang tinggi sehingga sering kali disebut air klorida.

10. *Hot pool*

Hot pool merupakan daerah ubahan erupsi hydrothermal yang pada umumnya mengandung air panas dan uap panas atau bisa juga campuran dari keduanya.

Hot pools terbentuk dari air panas atau uap pemanas kolam dari air tanah.

Hot pools mungkin bisa tenang ataupun mendidih.

11. *Mud pool*

Mud pool merupakan kolam lumpur yang kenampakannya sedikit mengandung uap dan gas CO₂, tidak terkondensasi, umumnya fluida berasal dari kondensasi uap. Penambahan lumpur uap menyebabkan gas CO₂ keluar.⁶⁶ Mata air panas yang diteliti di penelitian terdapat di kawasan sumber air panas Ie Brok.

I. Kawasan Sumber Air Panas Ie Brok

Ie Brok merupakan kawasan yang terdapat di pegunungan Seulawah Agam. Salah satu kawasan panas bumi (*geothermal*) Seulawah yang dibuktikan oleh adanya mata air panas yang merupakan manifestasi dari panas bumi dengan posisi geografis 5°28'51" LU dan 95°43'53" BT. Kawasan Seulawah Agam memiliki luas 16,16 ha, dengan suhu udara minimum 19-21°C, dan maksimum 25-30°C, curah hujan berkisar 2.000-2.500 mm pertahun, dengan ketinggian 1800 meter di atas permukaan laut.⁶⁷ Kawasan Ie Brok merupakan salah satu kawasan yang penting untuk diketahui, salah satunya mengenai kandungan karbon dalam tanah yang memiliki kaitan dengan jumlah dan jenis tumbuhan yang terdapat di kawasan tersebut.

⁶⁶ Estrella Belija Muaja, *Geothermal B....*, h. 12-21.

⁶⁷ Muhammad Raihansyah, Syukriyadin, *Studi Analisa, ...* hal. 2.

BAB III

METODE PENELITIAN

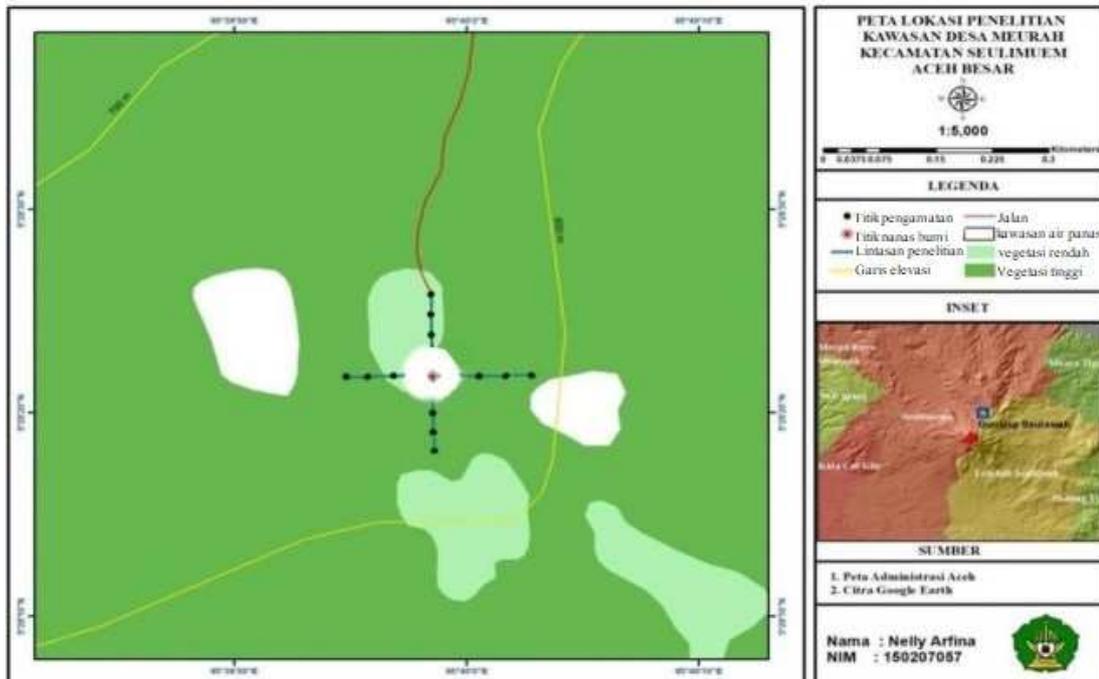
A. Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengambilan sampel gabungan (*composite sampling*) di setiap kedalaman pada plot. Metode ini mencakup pengambilan sampel pada masing-masing kedalaman dan mencampurnya, mengambil subsampel dari hasil campuran dan mencatatnya sebagai satu sampel.⁶⁸ Sampel tanah yang diambil berdasarkan 4 arah mata angin Barat, Timur, Utara, dan Selatan dengan 3 titik pengamatan yaitu 0, 50, dan 100 m.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2019 di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. Sampel diteliti lebih lanjut di Laboratorium Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry dan Laboratorium Pertanian Kimia Tanah Universitas Syiah Kuala.

⁶⁸ Dandun Sutaryo, *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*, (Bogor: Wetlands International Indonesia Programe, 2009), h. 3.



Gambar 3.1. Peta Lokasi Penelitian

C. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah tanah yang ada di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar. Sampel dalam penelitian ini adalah tanah yang terdapat pada tiap titik di stasiun pengamatan yaitu di arah Timur, Barat, Selatan, dan Utara.

D. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk Tabel 3.1 dan 3.2 berikut ini:

Tabel 3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Cangkul	Untuk menggali tanah
2.	Kaleng	Untuk mengambil tanah
3.	Pisau	Untuk memotong tanah di bawah kaleng
4.	Kantong plastik	Untuk tempat penyimpanan sampel tanah
5.	Spidol permanen	Untuk mencatat/memberi label
6.	Karet gelang	Untuk mengikat sampel tanah dalam plastik
7.	Timbangan kapasitas 5 kg dan timbangan analitik	Untuk menimbang tanah/ sampel yang telah diambil dan sampel kering
8.	Alat tulis	Untuk mencatat data hasil penelitian
9.	Soil tester	Untuk mengukur pH tanah
10.	Hygrometer	Untuk mengukur kelembaban tanah
11.	Oven	Untuk mengeringkan sampel yang diambil dari lokasi penelitian
12.	Kamera digital	Untuk mendokumentasikan hasil kegiatan penelitian
13.	Kertas label	Untuk memberi label pada masing-masing sampel
14.	Tas plastik, botol-botol Polyethylen	Untuk tempat sampel
15.	Wadah plastik dan kertas Pengering	Untuk tempat peletakan sampel
16.	Mesin penghalus tanah, lolos ayakan 2 mm	Untuk menghaluskan sampel
17.	Ayakan diameter 0,5 mm	Untuk mengayak sampel
18.	Lesung dan penumbuk Porcelin	Untuk menumbuk/menghaluskan sampel
19.	Gulungan kayu/papan Kayu	Untuk menghaluskan sampel
20.	Botol timbang dengan Penutup	Untuk tempat peletakan sampel
21.	Desicator	Untuk meletakkan sampel
22.	Burette	Untuk menganalisis sampel
23.	Pipet 10 ml	Untuk menganalisis sampel
24.	Stirrer magnetik	Untuk menganalisis sampel
25.	Silinder pengukur	Untuk mengukur kadar larutan
26.	Erlenmayer 500 ml	Untuk meletakkan sampel yang dianalisis

Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	Tanah	Sebagai sampel penelitian
2.	Larutan baku kalium dikromat (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Untuk melarutkan sampel
3.	Asam sulfat (H ₂ SO ₄)	Untuk melarutkan sampel
4.	Asam fosfat konsentrat/pekat (H ₃ PO ₄)	Untuk melarutkan sampel
5.	Indikatorbarium difenil sulfonat/ difenilamin	Untuk melarutkan sampel
6.	Larutan ferosulfat (FeSO ₄)	Untuk melarutkan sampel
7.	Aquades	Untuk melarutkan sampel

E. Parameter Penelitian

Adapun parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kerapatan massa tanah, merupakan kerapatan massa/tingkat kepadatan (BD) tanah dinyatakan sebagai massa per satuan volume tanah (g/cm³ atau ton/m³).⁶⁹
- b. Kandungan karbon tanah, jumlah karbon yang dapat diserap oleh tanah dalam bentuk bahan organik di dalam tanah.⁷⁰
- c. Kandungan karbon tanah per hektar, merupakan jumlah simpanan karbon yang terdapat pada lokasi penelitian, yaitu di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar.

⁶⁹ Hairiah Ekadinata dan Rahayu S. *Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan Petunjuk Praktis Edisi Kedua*. (Bogor: Buku WorldAgroforestry Centre ICRAF SEA Regional, 2011), h. 39.

⁷⁰ Gleason & Ewel, Organic Matter Dynamics on The Forest Floor of a Micronesian Mangrove Forest: an Investigation of Species Composition Shifts. *Biotropica*, 34, 2012, h. 190-198 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*, (2017).

- d. Dilakukan pengukuran mengenai faktor fisik yang meliputi suhu, kelembaban, pH, dan kedalaman tanah.

F. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian tentang simpanan karbon pada tanah di Kawasan Manifestasi Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar dengan 4 tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan Tanah

- a. Ditentukan titik pengambilan contoh tanah yang sesuai dengan titik yang diinginkan.
- b. Contoh tanah diambil menggunakan cangkul pada sub plot. Contoh tanah diambil dari kedalaman 30 cm.
- c. Disiapkan 2 buah kaleng dan peralatan lainnya, setelah itu serasah-serasah kasar yang ada di atas permukaan tanah disingkirkan, kemudian kaleng ditancapkan ke permukaan tanah, lalu kaleng ditekan secara perlahan-lahan.
- d. Diletakkan kaleng yang lain di atas kaleng pertama dan dipukul pelan-pelan menggunakan tongkat kayu hingga kaleng pertama masuk ke dalam tanah sesuai kedalaman yang diinginkan. Jika mengalami kesulitan saat membenamkan kaleng (misalnya ada akar pohon berukuran besar atau batu), maka diulangi sekali lagi dengan jalan memindahkan kaleng pada tanah di sampingnya hingga berhasil.

- e. Tanah digali menggunakan cangkul sekitar 5 cm jaraknya dari kaleng, dilanjutkan dengan memukul kaleng pelan-pelan menggunakan palu karet hingga kaleng masuk secara sempurna ke dalam tanah.
- f. Bagian atas kaleng tanah tersebut ditutup dengan plastik dan diikat dengan karet gelang.
- g. Tanah di bawah kaleng dipotong menggunakan lempak atau pisau, setelah tanah terpotong diangkat perlahan-lahan agar tanah tetap berada utuh di dalam kaleng.
- h. Kaleng tanah dibalik dan direbahkan perlahan-lahan di atas permukaan tanah yang datar.
- i. Tanah yang ada di permukaan luar kaleng dibuang hingga bersih. Tanah pada bagian atas dan bawah kaleng diratakan menggunakan scrap atau pisau.
- j. Semua tanah yang ada dalam kaleng, dikeluarkan ditampung dalam kantong plastik dan ditimbang berat basahnya.⁷¹ Lalu sampel tanah yang telah diambil dari lokasi penelitian dibawa ke laboratorium.

⁷¹Hairiah, *Pengukuran Cadangan Karbon...*,h. 41.

2. Persiapan Sampel Tanah di Lab

3.1. Persiapan Sampel Tanah Kasar

- a. Sebagian dari sampel tanah basah atau segar dari lapangan diambil dan dicampurkan ke dalam wadah plastik. Akar-akar dan bahan-bahan kasar dipindahkan. Tanah diayak dengan ayakan stainless ukuran lubang 2 mm.
- b. Tanah-tanah liat yang mengandung butiran-butiran keras ditumbuk atau digiling dengan gulungan kayu pada lempengan kayu keras atau papan plastik untuk diloloskan ayakan 2 mm.
- c. 10 gr sampel tanah segar ditimbang di atas kertas parafin yang ditempatkan dalam botol timbang untuk dianalisis. Dikeringkan dalam oven pengering hingga berat menjadi konstan (biasanya sekitar 4-5 jam). Sampel dipindahkan dari oven. Tanah ditimbang kembali setelah 20 menit, dan dicatat beratnya.⁷²

2.2. Persiapan Sampel Tanah Kering Udara

- a. Tanah diambil dari tas/kotak plastik atau dari tempat sampel, ditebarkan di atas lembaran plastik dan ditempatkan di atas alat pengering tanah (rak pengering).
- b. Tanah dibiarkan mengering beberapa hari di dalam kamar bersih dan jangan sampai terkena sinar matahari langsung.

⁷² Sufardi, dkk, *Penuntun Praktikum Kimia Tanah*, (Banda Aceh: Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian, 2014), h. 2.

- c. Tanah ditimbang bersama wadahnya, dilanjutkan pengeringan udara setelah penimbangan, dan diulangi setiap 2 hingga 3 hari.
- d. Tanah dihaluskan dengan menggunakan penumbuk hingga bahan dapat diloloskan lewat ayakan 2 mm jika berat tanah telah konstan.
- e. Tanah dicampurkan dan bagian halus secara random pada alat penumbuk hingga dapat lolos ayakan 0,5 mm.
- f. Tanah halus (diameter 2 dan 0,5 mm) disimpan dalam botol plastik (*polyethylen*) atau kotak plastik, dan diberi label dengan nomor laboratorium.⁷³

3. Penetapan Kadar Air

- a. Botol timbangan dengan penutupnya ditempatkan di dalam oven, dikeringkan selama lebih dari 2 jam. Setelah kering, diletakkan dalam *desicator* sekitar 20 menit dan ditimbang.
- b. 5 gr tanah halus (lolos ayakan 2 mm dan 0,5 mm) ditimbang dalam botol timbang, ditempatkan dalam oven dengan tutup terbuka dan dikeringkan pada suhu 105°C hingga berat menjadi tetap. Sampel tanah dipindahkan dari oven, ditutup kembali dan ditempatkan dalam *desicator*. Setelah 20 menit tanah ditimbang kembali.⁷⁴

⁷³ Sufardi, dkk, *Penuntun Praktikum Kimia....*, h. 3.

⁷⁴ Sufardi, dkk, *Penuntun Praktikum Kimia....*, h. 4.

4. Penetapan Karbon Organik Tanah dengan Metode *Walkey and Black*.

- a. Contoh tanah (<0,5 mm) dimasukkan sebanyak 1,0 gr (akurasi 0,01) ke dalam erlenmayer 500 ml.
- b. 10 ml larutan dikromat 0,1667 M ditambahkan, termasuk 2 blanko (gelas erlenmayer tanpa tanah) untuk standarisasi larutan ferosulfat.
- c. 20 ml asam sulfat pekat ditambahkan secara hati-hati dengan silinder pengukur dan diputar erlenmayer sebentar, dibiarkan selama 30 menit.
- d. 250 ml aquades dan 10 ml asam fosfat ditambahkan dengan silinder pengukur dan dibiarkan sampai menjadi dingin.
- e. 1 ml indikator barium difenilamin sulfonat atau difenilamin dan dititrasi dengan larutan ferosulfat ditambahkan di atas stirrer magnetik (*Illuminated Magnetic Stirrer*). Mendekati perubahan warna dari coklat menjadi ungu-violet (*purple*) titrasi diperlambat hingga dicapai titik akhir titrasi pada perubahan warna menjadi hijau.⁷⁵

5. Penghitungan Karbon Tanah

- a. Berat isi contoh tanah dianalisis, yaitu ditentukan volume tanah dengan persamaan $\pi r^2 t$ dengan $\pi = 22/7$ atau 3,14, r = jari-jari dan t = tinggi atau tebal tanah, sehingga dapat diketahui volume tanah.⁷⁶

⁷⁵ Sufardi, dkk, *Penuntun Praktikum Kimia*..., h. 15.

⁷⁶ Leoni Delta Ellannia, Analisis Karbon Tersimpan pada Serasah dan Tanah di Areal Budidaya dan Areal Alami Hutan Pendidikan Konservasi Terpadu Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman, (*Skripsi*), Fakultas Pertanian Universitas Lampung, h. 17, (2016).

- b. Sub-contoh tanah diambil dan ditimbang (W2). Sub contoh tanah tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 48 jam, dan ditimbang berat keringnya (W3) lalu dicatat hasil.⁷⁷

G. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur simpanan karbon pada tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar.

Adapun data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah dihitung kerapatan massa tanah, simpanan karbon tanah, simpanan karbon organik tanah per hektar dan kelayakan modul dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Kerapatan Massa Tanah⁷⁸

$$\text{Bulk Density (BD) (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat kering (g)}}{\text{Volume kaleng cm}^3}$$

Keterangan:

Bulk Density (BD) : Berat isi (g/cm³)

⁷⁷Hairiah, K., Ekadinata, A. Sari R.R dan Rahayu S. *Pengukuran Cadangan Karbon....*, h. 42.

⁷⁸Hairiah, K., Ekadinata., *Pengukuran Cadangan Karbon....*, h. 82.

2. Simpanan karbon tanah dihitung dengan persamaan berikut:

$$C_t = K_d \times B_D \times \% C \text{ organik}^{79}$$

Keterangan:

C_t : Simpanan karbon tanah (g/cm^2)

K_d : Kedalaman contoh tanah (cm)

B_D : Berat isi (g/cm^3)

$\% C \text{ organik}$: Nilai persentase simpanan karbon.

3. Simpanan karbon organik tanah per hektar dapat diketahui berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$C_{\text{tanah}} = C_t \times 100$$

Keterangan:

C_{tanah} : Simpanan karbon organik tanah per hektar (ton/ha)

C_t : Simpanan karbon tanah (g/cm^2)

100 : Faktor konversi dari g/cm^2 ke ton/ha.⁸⁰

⁷⁹Badan Standardisasi Nasional [BSN], Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011, *Pengukurandan Penghitungan Cadangan Karbon Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*, (Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2011), h. 12.

⁸⁰Badan Standardisasi Nasional [BSN], Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011, *Pengukuran dan Penghitungan...*, h. 12.

4. Untuk mencari hasil kelayakan modul pembelajaran dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut:

$$P = \frac{FN}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

P = Persentase yang dicari

F = Frekuensi jumlah skor yang diperoleh

N = Jumlah skor maksimal⁸¹

Kategori kelayakan produk pembelajaran sebagai berikut:

0-40% : Kurang layak

41%-60% : Cukup layak

61%-80% : Layak

81%-100% : Sangat layak⁸²

⁸¹Edno Kamelta, "Pemanfaatan Internet oleh Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Negeri Padang", *Jurnal CIVEDISSN 2302-3341*, Vol. 1 No. 2, (2016), h. 25.

⁸²Windu Erhansyah, "Pengembangan Web sebagai Media Penyampaian Bahan Ajar" *Jurnal UNESA*, h. 24, (2012).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

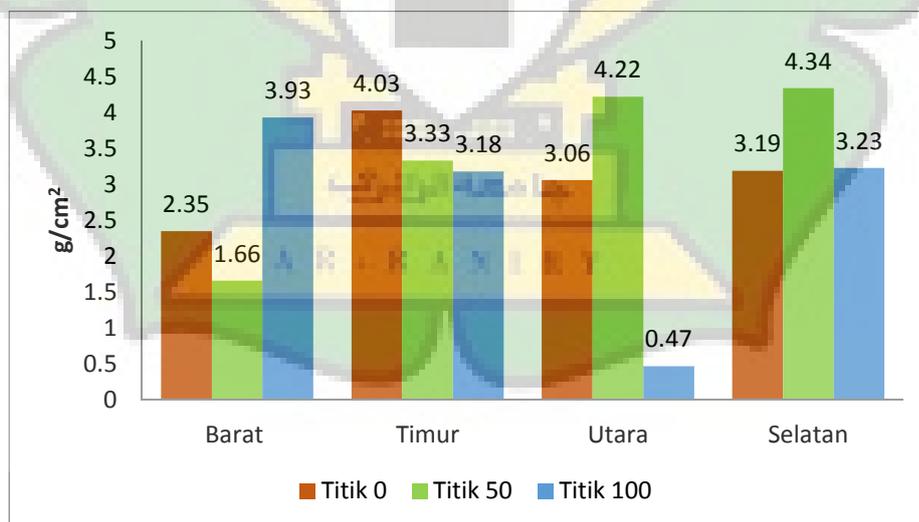
Hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar pada 12 titik pengamatan sebanyak 3704,88 ton/ha dapat dilihat pada Tabel 4.1. sebagai berikut:

Tabel 4.1. Nilai Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

No	Arah Mata Angin	Titik Pengamatan	Kedalaman Sampel (cm)	BD (Bulk Density)	%C Organik	Simpanan Karbon Tanah (g/cm ²)	Rata-rata Simpanan Karbon (g/cm ²)
1	Barat	0	30	0,044	1,78	2,35	2,64
		50	30	0,038	1,46	1,66	
		100	30	0,043	3,05	3,93	
2	Timur	0	30	0,039	3,45	4,03	3,51
		50	30	0,042	2,65	3,33	
		100	30	0,040	2,65	3,18	
3	Utara	0	30	0,041	2,49	3,06	2,58
		50	30	0,037	3,81	4,22	
		100	30	0,041	0,93	0,47	
4	Selatan	0	30	0,038	2,80	3,19	3,58
		50	30	0,038	3,82	4,34	
		100	30	0,043	2,51	3,23	
Total				0,484	31,4	37,0488	
Rata rata				0,040	2,61	3,0874	
Jumlah/total (ton/ha) setelah dikonversikan						3704,88	

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.1. dari 4 arah mata angin yaitu Barat, Timur, Utara, dan Selatan dengan 12 titik di kawasan

Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar diperoleh jumlah simpanan karbon pada tanah yang bervariasi. Jumlah simpanan karbon pada tanah yang paling tinggi adalah sebanyak $4,34 \text{ g/cm}^2$ terdapat di arah mata angin Selatan pada titik 50 dan yang paling rendah yaitu sebanyak $0,47 \text{ g/cm}^2$ terdapat di arah mata angin Utara pada titik 100. Jumlah rata-rata simpanan karbon pada tanah di 4 arah mata angin yaitu Barat, Timur, Utara, dan Selatan dengan 12 titik ialah sebanyak $37,0488 \text{ g/cm}^2$ dengan jumlah total BD (*Bulk Density*) adalah sebanyak $0,484 \text{ g/cm}^3$ dan jumlah rata-rata sebanyak $0,040 \text{ g/cm}^3$. Jumlah %C organik tanah setelah dianalisis dengan menggunakan *Metode Walkey and Black* di 4 arah mata angin pengamatan yaitu sebanyak 31,4% dengan jumlah rata-rata %C organik sebanyak 2,61%. Berikut grafik simpanan karbon pada tanah berdasarkan arah mata angin.



Gambar 4.1 Grafik Simpanan Karbon pada Tanah Berdasarkan Arah Mata Angin

Berdasarkan gambar 4.1 grafik di atas diketahui bahwa pada arah mata angin bagian Barat memiliki simpanan karbon tanah sebanyak $7,94 \text{ g/cm}^2$

dengan titik 0 sebanyak 2,35 g/cm², titik 50 sebanyak 1,66 g/cm² dan titik 100 sebanyak 3,93 g/cm². Simpanan karbon tanah di bagian Timur sebanyak 10,54 g/cm² dengan titik 0 sebanyak 4,03 g/cm², titik 50 sebanyak 3,33 g/cm², dan titik 100 sebanyak 3,18 g/cm². Simpanan karbon tanah di bagian Utara sebanyak 7,75 g/cm² dengan titik 0 sebanyak 3,06 g/cm², titik 50 sebanyak 4,22 g/cm², dan titik 100 sebanyak 0,47 g/cm² dan di kawasan Selatan sebanyak 10,76 g/cm² dengan titik 0 sebanyak 3,19 g/cm², titik 50 sebanyak 4,34 g/cm², dan titik 100 sebanyak 3,23 g/cm². Sehingga, dari data grafik di atas dapat diketahui bahwa simpanan karbon pada tanah tertinggi terdapat pada arah mata angin Selatan sebanyak 4,34 g/cm² terdapat di titik 50 dan yang paling rendah yaitu sebanyak 0,47 g/cm² terdapat pada arah mata angin Utara di titik 100.

Besar kecilnya kandungan karbon yang terdapat di dalam tanah dipengaruhi oleh faktor fisik. Adapun sifat fisik di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar dapat dilihat pada Tabel 4.2. berikut ini:

Tabel 4.2. Sifat Fisik di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

No	Titik Pengamatan	Masing-Masing Titik Pengamatan	pH Tanah	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)	Suhu Tanah (°C)
1	Barat	Titik 1	5,3	29,6	50	27,5
		Titik 2	5	29,2	55	27,1
		Titik 3	4,4	28,3	60	26,1
	Rata-rata		4,9	29,03	55	26,9
		Titik 1	4,6	29,1	69	26,8

2	Utara	Titik 2	4,5	29,3	65	26,9
		Titik 3	4,4	28,6	72	26,1
	Rata-rata		4,5	29	68,66	26,6
3	Selatan	Titik 1	5,4	28,8	68	27,7
		Titik 2	4,4	28,6	70	26,5
	Rata-rata		7	28,6	69,66	27
4	Timur	Titik 1	5,5	29,4	72	27,3
		Titik 2	5,2	29,1	67	27,1
	Rata-rata		5,23	29,1	69,33	26,93
Total			57,9	318,1	733	322,3
Rata-rata			4,825	26,51	61,1	26,9

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4.2. pada 4 arah mata angin pengamatan yaitu Barat, Timur, Utara, dan Selatan dengan 12 subplot di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar diperoleh sifat fisik yang bervariasi seperti pada arah mata angin Barat dengan rata-rata pH 4,9, suhu udara 29,03°C, kelembaban udara 55% dan suhu tanah sebanyak 26,9°C. Arah mata angin Utara dengan rata-rata pH 4,5, suhu udara 29°C, kelembaban udara 68,66%, dan suhu tanah 26,6°C. Arah mata angin Selatan dengan rata-rata pH 7, suhu udara 28,6°C, kelembaban udara 69,66%, dan suhu tanah 27°C. Arah mata angin Timur dengan rata-rata pH 5,23, suhu udara 29,1°C, kelembaban udara 69,33%, dan suhu tanah sebesar 26,93°C. Sehingga, dari grafik di atas dapat diketahui bahwa faktor fisik seperti pH tertinggi terdapat

di arah mata angin Selatan sebesar 7, suhu udara tertinggi terdapat di arah mata angin Barat sebesar $29,3^{\circ}\text{C}$, kelembaban udara tertinggi terdapat di arah mata angin Selatan sebesar 69,66%, dan suhu tanah tertinggi terdapat di arah mata angin Timur sebesar $26,93^{\circ}\text{C}$.

2. Pemanfaatan Hasil Penelitian Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

Hasil dari penelitian simpanan karbon pada tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar dapat dimanfaatkan dalam bentuk modul pembelajaran matakuliah Ekologi Tumbuhan. Modul yang dimaksud adalah modul yang berisi tentang referensi tambahan dari materi simpanan karbon pada tanah di daerah Geothermal.

Modul pembelajaran disusun dengan menggunakan format-format yang disusun secara sistematis sehingga dapat menjadi sebuah modul yang dimulai dari menentukan judul atau materi yang akan dibahas di dalam modul tersebut, daftar isi untuk mempermudah pencarian isi di dalam modul pada halaman yang sudah ditentukan, pokok pembahasan (pengantar, silabus pembelajaran, tujuan pembelajaran, kegiatan pembelajaran dan daftar pustaka.

Modul pembelajaran dapat memudahkan mahasiswa dalam mencari referensi tambahan karena termasuk ke dalam salah satu media pembelajaran. Modul pembelajaran menjadi salah satu alat bantu penyampaian informasi kepada mahasiswa dengan bahasa yang mudah

dimengerti sehingga mahasiswa akan lebih mudah memahaminya. Berikut merupakan bentuk cover modul pembelajarann Ekologi Tumbuhan.



Gambar 4.3. Cover Modul Pembelajaran

3. Kelayakan *Output* Hasil Penelitian sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan

Kelayakan modul pembelajaran sebagai media pendukung pembelajaran dilakukan dengan uji kelayakan atau uji validitas. Kelayakan *output* hasil penelitian berupa modul pembelajaran dapat dilihat dari uji validitas yang dilakukan oleh validator. Modul pembelajaran Matakuliah Ekologi Tumbuhan membahas tentang Bab I deskripsi, prasyarat, dan petunjuk penggunaan modul. Bab II membahas tentang kegiatan belajar seperti tujuan kegiatan pembelajaran, uraian materi berupa pengertian ekologi, siklus karbon, kawasan Ie Brok Seulawah Agam, dan simpanan karbon tanah di kawasan

Ie Brok Seulawah Agam, dan Bab III penutup. Seperti yang telah diketahui bahwa materi Ekologi Tumbuhan merupakan salah satu materi yang dipelajari pada matakuliah jurusan Biologi di Kampus UIN Ar-Raniry Banda Aceh pada semester VI. Setelah divalidasi dapat diketahui seberapa layak media yang dihasilkan untuk digunakan dalam proses pembelajaran. Berikut merupakan tabel 4.3 hasil uji kelayakan modul pembelajaran:

Tabel 4.3. Hasil uji kelayakan modul pembelajaran

1. Komponen Kelayakan Isi Modul Pembelajaran

Sub komponen	Unsur yang dinilai	Skor				Komentar/saran
		1	2	3	4	
Cakupan Materi	Keluasan materi sesuai dengan tujuan penyusunan modul pembelajaran			√		
	Kedalaman materi sesuai dengan tujuan penyusunan modul pembelajaran			√		
	Kejelasan materi			√		
Keakuratan Materi	Keakuratan fakta dan data			√		
	Keakuratan konsep atau teori		√			
	Keakuratan gambar atau ilustrasi			√		
Kemutakhiran Materi	Kesesuaian materi dengan perkembangan terbaru ilmu pengetahuan saat ini			√		
Total skor komponen kelayakan isi		20				

2. Komponen Kelayakan Penyajian

Sub komponen	Unsur yang dinilai	Skor				Komentar/saran
		1	2	3	4	
Teknik Penyajian	Konsistensi sistematika sajian			√		
	Kelogisan penyajian dan keruntutan konsep				√	
Pendukung Penyajian Materi	Keseuaian dan ketepatan ilustrasi dengan materi			√		
	Ketepatan pengetikan dan pemilihan gambar			√		
Total skor komponen kelayakan penyajian		13				

3. Komponen Kelayakan Kegrafikan

Sub komponen	Unsur yang dinilai	Skor				Komentar/saran
		1	2	3	4	
Artistik dan Estetika	Komposisi buku sesuai dengan tujuan penyusunan modul pembelajaran			√		
	Penggunaan teks dan grafis proporsional				√	
	Kemenarikan layout dan tata letak			√		
Pendukung penyajian materi	Produk membantu mengembangkan pengetahuan pembaca				√	
	Produk bersifat informatif kepada pembaca				√	
	Secara keseluruhan produk modul pembelajaran ini menumbuhkan rasa			√		

	ingin tahu pembaca				
Total skor komponen kelayakan kegrafikan		21			

4. Komponen Pengembangan

Sub komponen	Unsur yang dinilai	Skor				Komentar/saran
		1	2	3	4	
Teknik penyajian	Konsistensi sistematika sajian			√		
	Kelogisan penyajian dan keruntutan konsep				√	
	Koherensi substansi			√		
	Keseimbangan substansi				√	
Pendukung penyajian materi	Kesesuaian dan ketepatan ilustrasi dengan materi			√		
	Adanya rujukan atau sumber acuan				√	
Total skor Komponen kelayakan pengembangan		21				
Total skor keseluruhan		75				

(Sumber: Diadaptasi dari Rahmah, 2013)

Aspek Penilaian :

81%-100% = Sangat layak direkomendasikan sebagai salah satu buku referensi yang dapat digunakan sebagai sumber belajar

61%-80% = Layak direkomendasikan dengan perbaikan yang ringan

41%-60% = Cukup layak direkomendasikan dengan perbaikan yang berat

21%-40% = Tidak layak untuk direkomendasikan

< 21 % = Sangat tidak layak direkomendasikan

Penilaian modul pembelajaran yang dihasilkan terdiri dari 4 komponen diantaranya: komponen kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan kegrafikan, dan kelayakan pengembangan. Hasil persentase yang diperoleh

untuk modul pengembangan ialah 75% dengan kategori yaitu layak direkomendasikan dengan perbaikan yang ringan.

B. Pembahasan

1. Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

Tanah merupakan gudang karbon organik yang sangat penting dalam periode jangka panjang pada ekosistem daratan, karena tanah mengakumulasi karbon (C) lebih besar dari pada jumlah karbon (C) pada biomassa tanaman dan atmosfer.⁸³ Tanah merupakan penampung karbon terbesar dalam siklus karbon di darat. Jumlah karbon yang berada di tanah diperkirakan sebesar 1.100-1.600 miliar ton.⁸⁴ Adapun jumlah/total simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar ialah sebanyak 3704,88 ton/ha.

Ie Brok merupakan kawasan yang terdapat di Desa Meurah pegunungan Seulawah Agam. Kawasan ini termasuk salah satu kawasan panas bumi (Geothermal) yang dibuktikan oleh adanya mata air panas yang merupakan manifestasi dari panas bumi (Geothermal) dengan posisi geografis 5°28'51" LU dan 95°43'53" BT. Kawasan Seulawah Agam memiliki luas 16,16 ha,

⁸³ Tarnocai, C, Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G., Zimov, Soil Organic Carbon...., h. 112.

⁸⁴ Team SOS. *Pemanasan Global Solusi Dan Peluang Bisnis*, (Jakarta: Gramedia Pusaka Utama, 2011), h. 147.

dengan suhu udara minimum 19-21°C, dan maksimum 25-30°C, curah hujan berkisar 2.000-2.500 mm pertahun, dengan ketinggian 1800 meter di atas permukaan laut.⁸⁵

Berdasarkan tabel 4.1. diperoleh hasil jumlah simpanan karbon pada tanah arah mata angin Barat, Timur, Utara, Selatan yaitu sebanyak 37,0488 g/cm² dengan rata-rata 3,0874 g/cm². Jumlah simpanan karbon pada tanah yang paling tinggi terdapat pada arah mata angin Selatan titik 50 sebanyak 4,3434 g/cm². Sedangkan jumlah simpanan karbon pada tanah yang paling rendah terdapat pada arah mata angin Utara titik 100 sebanyak 0,4797 g/cm². Perbedaan simpanan karbon di masing-masing penutupan lahan dipengaruhi oleh jumlah dan kerapatan pohon, jenis pohon, faktor lingkungan yang meliputi penyinaran matahari, kadar air, suhu, dan kesuburan tanah yang mempengaruhi laju fotosintesis.⁸⁶ Tinggi rendahnya biomassa dan karbon pancang juga tergantung pada tempat tumbuh dan sinar matahari dengan faktor diameter yang paling menentukan biomassa dan karbon.⁸⁷ Semakin besar kesuburan tanah maka semakin besar

⁸⁵ Muhammad Raihansyah, Syukriyadin, *Studi Analisa...*, hal. 2

⁸⁶ Lilik Sugirahayu dan Omo Rusdiana, “Perbandingan Simpanan Karbon pada Beberapa Penutupan Lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Kimia Tanahnya”, *Jurnal Silvikultur Tropika*, Vol. 02, No. 03, (2011), h. 149–155.

⁸⁷ Nasib Tuah, Rudianda Sulaeman, Defri Yoza, Penghitungan Biomassa dan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kab Kampar, *JOM Faperta UR*, Vol. 4, No. 1 (2017), h. 3.

pertumbuhan vegetasi sehingga diduga akan semakin besar karbon yang akan tersimpan pada tegakan maupun tumbuhan bawah atau serasah.⁸⁸

Selain itu, simpanan karbon pada tanah juga dipengaruhi oleh konsentrasi karbon organik tanah (SOC) (C%), kerapatan tanah (BD), dan kedalaman tanah.⁸⁹ Jumlah simpanan karbon pada tanah yang berbeda dipengaruhi oleh suhu, pH, tekstur tanah, baik faktor lingkungan seperti pemanfaatan lahan dan faktor fisika-kimia tanah (tekstur dan pori-pori).⁹⁰

BD (*Bulk Density*) merupakan berat tanah yang sudah dikeringkan dengan menggunakan oven, pori-pori tanah termasuk persatuan volume tanah yang dinyatakan dalam g/cm^3 . Jumlah BD (*Bulk Density*) dari masing-masing arah mata angin Barat, Timur, Utara, Selatan yaitu sebanyak 0,484 g/cm^3 dengan rata-rata 0,040 g/cm^3 . Jumlah BD (*Bulk Density*) yang paling tinggi terdapat pada arah mata angin Barat titik 0 sebanyak 0,044 g/cm^3 . Sedangkan jumlah BD (*Bulk Density*) yang paling rendah terdapat pada titik pengamatan Utara titik 50 sebanyak 0,037 g/cm^3 karena memiliki tekstur tanah yang liat. Faktor yang mempengaruhi konsentrasi BD (*Bulk Density*) adalah jumlah kadar air, tekstur tanah, dan juga dipengaruhi oleh ukuran partikel-partikel yang ditunjukkan dalam tekstur tanah yang mempengaruhi

⁸⁸ Omo Rusdiana dan Rinal Syahputra Lubis, "Pendugaan Korelasi....", h. 14.

⁸⁹ Harris Herman Siringoringo, "Potensi Sekuestrasi Karbon....", h. 204.

⁹⁰ Juliana, Simpanan Karbon pada...., h. 53.

nilai berat isi tanah.⁹¹ Kadar liat semakin tinggi, semakin halus tekstur tanah kemampuan tanah untuk menahan air akan lebih lama disebabkan karena pori-pori tanah lebih kecil sebaliknya, semakin besar pori-pori tanah kemampuan tanah menahan air akan semakin kecil.⁹² Kondisi kawasan yang berbeda-beda juga mempengaruhi kandungan BD (*Bulk Density*).⁹³

Setelah dianalisis di Laboratorium Kimia Tanah Fakultas Pertanian Unsyiah jumlah %C organik tanah pada masing-masing arah mata angin yaitu arah mata angin Barat, Timur, Utara, Selatan yaitu sebanyak 31,4% dengan rata-rata 2,61%. Jumlah %C organik tanah pada masing-masing arah mata angin yang paling tinggi yaitu arah mata angin Selatan titik 50 sebanyak 3,82%. Sedangkan jumlah %C organik tanah pada masing-masing titik pengamatan yang paling rendah yaitu titik pengamatan Utara titik 100 sebanyak 0,93%. Hal ini diduga disebabkan oleh perbedaan jumlah vegetasi penyusun di dua level ketinggian tempat tersebut yang merupakan penyusun utama bahan organik. Kandungan %C organik yang rendah merupakan indikator rendahnya jumlah bahan organik tanah yang tersedia dalam tanah. Hal ini disebabkan karena lapisan tanah bagian atas merupakan tempat akumulasi bahan-bahan organik. Jatuhnya dedaunan, ranting dan batang dari

⁹¹ Lilik Sugirahayu, Perbandingan Simpanan Karbon pada Beberapa Penutupan Lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Kimia Tanahnya, *Skripsi*, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, (2013), h. 62.

⁹² Omo Rusdiana dan Rinal Syahputra Lubis, "Pendugaan Korelasi....", h. 14-21.

⁹³ Gst. Agung Indah Mahasani, Wayan Gede Astawa Karang, Gede Hendrawan., Karbon Organik di Bawah Permukaan Tanah pada Kawasan Rehabilitasi Hutan Mangrove, Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan, Faculty of Marine Science and Fisheries Udayana University*, Bali, (2016), h. 37.

vegetasi di atasnya sebagai sumber bahan organik utama. %C organik merupakan unsur hara utama penyusun bahan organik. Sumber asli bahan organik adalah jaringan tumbuhan. Di dalam daun, ranting, cabang dan akar tanaman menyediakan sejumlah bahan organik setiap tahunnya. Bahan-bahan tersebut akan melapuk dan diangkut ke lapisan lebih dalam yang selanjutnya menyatu dengan tanah.⁹⁴

Kandungan bahan organik tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain iklim, pH, suhu, kelembaban, tipe penggunaan lahan, relief. *Landform*, dan aktivitas manusia. Jumlah simpanan karbon pada setiap lahan bervariasi tergantung dari kerapatan tumbuhan dan keanekaragaman tumbuhan yang ada dan jenis tanahnya. Apabila kondisi kesuburan tanah baik maka penyimpanan karbon pada suatu lahan menjadi lebih besar disebabkan karena biomassa pohon yang meningkat dapat memberikan pengaruh besar.⁹⁵ Kandungan karbon organik tanah memiliki peranan penting dalam menekan terjadinya perubahan iklim, semakin meningkatnya kandungan karbon organik tanah semakin besar tanah itu dapat menyimpan CO² dari udara dalam bentuk bahan organik di dalam tanah. Kandungan karbon organik tanah dapat diduga dari kepadatan karbon organik di dalam tanah. Semakin meningkatnya

⁹⁴ M. Mus'af AK, Husain Umar, Yusran, "Kondisi Kimia Tanah pada Dua Level Ketinggian Tempat di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah", *Jurnal Warta Rimba*, Vol. 7, No. 4, (2019), h. 204.

⁹⁵ Muardimansyah S, Akbar, *Cadangan Karbon Tanah...*, h. 129.

kepadatan karbon organik tanah diikuti dengan meningkatnya kandungan karbon organik tanah.⁹⁶

Pengambilan sampel tanah pada titik 0 diperoleh sifat fisik yang bervariasi seperti pada arah mata angin Barat titik 0 dengan pH 5,3, suhu udara 29,6°C, kelembaban udara 50% dan suhu tanah 27,5 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,35 g/cm², pada Utara titik 0 dengan pH 5,5, suhu udara 29,1°C, kelembaban udara 69% dan suhu tanah 26,8 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,49 g/cm², pada Selatan titik 0 dengan pH 5,4, suhu udara 28,8°C, kelembaban udara 68% dan suhu tanah 27,5 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,80 g/cm², pada Timur titik 0 dengan pH 5,5, suhu udara 29,4°C, kelembaban udara 72% dan suhu tanah 27,3 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 3,45 g/cm², merupakan titik yang paling dekat dengan sumber air panas. Di titik tersebut tidak banyak ditumbuhi oleh vegetasi karena faktor fisik berupa suhu udara yang berada pada titik tersebut tinggi sehingga tumbuhan tidak mampu bertahan hidup karena tidak bisa menyesuaikan diri dengan lingkungan.

Pengambilan sampel tanah pada titik 50 diperoleh sifat fisik yang bervariasi seperti pada arah mata angin Barat titik 50 dengan pH 5, suhu udara 29,2°C, kelembaban udara 55% dan suhu tanah 27,1 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 1,46 g/cm², pada Utara titik 50 dengan pH 4,5, suhu udara 29,3°C, kelembaban udara 65% dan suhu tanah 26,9 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 3,81 g/cm², pada Selatan titik 50 dengan

⁹⁶ Juliana, Simpanan Karbon pada..., h. 55.

pH 4,4, suhu udara 28,6°C, kelembaban udara 70% dan suhu tanah 26,5 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 3,82 g/cm², pada Timur titik 50 dengan pH 5,2, kelembaban tanah 50%, suhu udara 29,1°C, kelembaban udara 67% dan suhu tanah 27,1 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,65 g/cm², merupakan titik yang berjarak 50 m dari air panas. Di titik tersebut banyak ditumbuhi oleh vegetasi seperti herba dan semak.

Pengambilan sampel tanah pada titik 100 diperoleh sifat fisik yang bervariasi seperti pada arah mata angin Barat titik 100 dengan pH 4,4, suhu udara 28,3°C, kelembaban udara 60% dan suhu tanah 26,1 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 3,05 g/cm², pada Utara titik 100 dengan pH 4,4, suhu udara 28,6°C, kelembaban udara 72% dan suhu tanah 26,1 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 0,93 g/cm², pada Selatan titik 100 dengan pH 4,2, suhu udara 28,4°C, kelembaban udara 71% dan suhu tanah 26,8 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,51 g/cm², pada Timur titik 100 dengan pH 5, suhu udara 28,8°C, kelembaban udara 69% dan suhu tanah 26,4 dengan jumlah simpanan karbon sebanyak 2,65 g/cm², merupakan titik yang berada 100 m dari air panas. Daerah tersebut banyak didominasi oleh vegetasi rendah dan tinggi seperti herba, semak dan pohon.

Berdasarkan hasil pada Tabel 4.2. di atas diketahui bahwa sifat fisik yang terdapat di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar berbeda. Wilayah tersebut memiliki suhu yang tinggi, maka bahan organik di dalam tanah akan

mengurai lebih cepat (apabila kelembaban yang memadai tersedia). Lingkungan yang panas dan lembab dapat mendorong tingkat aktivitas mikroba yang tinggi. Dimana aktivitas fauna dan mikroorganisme meningkat seiring dengan peningkatan suhu. Faktor iklim terutama suhu dan kelembaban (dipengaruhi oleh curah hujan) sangat menentukan keragaman fungsional organisme tanah.

Pengambilan sampel tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar dalam keadaan hujan dan panas dengan kondisi tanah yang lembab. Curah hujan merupakan faktor iklim yang mempunyai pengaruh besar pada produktivitas tanaman dan pasokan karbon organik ke dalam tanah. Secara keseluruhan iklim akan mempengaruhi fisiologi organisme tanah, aktivitas dan pertumbuhan fauna akan meningkat ketika suhu dan kelembaban meningkat, seiring dengan peningkatan suhu tanah. Suhu memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan massa karbon tanah karena suhu mempengaruhi aktivitas mikroba.⁹⁷ Selama dekomposisi, karbon organik hilang dari tanah karena mikroorganisme merubah sekitar setengah karbon CO² tanpa pasokan terus menerus, jumlah yang tersimpan dalam tanah akan menurun dari waktu ke waktu karena karbon organik selalu terdekomposisi oleh mikroorganisme.

⁹⁷ Ory Kurnia Ayu Devianti dan Indah Trisnawati Dwi Tjahjaningrum, "Studi Laju Dekomposisi Serasah pada Hutan Pinus di Kawasan Wisata Taman Safari Indonesia II Jawa Timur, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol. 6, No. 2, (2017), h. 90.

Wilayah dengan curah hujan tinggi, tanah cenderung mempunyai simpanan karbon organik yang dapat dihasilkan lebih besar daripada tipe tanah yang sama pada wilayah curah hujan rendah oleh karena pertumbuhan tanaman yang lebih tinggi.⁹⁸ Selain suhu dan kelembaban, pH juga mempengaruhi karbon di dalam tanah. Apabila semakin rendah pH maka akan semakin tinggi penekanan terhadap karbon yang berada di dalam tanah.⁹⁹

2. Pemanfaatan Hasil Penelitian Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan

Hasil penelitian simpanan karbon pada tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar mempunyai potensi yang bagus untuk dijadikan sebagai referensi tambahan pada matakuliah Ekologi Tumbuhan untuk digunakan sebagai media pembelajaran dibuat dalam bentuk modul pembelajaran. Modul merupakan bahan ajar yang dicetak dan dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta didik. Beberapa contoh modul yaitu modul matakuliah, modul mata pelatihan, modul mata pelajaran, dan modul satuan pelajaran yang dikembangkan untuk mencapai kompetensi yang

⁹⁸ Harris Herman Siringoringo, "Peranan Penting Pengelolaan,... h. 185-186.

⁹⁹ Vanda Julita Yahya, Supiandi Sabiham, Bambang Pramudya, Irsal Las, Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi Karbon di Lahan Gambut Tropis, *Jurnal Biospecies*, Vol. 12, No. 2, (2019), h. 24.

dituangkan dalam satu semester di perguruan tinggi.¹⁰⁰ Modul biasanya ditulis pada kertas yang dipakai berwarna dasar putih dengan ukuran berupa 21,5x16,5 cm (kertas folio F4 dibagi dua) atau boleh juga berukuran A4 (29,7x21 cm). Batas sembir (margin) sesuai dengan ukuran kertas. Margin yang digunakan untuk kertas berukuran 21,5x16,5 cm, margin atas, kiri, kanan, bawah masing masing 2 cm, 2,5 cm, 2 cm, 2 cm. Untuk kertas A4 margin atas, kiri, kanan, bawah masing-masing 2,5 cm, 3 cm, 2 cm, 2,5 cm, dan halaman buku ditulis satu kolom.¹⁰¹

Ukuran huruf yang digunakan untuk kertas berukuran 21,5x16,5 ialah huruf berukuran 10 atau 11 dengan spasi antar baris 1 atau 1,15 sedangkan untuk kertas A4 digunakan huruf berukuran 11 atau 12 dengan spasi antara baris 1,5. Khusus untuk judul bab digunakan ukuran huruf 15 atau 16 dan subbab digunakan ukuran huruf 13 atau 14. Jenis huruf yang dapat digunakan berupa Times New Roman, Calibri, Ariel, atau jenis huruf lain yang tidak menyulitkan pembacaannya, dan lazim digunakan dalam penulisan buku teks.¹⁰²

Modul pembelajaran ini juga diharapkan dapat meningkatkan ketertarikan mahasiswa dalam mengetahui lebih rinci lagi mengenai simpanan karbon pada tanah. Hasil dari penelitian tentang simpanan karbon

¹⁰⁰ Surya Dharma., *Penulisan Modul*, (Jakarta : Direktorat Tenaga Kependidikan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan Departemen Pendidikan Nasional, 2008), h. 3.

¹⁰¹ LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar...*, h. 8

¹⁰² LKPP UNHAS, *Format Bahan Ajar...*, h. 8.

pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar akan dibuat dalam bentuk modul pembelajaran sehingga dengan adanya modul tersebut dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa untuk menambah referensi pada saat proses pembelajaran.

3. Kelayakan *Output* Hasil Penelitian sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan

Pengujian tingkat kelayakan atau validitas *output* sebagai referensi mata kuliah dilakukan dengan tujuan agar media yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sesuai dengan yang dibutuhkan dan sesuai standar. Hasil penilaian dari validator akan menentukan seberapa layak media yang dihasilkan untuk digunakan dalam berbagai keperluan khususnya keperluan dalam pembelajaran. Penilaian modul pembelajaran yang dihasilkan terdiri dari 4 komponen, yaitu: komponen kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan kegrafikan, dan kelayakan pengembangan.¹⁰³ Hasil pengujian tingkat kelayakan modul pembelajaran dengan persentase yang diperoleh ialah 75% dengan kategori yaitu layak direkomendasikan dengan perbaikan yang ringan. Perbaikan yang ringan berupa penambahan gambar yang lebih banyak serta menambahkan beberapa sumber bacaan di dalam isi modul. Modul tersebut bisa digunakan untuk menambah wawasan atau bisa dijadikan

¹⁰³ Yosi Wulandari, dkk, "Kelayakan Aspek Materi,... h. 162-172.

referensi tambahan untuk mahasiswa yang mengambil matakuliah Ekologi Tumbuhan.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

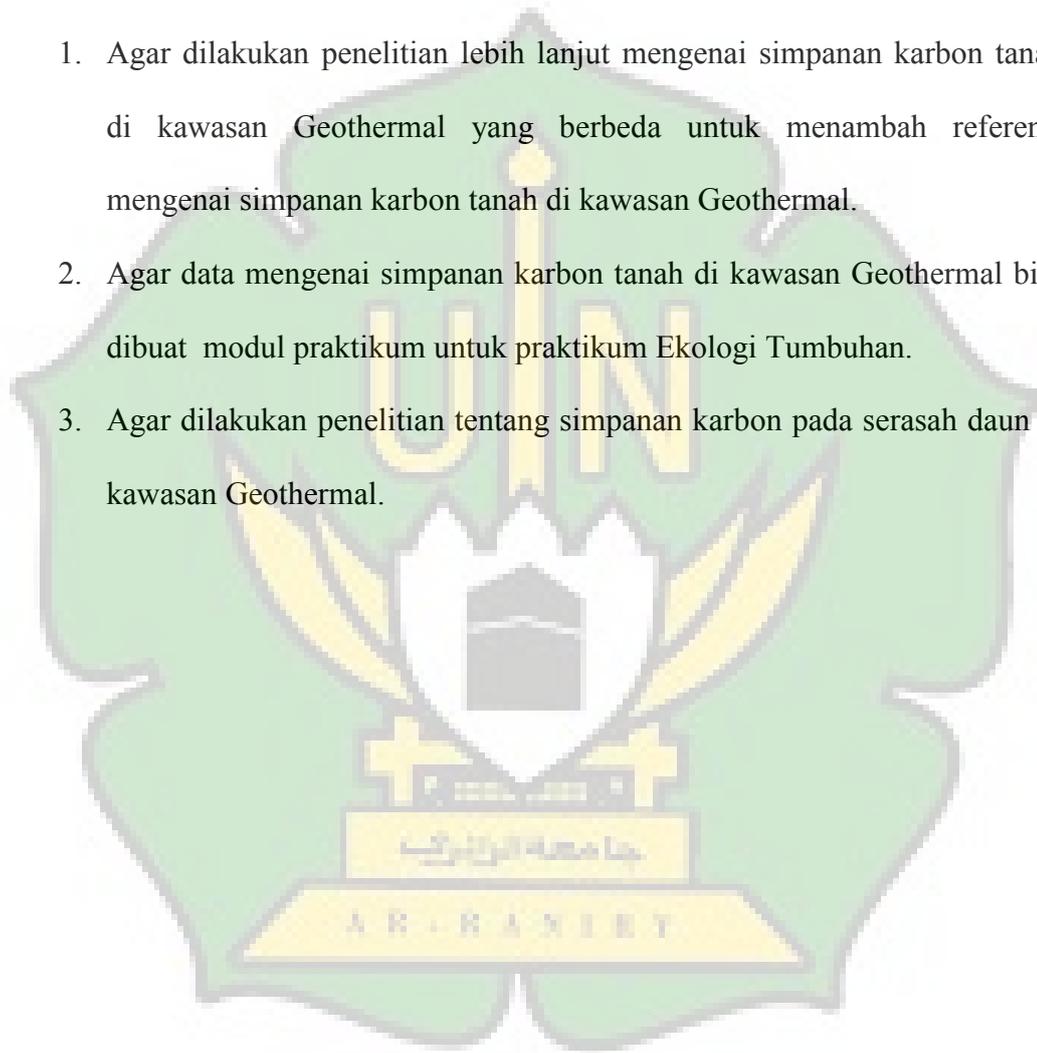
Berdasarkan hasil penelitian tentang Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Jumlah total simpanan karbon pada tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar ialah sebanyak 3704,88 ton/ha dengan jumlah total %C organik ialah sebanyak 31,4% dan total BD (*Bulk Density*) yaitu 0,484 (g/cm³).
2. Hasil dari penelitian ini akan dijadikan referensi tambahan pada mata kuliah Ekologi Tumbuhan dalam bentuk modul pembelajaran. Modul tersebut dapat digunakan sebagai media atau referensi tambahan dan juga dapat meningkatkan kualitas para mahasiswa dalam menggali pengetahuan lebih dalam lagi.
3. Hasil dari uji kelayakan modul simpanan karbon pada tanah di kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar dengan persentase yang diperoleh ialah 75% dengan kategori yaitu layak direkomendasikan dengan perbaikan yang ringan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian tentang Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar, maka saran dari penelitian ini adalah:

1. Agar dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai simpanan karbon tanah di kawasan Geothermal yang berbeda untuk menambah referensi mengenai simpanan karbon tanah di kawasan Geothermal.
2. Agar data mengenai simpanan karbon tanah di kawasan Geothermal bisa dibuat modul praktikum untuk praktikum Ekologi Tumbuhan.
3. Agar dilakukan penelitian tentang simpanan karbon pada serasah daun di kawasan Geothermal.



DAFTAR PUSTAKA

- AK, M. Mus'af, dkk. 2019. "Kondisi Kimia Tanah pada Dua Level Ketinggian Tempat di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu Sulawesi Tengah". *Jurnal Warta Rimba*. Vol. 7. No. 4.
- Akhbar, Muardimansyah S dan Ida Arianingsih. 2016. "Cadangan Karbon Tanah pada Berbagai Tingkat Kerapatan Tajuk di Hutan Lindung Kebun Kopi Desa Nupabomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala". *Jurnal Warta Rimba*. Vol. 3. No. 1.
- Ambarsari, Novita dan Bambang S Tedjasukmana. 2011. "Kajian Perkembangan Teknologi Sounding Untuk Mengukur Konsentrasi (CO₂) di Atmosfer". *Berita Dirgantara*. Vol. 12. No. 1.
- Anwar, dkk. 2002. *Ekologi Ekosistem Sumatera*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Arifanti, Virni Budi, dkk. 2014. "Potensi Cadangan Karbon Tegakan Hutan Sub Montana di Taman Nasional Gunung Halimun Salak, *Jurnal TMGHS*. Vol. 3. No. 1.
- Arsyad, Azhar. 2014. *Media Pembelajaran*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Badan Standardisasi Nasional [BSN], Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011. 2011. *Pengukurandan Penghitungan Cadangan Karbon Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Campbell, dkk. 2004. *Biologi*. Jakarta: Erlangga dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- Carter dan Gregorich. 2008. *Soil Sampling and Method of Analysis*. Florida: Second Edition, Canadian Society of Soil Science dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- D, Sutaryo. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Jakarta: Wetlands International Indonesia Program.

- Devianti, Ory Kurnia Ayu dan Indah Trisnawati Dwi Tjahjaningrum. 2017. "Studi Laju Dekomposisi Serasah pada Hutan Pinus di Kawasan Wisata Taman Safari Indonesia II Jawa Timur. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol. 6. No. 2.
- Dharma, Surya. 2008. *Penulisan Modul*. Jakarta: Direktorat Tenaga Kependidikan Direktorat Jenderal Peningkatan Mutu Pendidik dan Tenaga Kependidikan Departemen Pendidikan Nasional.
- Edwin, Muli. 2019. "Penilaian Stok Karbon Tanah Organik Pada Beberapa Tipe Penggunaan Lahan Di Kutai Timur, Kalimantan Timur". *Jurnal AGRIFOR*. Vol. XV. No. 2.
- Ekadinata, Hairiah dan Rahayu S. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan Petunjuk Praktis Edisi Kedua*. Bogor: Buku WorldAgroforestry Centre ICRAF SEA Regional.
- Ellannia, Leoni Delta. 2016. Analisis Karbon Tersimpan pada Serasah dan Tanah di Areal Budidaya dan Areal Alami Hutan Pendidikan Konservasi Terpadu Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Erhansyah, Windu. 2012. "Pengembangan Web sebagai Media Penyampaian Bahan Ajar" *Jurnal UNESA*.
- Farija, Nurul, dkk. 2017. "Estimasi Stok Karbon Tanah di Hutan Seulawah Agam Desa Pulo Kemukiman Lamteuba Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar". *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, ISBN: 978-602-20401-3-8.
- Hadi, Nasir. 2015. *Buku Ajar Ekologi Tumbuhan*. Jakarta: Erlangga.
- Hairiah. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor: World Agroforestry Centre.
- Hanafiah, Kemas Ali. 2005. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Janzen, 2017. *Ekologi Terapan*. Bandung: Swadaya, 2013 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*.
- Juliana. 2017. Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- Jumin, Hasan Basri. 2005. *Dasar-Dasar Agronomi*. Jakarta: PT Raja Grafindo.

- Kamelta, Edno. 2016. "Pemanfaatan Internet oleh Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Negeri Padang". *Jurnal CIVEDISSN 2302-3341*. Vol. 1 No. 2.
- Kurniawati, Ika. 2016. *Modul Pelatihan Pengembangan Bahan Belajar*. Jakarta: KEMDIKBUD Pusat Teknologi Informasi dan Komunikasi Pendidikan.
- M, Gleason S. dan Ewel, K. C. 2012. Organic Matter Dynamics on The Forest Floor of a Micronesian Mangrove Forest: an Investigation of Species Composition Shifts. *Biotropica*, 34 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- Mahasani, Gst. Agung Indah, dkk. 2016. Karbon Organik di Bawah Permukaan Tanah pada Kawasan Rehabilitasi Hutan Mangrove, Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan, Faculty of Marine Science and Fisheries Udayana University, Bali*.
- Markewich, Bardgett. 2005. *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford: Oxford Univesity Press dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- Marsipatin, Nur, dkk. 2010. *Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan kebijakan*. Bogor: Jaya Putra.
- Muaja, Estrella Belija. 2013. *Geothermal B*. Bandung: Swadaya.
- Muhti. 2008. *Model Simulasi Kandungan Karbon Akibat Penanaman Kayu di Hutan Alam Tropika*. Medan: Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Muhibbuthabry. 2015. *Panduan Akademik Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh*. Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Munandar, Arifin. 2007. *Buku Panduan Penataan Taman Umum, Penanaman Tanaman, Penanganan Sampah dan Pemberdayaan Masyarakat*. Jakarta: Sampoerna Hijau Kotaku Hijau.
- Nontji, Anugerah. 2008. *Plankton Laut*. Jakarta: LIPI Press.
- Nugrahaini, Nining. 2013. *Layanan Referensi dan Promosi Koleksi Referensi*. Malang: UPT Perpustakaan Universitas Negeri Malang.
- Nurmi. 2005. *Peningkatan (sequestrasi) Karbon Melalui Pengolahan Konservasi dan Pengelolaan Residu Tanaman*. Bogor: Sekolah Pasca Sarjana IPB.

- Poerwadarmita. 2000. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Raihansyah, Muhammad dan Syukriyadin 2011. *Studi Analisa Kapasitas Energi Listrik Panas Bumi Gunung Seulawah Agam Aceh*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.
- Rusdiana, Omo dan Rinal Syahputra Lubis. 2012. "Pendugaan Korelasi antara Karakteristik Tanah terhadap Cadangan Karbon (*Carbon Stock*) pada Hutan Sekunder". *Jurnal Silvikultural Tropika*. Vol. 03. No. 01.
- S, Wirakusumah. 2013. *Dasar-Dasar Ekologi*. Jakarta: UI Press.
- Saputri, Sella Arum. 2014. "Geologi dan Identifikasi Manifestasi Panas Bumi di Daerah Gunung Pandan dan Sekitarnya". *Jurnal Teknik Geologi ITATS*. Vol. 3. No. 1.
- Siringoringo, Harris Herman. 2014. "Peranan Penting Pengelolaan Penyerapan Karbon dalam Tanah". *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. Vol. 11. No. 2.
- Sufardi, dkk, 2014. *Penuntun Praktikum Kimia Tanah*. Banda Aceh: Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian.
- Sugirahayu, Lilik dan Omo Rusdiana. 2011. "Perbandingan Simpanan Karbon pada Beberapa Penutupan Lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Kimia Tanahnya". *Jurnal Silvikultur Tropika*. Vol. 02. No. 03.
- Sutaryo, Dandun. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programe.
- Tarnocai, dkk. 2009. "Soil Organic Carbon Pools In The Northern Circumpolar Permafrost Region". *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 23. No. 11 dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan, *Skripsi*.
- Team SOS. 2011. *Pemanasan Global Solusi Dan Peluang Bisnis*. Jakarta: Gramedia Pusaka Utama.
- Tuah, Nasib, dkk. 2017. "Penghitungan Biomassa dan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kab Kampar". *JOM Faperta UR*. Vol. 4. No. 1.
- UNHAS, LKPP. 2015. *Format Bahan Ajar, Buku Ajar, Modul, dan Panduan Praktik*. Makassar: Erlangga.

- Utama, An Nuur Budi. 2014. *Cara Praktis Menulis Buku*. Yogyakarta: Penerbit Deepublish dalam Juliana Simpanan Karbon pada Tanah di Kampus Uin Ar-Raniry Banda Aceh sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi dan Masalah Lingkungan. *Skripsi*.
- Wahyuni, Dewi. 2012. *Serapan Karbon Hutan Mangrove Gorontalo*. Yogyakarta: Deepublish.
- Whandoyo, dkk. 2001. *Geologic map of the Banda Aceh Quadrangle, Sumatera. Scale 1:250,000*. Bandung: Geological Research & Development Centre, Direktorat Geologi.
- Windusari, dkk. 2012. “Dugaan Cadangan Karbon Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah di Kawasan Sukseksi Alami pada Area Pengendapan Tailing PT Freeport Indonesia”. *Jurnal Biospecies*. Vol. 5. No. 1.
- Wulandari, Yosi, dkk 2017. “Kelayakan Aspek Materi dan Media dalam Pengembangan Buku Ajar Sastra Lama”. *Jurnal Gramatika*. Vol. 3. No. 2.
- Yahya, Vanda Julita, dkk. 2019. Identifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Emisi Karbon di Lahan Gambut Tropis. *Jurnal Biospecies*. Vol. 12. No. 2.
- Zamroni, Yuliadi. 2008. “Produksi serasah Hutan Magrove di Perairan Pantai Teluk Sepi, Lombok Barat”. *Jurnal Biodiversitas*. Vol. 9. No. 4.

Lampiran 1: Surat Keputusan (SK) Pembimbing Skripsi

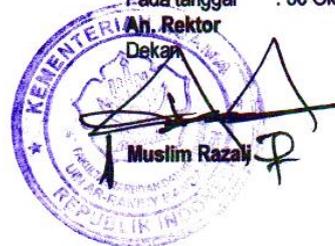
SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN UIN AR-RANIRY
Nomor: B-15665/Un.08/FTK/KP.07.6/10/2019

TENTANG:
PENGANGKATAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

DEKAN FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN UIN AR-RANIRY BANDA ACEH

- Menimbang** : a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi dan ujian munaqasyah mahasiswa pada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh maka dipandang perlu menunjuk pembimbing skripsi tersebut yang dituangkan dalam Surat Keputusan Dekan;
- b. bahwa saudara yang tersebut namanya dalam surat keputusan ini dipandang cakap dan memenuhi syarat untuk diangkat sebagai Pembimbing Skripsi.
- Mengingat** : 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005, tentang Guru dan Dosen;
3. Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Sistem Pendidikan Tinggi;
4. Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2012, tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah RI Nomor 23 Tahun 2005 tentang Pengelolaan Keuangan Badan Layanan Umum;
5. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014, tentang penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;
6. Peraturan Presiden Nomor 64 Tahun 2013, tentang Perubahan Institut Agama Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh menjadi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;
7. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 12 Tahun 2014, tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
8. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 21 Tahun 2015, tentang Statuta UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
9. Keputusan Menteri Agama RI Nomor 492 Tahun 2003, tentang Pendelegasian Wewenang, Pengangkatan, Pemindahan dan Pemberhentian PNS di Lingkungan Departemen Agama Republik Indonesia;
10. Keputusan Menteri Keuangan Nomor 293/KMK.05/2011, tentang Penetapan Intitut Agama Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh pada Kementerian Agama sebagai Instansi Pemerintah yang Menerapkan Pengelolaan Badan Layanan Umum; Keputusan Rektor UIN Ar-Raniry Nomor 01 Tahun 2015, tentang Pendelegasian Wewenang Kepada Dekan dan Direktur Pascasarjana di Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
11. Pascasarjana di Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh.
- Memperhatikan** : Keputusan Sidang/Seminar Proposal Skripsi Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry tanggal 16 Oktober 2019
- MEMUTUSKAN**
- Menetapkan**
PERTAMA : Menunjuk Saudara:
- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| Muslich Hidayat, M. Si. | sebagai Pembimbing Pertama |
| Khairun Nisa, M. Bio. | sebagai Pembimbing Kedua |
- Untuk membimbing Skripsi:
- Nama : Nelly Arfina
NIM : 150207057
Program Studi : Pendidikan Biologi
Judul Skripsi : Simpanan Karbon Pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar Sebagai Referensi Matakuliah Ekologi Tumbuhan
- KEDUA** : Pembiayaan honorarium pembimbing pertama dan kedua tersebut diatas dibebankan pada DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun 2019;
- KETIGA** : Surat Keputusan ini berlaku sampai akhir Semester Ganjil Tahun Akademik 2020/2021;
- KEEMPAT** : Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam surat keputusan ini.

Ditetapkan di : Banda Aceh
Pada tanggal : 30 Oktober 2019

**Tembusan**

1. Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
2. Ketua Prodi Pendidikan Biologi;
3. Pembimbing yang bersangkutan untuk dimaklumi dan dilaksanakan;
4. Yang bersangkutan.

Lampiran 2: Surat Selesai Penelitian Dari keuchik Desa Meurah



**PEMERINTAH KABUPATEN ACEH BESAR
KECAMATAN SEULIMEUM
GAMPONG MEURAH**

Jl. Lamteuba - Krueng Raya, Gampong Meurah Kode Pos 23951

SURAT KETERANGAN USAHA

Nomor **98/HRH** / 2019

Yang bertanda Tangan di bawah ini

Nama : A. RASYID
Jabatan : Geucik Gampong Meurah

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : NELLY ARFINA
Tempat/ Tanggal Lahir : Manggeng / 20 Oktober 1997
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat : Tungkop
Kecamatan Darussalam Kabupaten Aceh Besar.

Benar yang namanya tersebut diatas adalah saat ini telah menyelesaikan pengumpulan data pada tanggal 03 Juli 2019, di Gampong Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar

Demikian Surat Keterangan ini dibuat agar dapat di pergunakan seperlunya

Dikeluarkan di : Gampong Meurah
Pada Tanggal : 03 Juli 2019

Geucik Gampong Meurah



Lampiran 3: Keterangan Bebas Laboratorium



LABORATORIUM PENDIDIKAN BIOLOGI FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH

Alamat : Jl. Lingkar Kampus Darussalam, Komplek Gedung A Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, Email : labpend.biologi@ar-raniry.ac.id



23 Juni 2020

Nomor : B-17/Un.08/KL.PBL/TL.00/06/2020
Sifat : Biasa
Lamp : 1 Eks
Hal : *Surat Telah Melakukan Identifikasi
Penelitian di Laboratorium*

Laboratorium Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : **Nelly Arfina**
NIM : 150207057
Prodi : Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry
Banda Aceh
Alamat : Jl. Lingkar Kampus, Rukoh, Darussalam – Banda Aceh
No. HP : 082364442141

Benar nama yang tersebut diatas telah meminjam alat laboratorium dan Pemakaian ruang laboratorium unuk melakukan identifikasi hasil penelitian di Laboratorium Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh, dengan judul ***“Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan”***.
(Daftar Pemakaian alat laboratorium terlampir).

Demikianlah surat ini dibuat dengan sebenarnya, agar dapat digunakan seperlunya.

A.n. Kepala Laboratorium FTK
Pengelola Lab. PBL,

Khairunnisa
FTK UIN AR-RANIRY

Lampiran 4: Surat Telah Mengembalikan Alat Laboratorium



LABORATORIUM PENDIDIKAN BIOLOGI FAKULTAS TARBİYAH DAN KEGURUAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH

Alamat : Jl. Lingkar Kampus Darussalam, Komplek Gedung A Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, Email : labpend.biologi@ar-raniry.ac.id



23 Juni 2020

Nomor : B-16/Un.08/KL.PBL/PP.00.9/06/2020
Sifat : Biasa
Lamp : 1 Eks
Hal : *Surat Telah Mengembalikan Alat Laboratorium*

Laboratorium Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas

Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : **Nelly Arfina**
NIM : 150207057
Prodi : Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry
Banda Aceh
Alamat : Rukoh
No. HP : 082364442141

Benar nama yang tersebut diatas telah meminjam alat di Laboratorium Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh untuk melakukan penelitian dengan judul "***Simpanan Karbon pada Tanah di Kawasan Geothermal Ie Busuk Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan***". Dan telah menyelesaikan segala urusan administrasi yang berhubungan dengan laboratorium Pendidikan Biologi. *Daftar peminjaman alat laboratorium terlampir.*

Demikianlah surat ini dibuat dengan sebenarnya, agar dapat digunakan seperlunya.

A.n. Kepala Laboratorium FTK
Pengelola Lab. PBL,

Khairunnisa

Lampiran 5: Surat Telah Melakukan Identifikasi



LABORATORIUM PENDIDIKAN BIOLOGI FAKULTAS TARBİYAH DAN KEGURUAN

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
Alamat : Jl. Lingkar Kampus Darussalam, Komplek Gedung A Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, Email : labpend.biologi@ar-raniry.ac.id



23 Juni 2020

Nomor : B-18/Un.08/KL.PBL/PP.00.9/06/2020
Sifat : Biasa
Lamp : -
Hal : Surat Keterangan Bebas Laboratorium

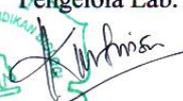
Laboratorium Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas
Islam Negeri Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh, dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : **Nelly Arfina**
NIM : 150207057
Prodi : Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN
Ar-Raniry Banda Aceh
Alamat : Jl. Lingkar Kampus UIN Ar-Raniry, Lr. Gajah No.4, Rukoh - Banda Aceh

Benar yang nama yang tersebut diatas telah selesai melakukan penelitian dengan judul ***"Simpanan Karbon Tanah di Kawasan Geothermal Ie Brok Seulawah Agam Desa Meurah Kecamatan Seulimeum Kabupaten Aceh Besar sebagai Referensi Tambahan Mata Kuliah Ekologi Tumbuhan"*** dalam rangka menyelesaikan tugas akhir skripsi pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry, dan telah menyelesaikan segala urusan administrasi yang berhubungan dengan laboratorium Pendidikan Biologi.

Demikianlah surat keterangan ini dibuat dengan sebenarnya, agar dapat digunakan seperlunya.

A.n. Kepala Laboratorium FTK
Pengelola Lab. PBL,



Khairunnisa

| Lampiran 6: Data Awal Biomassa Tanah

No	Lokasi/titik pengamatan	Kedalaman Sampel								
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
		Berat Basah (g)			Berat Kering Sampel			Berat Kering Total (g)		
1	Barat/Titik 1	1140	1160	1320	100	100	100	61,62	79,06	83,21
2	Barat/Titik 2	1020	1020	1100	100	100	100	70,73	69,62	70,73
3	Barat/Titik 3	1060	1000	1010	100	100	100	74,64	76,42	80,27
4	Utara/Titik 1	1120	1200	1200	100	100	100	77,69	77,14	77,71
5	Utara/Titik 2	1140	1160	1160	100	100	100	74,33	71,42	69,20
6	Utara/Titik 3	1160	1160	1100	100	100	100	74,14	75,80	76,65
7	Selatan/Titik 1	1300	1120	1060	100	100	100	77,73	70,96	70,74
8	Selatan/Titik 2	1040	1100	1200	100	100	100	73,02	68,92	71,67
9	Selatan/Titik 3	1320	1200	1300	100	100	100	71,71	73,41	81,46
10	Timur/Titik 1	1020	1140	1100	100	100	100	69,70	72,39	72,86
11	Timur/Titik 2	1200	1160	1160	100	100	100	76,00	64,30	79,08
12	Timur/Titik 3	1010	1090	1600	100	100	100	77,51	79,50	75,36
Total		13530	13510	14310	1200	1200	1200	878,82	878,94	908,94
Rata-rata		1127,5	1125,83334	1192,5	100	100	100	73,2355	73,2455	75,745

Lampiran Data Mentah

No.	Lokasi/titik pengamatan	Kedalaman Sampel	Berat Kering (g)	Volume (cm ³)	BD (g/cm ³)	%C Organik	Kandungan Karbon Tanah (g/cm ³)	Karbon Organik Tanah (ton/ha)
1	Barat/Titik 1	30	83,21	1857,31	0,044	1,78	2,3496	234,96
2	Barat/Titik 2	30	70,73	1857,31	0,038	1,46	1,6644	166,44
3	Barat/Titik 3	30	80,27	1857,31	0,043	3,05	3,9345	393,45
4	Timur/Titik 1	30	72,86	1857,31	0,039	3,45	4,0365	403,65
5	Timur/Titik 2	30	79,08	1857,31	0,042	2,65	3,339	333,9
6	Timur/Titik 3	30	75,36	1857,31	0,040	2,65	3,18	318
7	Utara/Titik 1	30	77,71	1857,31	0,041	2,49	3,0627	306,27
8	Utara/Titik 2	30	69,20	1857,31	0,037	3,81	4,2291	422,91
9	Utara/Titik 3	30	76,65	1857,31	0,041	0,93	0,4797	047,97
10	Selatan/Titik 1	30	70,74	1857,31	0,038	2,80	3,192	319,2
11	Selatan/Titik 2	30	71,67	1857,31	0,038	3,82	4,3434	434,34
12	Selatan/Titik 3	30	81,46	1857,31	0,043	2,51	3,2379	323,79
Jumlah			908,94	22287,72	0,484	31,4	37,0488	3704,88
Rata-rata			75,745	1587,31	0,040	2,61	3,0874	308,74

Lampiran 7: data awal faktor fisik

No	Titik Pengamatan	Masing-Masing Titik Pengamatan	pH Tanah	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)	Suhu Tanah (°C)
1		Titik 1	5,3	29,6	50	27,5
2	Barat	Titik 2	5	29,2	55	27,1
3		Titik 3	4,4	28,3	60	26,1
	Rata-rata		4,9	29,03	55	26,9
4		Titik 1	4,6	29,1	69	26,8
5	Utara	Titik 2	4,5	29,3	65	26,9
6		Titik 3	4,4	28,6	72	26,1
	Rata-rata		4,5	29	68,66	26,6
7		Titik 1	5,4	28,8	68	27,7
8	Selatan	Titik 2	4,4	28,6	70	26,5
9		Titik 3	4,2	28,4	71	26,8
	Rata-rata		7	28,6	69.66	27
10		Titik 1	5,5	29,4	72	27,3
11	Timur	Titik 2	5,2	29,1	67	27,1
12		Titik 3	5	28,8	69	26,4
	Rata-rata		5,23	29,1	69,33	26,93
	Total		57,9	318,1	733	322,3
	Rata-rata		4,825	26,51	61,1	26,9

Lampiran 8: Data Analisis Karbon Tanah



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
 FAKULTAS PERTANIAN UNIVERSITAS SYIAH KUALA
 LABORATORIUM KIMIA TANAH
 DARUSSALAM BANDA ACEH

Pemesan : Nelly Afrina
 Alamat : UIN Ar-Raniry

No. Pesanan : 424-435
 Jml. Contoh : 12

HASIL ANALISIS TANAH
 Nomor : 040 / LKT/ X / 2019

No.	No. Lab	Kode contoh	pH (H ₂ O)	Walkey Black	Kjeldahl	Bray	Ekstrak HCL 25 %		DHL
				C	N	P	P2O5	K2O	
			1 ;2,5	%	%	ppm	mg/100 g		mS/cm
1	424	Titik 1 Barat	-	1,78	-	-	-	-	-
2	425	Titik 2 Barat	-	1,46	-	-	-	-	-
3	426	Titik 3 Barat	-	3,05	-	-	-	-	-
4	427	Titik 1 Timur	-	3,45	-	-	-	-	-
5	428	Titik 2 Timur	-	2,65	-	-	-	-	-
6	429	Titik 3 Timur	-	2,65	-	-	-	-	-
7	430	Titik 1 Utara	-	2,49	-	-	-	-	-
8	431	Titik 2 Utara	-	3,81	-	-	-	-	-
9	432	Titik 2 Utara	-	0,93	-	-	-	-	-
10	433	Titik 1 Selatan	-	2,80	-	-	-	-	-
11	434	Titik 2 Selatan	-	3,81	-	-	-	-	-
12	435	Titik 3 Selatan	-	2,51	-	-	-	-	-

Darussalam, 21 Oktober 2019
 Kepala Laboratorium



Zuraida, S.P., M.Si
 NIP. 19690310 199403 2 002

Lampiran 9 :Foto Kegiatan Penelitian



1. Peneliti membuat plot pengamatan



2. Peneliti membersihkan serasah di atas tanah



3. Peneliti mengambil sampel sesuai kedalaman



4. Peneliti mengukur kedalaman tanah



5. Peneliti memasukkan sampel ke dalam plastik



6. Peneliti menandai dan menimbang berat basah sampel



7. Peneliti menimbang tanah sebelum dioven



8. Peneliti memasukkan sampel ke dalam oven



9. Bahan yang akan di gunakan untuk analisis sampel di laboratorium



10. Peneliti menumbuk tanah yang akan dianalisis



11. Peneliti mengayak tanah yang akan dianalisis



12. Peneliti melakukan penentuan C organik karbon dengan Metode Walkey & Black

RIWAYAT HIDUP

Nama : Nelly Arfina
NIM : 150207057
Tempat/Tanggal Lahir : Manggeng, 20 Oktober 1997
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Kebangsaan/Suku : Indonesia/Aceh
Nama Orang Tua
a. Ayah : Alm. Arifin
b. Ibu : Jasniar
Alamat : Jln. Teuku Agam, Lorong Mangga, Manggeng, Aceh Barat Daya
Riwayat Pendidikan
a. MIN : MIN 1 Manggeng
b. MTsN : MTsN 1 Manggeng
c. SMA : SMA 2 Aceh Barat Daya
d. S1 : UIN Ar-Raniry

Banda Aceh, 20 Juli 2020
Penulis,

Nelly Arfina