

SIMPANAN KARBON DI PERMUKAAN DAN DI DALAM
TANAH SISTEM PERHUTANI DI NEGERI SABAH,
MALAYSIA



HERAWANDI BIN SUARDI

UMMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2016

SIMPANAN KARBON DI PERMUKAAN DAN DI DALAM
TANAH SISTEM PERHUTANI DI NEGERI SABAH,
MALAYSIA

HERAWANDI BIN SUARDI



DISERTASI INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI
IJAZAH SARJANA SAINS

FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2016

PENAKUAN

Karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan, petikan, persamaan dan rujukan yang telah saya jelaskan sumbernya.

1 September 2016

Herawandi bin Suardi

PF20118313



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGESAHAN

NAMA : HERAWANDI BIN SUARDI
NO MATRIK : PF 20118313
TAJUK : SIMPANAN KARBON DI PERMUKAAN DAN DI DALAM
TANAH SISTEM PERHUTANI DI NEGERI SABAH,
MALAYSIA
IJAZAH : SARJANA SAINS PERHUTANAN
TARIKH VIVA : 28 JUN 2016

DISAHKAN OLEH;

1. PENYELIA

Prof Madya Dr. Normah Awang Besar @ Raffie

Tandatangan



PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang. Syukur ke hadrat Allah s.w.t. kerana berkat limpah kurnia dan dengan izinNya, telah memberi kesihatan yang baik, kesabaran dan semangat untuk menyempurnakan tesis ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih dirakamkan kepada Prof Madya Dr. Normah Awang Besar @ Raffie atas segala nasihat, dorongan, bantuan dan keperihatinan semasa menyempurnakan tesis ini. Saya amat menghargai kesabaran Prof Madya Dr. Normah Awang Besar yang sedia berkongsi maklumat dan kepakaran, senang dihubungi dan cepat dalam tindakan sepanjang sesi penyeliaan. Segala kesabaran, maklum balas, bimbingan, pandangan dan tunjuk-ajar daripada beliau banyak membantu dalam menyempurnakan tesis ini.

Pada kesempatan ini juga saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dato Dr Mazlin Mokhtar selaku penasihat kajian (Mentor) dan Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) atas pembiayaan geran penyelidikan (RACE/F1/STWN2/UMS/6). Seterusnya, ribuan terima kasih kepada pemilik ladang Balung River, Tan Sri Datuk Seri Panglima Harris bin Mohd Salleh atas kebenaran untuk saya menjalankan kajian di ladang milik beliau dan pengurus ladang, Encik Samalih Kupsa atas segala bantuan dan keperihatinan yang disalurkan sepanjang menjalankan kajian di ladang Balung. Tidak lupa kepada Fakulti Pertanian Lestari, Universiti Malaysia Sabah atas kebenaran menggunakan makmal kajian. Seterusnya kepada En. Jutom Ongkasing, En. Daniel James, En. Hamzad Fahmi Ahmad Jani, Tay Ley Lee dan Nurul Atira binti Roslin yang banyak membantu dalam aktiviti pengambilan dan analisis data sepanjang kajian. Terima kasih yang tidak terhingga kepada ibu bapa dan ahli keluarga yang telah memberi segala kemudahan, galakkan dan sokongan moral sehingga saya berjaya menyiapkan tesis ini. Akhir sekali kepada semua pihak yang telah banyak membantu terutama pensyarah dan kakitangan Fakulti Sains dan Sumber Alam serta rakan-rakan yang banyak memberi menyumbang idea sepanjang tempoh pengajian.

Herawandi bin Suardi
1 September 2016

ABSTRAK

Kajian keatas simpanan karbon di permukaan tanah (TAC) dan di dalam tanah (TBC) dijalankan di ladang Balung, Tawau, Sabah. Objektif utama kajian adalah untuk mengkuantifikasi simpanan karbon di permukaan dan dalam tanah dalam sistem perhutani. Tiga kombinasi tanaman perhutani kelapa sawit dan gaharu berlainan umur dijadikan sampel kajian. Tanaman perhutani adalah kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun), kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun) dan kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun). Tanaman monokultur kelapa sawit (16 tahun) dan hutan simpan Taman Bukit Tawau dijadikan sebagai kawalan. Saiz plot kajian untuk tanaman perhutani dan monokultur adalah 50m × 50m manakala saiz plot untuk hutan simpan adalah 30m x 30m. Pemerihaln profil tanah dibuat pada setiap kombinasi tanaman dengan kedalaman 100 cm. Sampel tanah diambil dari tiga kedalaman yang berbeza iaitu 0-5 cm, 5-10 cm dan 10-30 cm secara rawak pada kawasan plot kajian. Ketumpatan pukal tanah diambil menggunakan gelung silinder 100 cm³. Persamaan allometrik digunakan untuk menentukan biojisim. Persampelan bagi lapisan organik dan tumbuhan renek dilakukan di dalam plot pada kuadrat berbentuk segiempat (1m × 1m). Analisis karbon untuk sampel tanah, lapisan organik dan tumbuhan renek adalah menggunakan *CHN628 Series*. Pengelasan tanah mendapati profil tanah yang berbeza menunjukkan kelas tanah yang berbeza. Berdasarkan pengelasan tanah Sabah, famili tanah untuk tiga sistem perhutani ialah Kinabutan, Kobovan dan Bombalai. Famili tanah untuk monokultur kelapa sawit adalah Jarangan manakala hutan simpan ialah Table. Berdasarkan *Soil Taxonomy* (USDA), order tanah untuk tiga sistem perhutani ialah Inseptisols, Luvisols dan Ultisols manakala order tanah untuk monokultur kelapa sawit dan hutan simpan ialah Oksisols. Berdasarkan WRB pula, kumpulan tanah untuk tiga sistem perhutani ialah Acrisols, Luvisols dan Cambisols manakala kumpulan tanah untuk monokultur kelapa sawit dan hutan simpan ialah Ferrasols. Jumlah simpanan karbon bagi tanaman perhutani adalah masing-masing sebanyak 79.12 t C ha⁻¹, 85.39 t C ha⁻¹, dan 78.27 t C ha⁻¹. Tanaman monokultur kelapa sawit (16 tahun) dan hutan simpan pula masing-masing sebanyak 76.44 t C ha⁻¹ dan 287.39 t C ha⁻¹. Analisis statistik *One-way between group Analysis of Variance* yang dibuat berdasarkan simpanan karbon pada dirian pokok, lapisan organik dan tumbuhan renek menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p < 0.05$) bagi tanaman perhutani, monokultur dan hutan simpan. Simpanan karbon tanah tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan ($p > 0.05$) pada tanaman perhutani, monokultur dan hutan simpan. Keputusan kajian menunjukkan simpanan karbon sistem perhutani adalah lebih tinggi berbanding pada tanaman monokultur. Pengurusan tanaman dan penggunaan baja pada tanaman perhutani dan monokultur membantu meningkatkan organik karbon tanah.

ABSTRACT

ABOVE AND BELOW GROUND CARBON STOCK ESTIMATION OF AGROFORESTRY SYSTEM

Studies on total aboveground carbon (TAC) and belowground carbon (TBC) stock have been conducted in Balung Plantation, Tawau, Sabah. The main objective of the study was to quantify above and below ground carbon stock on agroforestry system. Three combinations of oil palm and agarwood in agroforestry systems with different age were investigated. The combinations are oil palm (27 years) and agarwood (7 years), oil palm (20 years) and agarwood (7 years) and oil palm (17 years) and agarwood (5 years). Monoculture oil palm (16 years) and Taman Bukit Tawau forest reserve was set as a control. The size of the sampled area in agroforestry and monoculture are 50m × 50m, while for forest reserve, the sampled area is 30m x 30m. Soil profile description conducted in each combination with 100 cm depth. Soil samples were collected from three different layers which are 0-5 cm, 5-10 cm and 10-30 cm in randomly located sites within the plots. Bulk density was collected using standard soil corer 100 cm³. Site specific allometric equations were used to calculate stand biomass. Sampling for organic and shrub layers were collected within plot in a square frame (1m × 1m). Analysis for carbon content for soil samples, organic and shrub layer were using CHN628 series. Soil profile description shows different soil profile on different land uses have different soil order, soil unit and soil group. Based on Sabah Soil Classification the soil family for three agroforestry systems in different ages were Kinabutan, Kobovan and Bombalai. Soil family for forest reserve is Table while monoculture oil palm is Jarangan. Based on Soil Taxonomy (USDA), the soil order for three agroforestry systems in different ages were Inceptisols, Luvisols and Ultisols while soil order for forest reserve and monoculture oil palm were Oxisols. Based on WRB, the soil group for three agroforestry systems in different ages were Acrisols, Luvisols and Cambisols while soil group for forest reserve and monoculture oil palm were Ferrasols. The amount of total above and below ground carbon stock for each agroforestry combinations was 79.12 t C ha⁻¹, 85.39 t C ha⁻¹, and 78.27 t C ha⁻¹, respectively. Monoculture oil palm (16 years) and forest reserve shows the amount of carbon of 76.44 t C ha⁻¹, and 287.39 t C ha⁻¹, respectively. A one-way between-groups analysis of variance on total carbon stock show a statistically significant different ($p < 0.05$) for tree stand, organic layer and shrub layer in agroforestry, monoculture and forest reserve. Soil carbon ($p > 0.05$) was not statistically significant different in different land use. Result of the study show that carbon stock in agroforestry system is higher compare to monoculture. Good crop and fertilizer management in agroforestry and monoculture systems might help increase SOC.

KANDUNGAN

	Halaman
TAJUK	i
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI GAMBARAJAH	xi
SENARAI JADUAL	xiii
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	xv
SENARAI LAMPIRAN	xvii
SENARAI PENERBITAN	xviii
BAB 1: PENGENALAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Pernyataan masalah	3
1.3 Justifikasi kajian	4
1.4 Objektif kajian	4
1.5 Hipotesis kajian	5
BAB 2: SOROTAN LITERATUR	
2.1 Kitaran karbon	6
2.2 Simpanan karbon	10
2.3 Sistem Perhutani sebagai medium simpanan karbon	13
2.4 Ladang Kelapa Sawit di Malaysia	15
2.5 Kajian berkaitan simpanan biojisim dan karbon	15
2.5.1 Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis</i>)	15

2.5.2	Gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>)	17
2.5.3	Hutan Simpan	18
2.6	Simpanan karbon dalam tanah	19
BAB 3: METADOLOGI KAJIAN		
3.1	Lokasi kawasan kajian	21
3.2	Plot kajian	22
3.3	Pemerihalan profil tanah	27
3.4	Pengambilan sampel	27
3.4.1	Persampelan tanah	27
3.4.2	Inventori pokok	27
3.4.3	Lapisan organik	27
3.4.4	Tumbuhan renek	28
3.5	Penyediaan sampel tanah	28
3.6	Analisis sifat-sifat fizikal tanah	28
3.6.1	Kelembapan tanah	28
3.6.2	Tekstur tanah	28
3.6.3	Ketumpatan pukal tanah	29
3.7	Analisis sifat-sifat kimia tanah	29
3.7.1	pH tanah	29
3.7.2	Bahan organik tanah	29
3.7.3	Keupayaan pertukaran kation (KPK)	30
3.7.4	Karbon, nitrogen dan hidrogen tanah	30
3.8	Pengiraan biojisim	30
3.8.1	Biojisim pokok	30
3.8.2	Biojisim lapisan organik dan tumbuhan renek	31
3.9	Pengiraan simpanan karbon	32
3.9.1	Simpanan karbon dalam tanah	32
3.9.2	Simpanan karbon dirian pokok	32
3.9.3	Simpanan karbon lapisan organik dan tumbuhan renek	32
3.10	Jumlah simpanan karbon	33
3.11	Analisis statistik	33

BAB 4: KEPUTUSAN

4.1	Pemerihalan Profil Tanah, Sifat-Sifat Fizikal dan Kimia dan Pengkelasan Tanah	35
4.1.1	Profil tanah kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun)	35
4.1.2	Profil tanah kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun)	40
4.1.3	Profil tanah kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun)	45
4.1.4	Profil tanah kelapa sawit (16 tahun)	50
4.1.5	Profil tanah hutan simpan	55
4.2	Ketumpatan pukal, karbon dan nitrogen tanah	60
4.3	Inventori dirian pokok	62
4.4	Simpanan biojisim di permukaan tanah	64
4.5	Simpanan karbon di permukaan tanah	65
4.6	Simpanan karbon dalam tanah	67
4.7	Jumlah simpanan karbon di permukaan dan dalam tanah	69
4.8	Analisis statistik	70
4.8.1	Simpanan karbon dirian pokok	70
4.8.2	Simpanan karbon lapisan organik	70
4.8.3	Simpanan karbon tumbuhan renek	71
4.8.4	Simpanan karbon dalam tanah	71

BAB 5: PERBINCANGAN

5.1	Ciri-ciri umum tanah kawasan kajian	72
5.2	Kepadatan tanaman	75
5.3	Simpanan biojisim di permukaan tanah (AGB)	77
5.3.1	Dirian pokok	77
5.3.2	Lapisan organik dan tumbuhan renek	78
5.4	Jumlah simpanan karbon dalam tanah	79
5.5	Jumlah simpanan karbon di permukaan tanah	81
5.6	Jumlah simpanan karbon di permukaan dan dalam tanah	86

BAB 6: KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

6.1	Kesimpulan kajian	90
6.2	Rekomendasi	91

RUJUKAN	93
----------------	----

LAMPIRAN	101
-----------------	-----

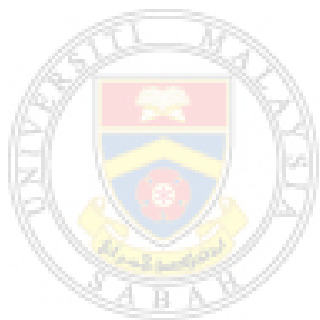


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI GAMBARAJAH

	Halaman
Rajah 1.1: Kadar CCPI pada tahun 2014	2
Rajah 2.1: Kitaran karbon pada struktur hutan	7
Rajah 2.2: Jumlah Pembebasan GHG mengikut gas 1970-2010	8
Rajah 2.3: Jumlah Pembebasan GHG mengikut sektor 1970-2010	9
Rajah 2.4: Klasifikasi simpanan karbon berdasarkan vegetasi tanaman	11
Rajah 2.5: Biojisim pokok kelapa sawit	17
Rajah 3.1: Lokasi kajian (Ladang Balung River, Tawau)	21
Rajah 3.2: Lokasi plot kajian	23
Rajah 3.3: Rekabentuk plot kajian	24
Rajah 3.4: Plot pokok kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun)	25
Rajah 3.5: Plot pokok kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun)	25
Rajah 3.6: Plot pokok kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun)	26
Rajah 3.7: Plot pokok kelapa sawit (16 tahun)	26
Rajah 3.8: Plot hutan simpan	26
Rajah 4.1 : Profil tanah kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun)	37
Rajah 4.2: Profil tanah kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun)	42
Rajah 4.3: Profil tanah kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun)	47
Rajah 4.4: Profil tanah kelapa sawit (16 tahun)	52
Rajah 4.5: Profil tanah hutan simpan	57
Rajah 4.6: Taburan jumlah pokok per hektar	62
Rajah 4.7: Taburan jumlah pokok berdasarkan kelas ketinggian kelapa sawit	63
Rajah 4.8: Taburan jumlah pokok berdasarkan kelas dbh pokok	63

	gaharu	
Rajah 4.9:	Biojisim pokok per hektar mengikut kombinasi tanaman	64
Rajah 4.10:	Biojisim lapisan organik dan tumbuhan renek	65
Rajah 4.11:	Simpanan karbon dirian pokok	66
Rajah 4.12:	Simpanan karbon lapisan organik dan tumbuhan renek	66

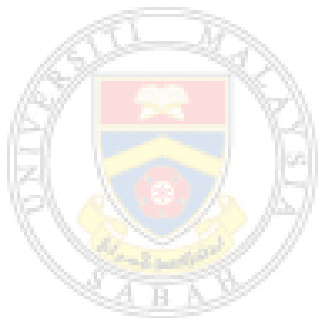


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 2.1: Purata simpanan karbon di permukaan di negara tropika (Malaysia, Indonesia, Papua New Guinea)	12
Jadual 3.1: Lokasi plot Kajian	24
Jadual 4.1: Ciri-ciri umum profil tanah kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun)	35
Jadual 4.2: Pemerihalan profil tanah kelapa sawit (27 tahun) dan gaharu (7 tahun)	36
Jadual 4.3: Sifat-sifat fizikal dan bahan organik tanah	38
Jadual 4.4: Sifat-sifat kimia tanah	38
Jadual 4.5: Ciri-ciri umum profil tanah kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun)	40
Jadual 4.6: Pemerihalan profil tanah kelapa sawit (20 tahun) dan gaharu (7 tahun)	41
Jadual 4.7: Sifat-sifat fizikal dan bahan organik tanah	43
Jadual 4.8: Sifat-sifat kimia tanah	43
Jadual 4.9: Ciri-ciri umum profil tanah kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun)	45
Jadual 4.10: Pemerihalan profil tanah kelapa sawit (17 tahun) dan gaharu (5 tahun)	46
Jadual 4.11: Sifat-sifat fizikal dan bahan organik tanah	48
Jadual 4.12: Sifat-sifat kimia tanah	48
Jadual 4.13: Ciri-ciri umum profil tanah kelapa sawit (16 tahun)	50
Jadual 4.14: Pemerihalan profil tanah kelapa sawit (16 tahun)	51
Jadual 4.15: Sifat-sifat fizikal dan bahan organik tanah	53
Jadual 4.16: Sifat-sifat kimia tanah	53
Jadual 4.17: Ciri-ciri umum profil tanah hutan simpan	55
Jadual 4.18: Pemerihalan profil tanah hutan simpan	56
Jadual 4.19: Sifat-sifat fizikal dan bahan organik tanah	58
Jadual 4.20: Sifat-sifat kimia tanah	58
Jadual 4.21: Ketumpatan Pukal, Karbon dan Nitrogen Tanah	60

Jadual 4.22:	Jumlah simpanan karbon di permukaan tanah	67
Jadual 4.23:	Simpanan karbon dalam tanah	68
Jadual 4.24:	Jumlah simpanan karbon di permukaan dan dalam tanah	69
Jadual 5.1:	Kajian lepas berkaitan simpanan karbon di permukaan tanah (AGC) hutan simpan yang telah dibalak	84
Jadual 5.2:	Kajian lepas berkaitan simpanan karbon di permukaan tanah (AGC) kawasan ladang perhutani	85
Jadual 5.3:	Kajian lepas berkaitan simpanan karbon di permukaan tanah (AGC) di ladang kelapa sawit	85

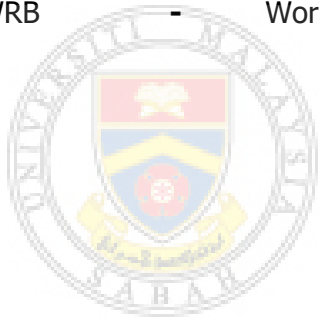


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

AFOLU	-	Agriculture, Forestry and Other land Use
AGB	-	Above Ground Biomass
AGC	-	Above Ground Carbon
Al	-	Aluminium
ANOVA	-	Analysis of Variance
C	-	Karbon
Ca	-	Kalsium
CCPI	-	Climate Change Performance Index
CEC	-	Keupayaan Pertukaran Kation (Cation exchange capacity)
CH ₄	-	Metana
CITES	-	Convention on International Trade in Endangered Species
cm	-	Sentimeter
CNS	-	Carbon – Nitrogen – Sulpur
CO ₂	-	Karbon Dioksida
dbh	-	Diameter at Breast Height
FAO	-	Food and Agriculture Organization
GHG	-	Green House Gases
GIS	-	Geographic Information System
Gt	-	Giga tan
H	-	Hidrogen
ha	-	Hektar
H ₂ O	-	Air
H ₂ CO ₃	-	Asid Karbonik
ICRAF	-	International Centre for Research in Agroforestry
IEA	-	International Energy Agency
IPCC	-	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	-	Kalium
KCL	-	Kalium Klorida
m	-	Meter
MC	-	Kelembapan Tanah
MDF	-	Moderate Disturbance Forest

meq	-	Milliequivalents
Mg	-	Magnesium
Na	-	Natrium
N ₂ O	-	Nitrus Oksida
OM	-	Bahan Organik
pH	-	Potential Hydrogen
PORIM	-	Palm Oil Research Institutes of Malaysia
REDD+	-	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation
RIL	-	Reduced Impact Logging
SOC	-	Soil Organic Carbon
SOM	-	Soil Organic Matter
Tt	-	Tera tan
USDA	-	United States Department of Agriculture
WRB	-	World Reference Bases



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Taburan jumlah pokok berdasarkan kombinasi tanaman	100
Lampiran 2	Biojisim dirian pokok	101
Lampiran 3	Simpanan karbon dirian pokok	102
Lampiran 4	Simpanan karbon lapisan organik dan tumbuhan renek	103



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI PENERBITAN

Prosiding Seminar

[2014]

1. **Herawandi, S.,** Normah, A.B.R., Phua, M.H., and Mokhtar, M. Above – Ground Carbon Stock Estimation of Agroforestry Systems in Balung Plantations, Tawau, Sabah. *The Soil Science Conference of Malaysia*. Kangar, Perlis, Malaysia. 08-10 April 2014. [ISBN: 9789679945362]. Diterima untuk pembentangan poster.
2. **Herawandi, S.,** Normah, A.B.R., Phua, M.H., and M. Mokhtar, M. Above – Ground Carbon Stock Estimation of Agroforestry and Forest Reserve in Balung, Tawau, Sabah. *International Seminar on Tropical Carbon Stock Assesment*. Universiti Malaysia Sabah, Malaysia. 29 Mei 2014. Diterima untuk pembentangan poster.

[2015]

1. **Herawandi, S.,** Normah, A.B.R., Phua, M.H., and Mokhtar, M. Above and Below Ground Carbon Stock Estimation in Different land Use. *The Soil Science Conference of Malaysia*. Putrajaya, Malaysia. 7-8 April 2015. [ISBN: 9789679945379]. Diterima untuk pembentangan poster.
2. **Herawandi, S.,** Normah, A.B.R., Phua, M.H., and Mokhtar, M. Carbon Stock Estimation of Agroforestry System in Tawau, Sabah. Postgraduate Seminar 2015, Faculty of Science and Natural Resource, Universiti Malaysia Sabah. 19 - 20 Mei 2015. [ISBN: 9789832641582]. Diterima untuk pembentangan lisan.

Penerbitan Journal

[2015]

1. **Herawandi, S.,** Normah, A.B.R., Phua, M.H., and Mokhtar, M. Carbon Stock Estimation Agroforestry System in Tawau, Sabah. *Transaction on Science and Technology*, 3(1), 25-30 2015. [ISSN: 2289-8786].

BAB 1

PENGENALAN

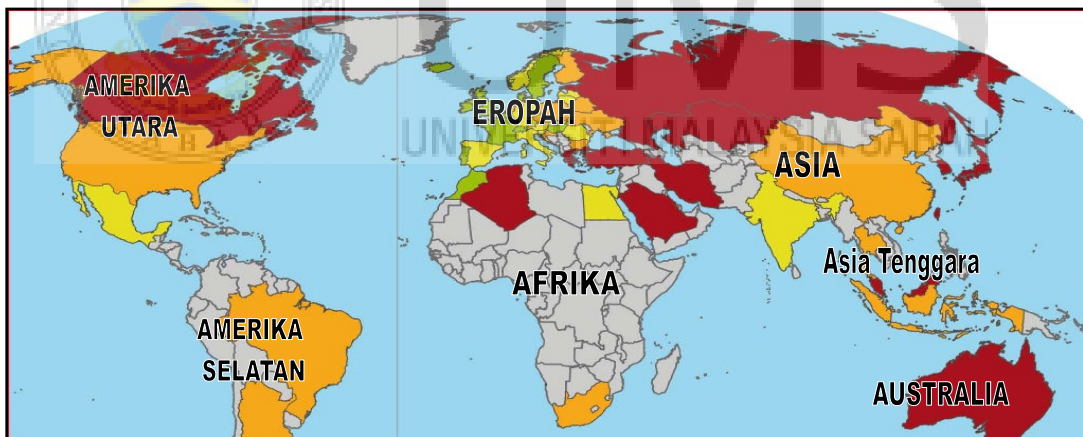
1.1 Pengenalan

Pertumbuhan ekonomi dan populasi manusia yang meningkat sejak era perindustrian (1970) diperkenalkan sehingga kini menyebabkan peningkatan suhu global khususnya beberapa dekad yang lepas. Penyumbang utama kepada peningkatan suhu global adalah gas karbon dioksida (CO_2), nitrus oksida (N_2O), metana (CH_4), ozon dan wap air. Suhu global telah mencapai kadar yang belum pernah direkodkan sejak pertengahan abad ke-20 (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 2013). Pembebasan gas antropogenik direkodkan meningkat daripada 27 Gt CO_2 setahun pada tahun 1970 kepada 49 Gt CO_2 setahun pada tahun 2010. Pembebasan gas antropogenik meningkat sebanyak 2.2% setahun sejak tahun 2000-2010 (IPCC, 2014). Pembebasan GHG dan kesan antropogenik lain adalah faktor utama yang menyebabkan perubahan iklim semasa (IPCC, 2014). Perubahan iklim yang berterusan dijangka akan memberi kesan negatif kepada manusia. Oleh itu, pelbagai usaha telah dijalankan untuk mengurangkan pembebasan *greenhouse gases* (GHG) seterusnya meminimalkan kesan negatif pemanasan global.

Perubahan kepekatan GHG dan aerosol pada atmosfera, struktur hutan dan sinaran radiasi mengubahimbangan yang mengawal iklim bumi. Ia memberi kesan terhadap penyerapan, penyebaran dan pengeluaran sinaran dalam atmosfera dan di permukaan bumi. Karbon dioksida adalah penyumbang utama kesan rumah hijau disebabkan kepekatannya yang lebih tinggi berbanding GHG yang lain. GHG yang terperangkap pada udara menghasilkan radiasi inframerah dan menyebabkan peningkatan suhu bumi. Kepekatan gas rumah hijau yang semakin meningkat menyebabkan suhu bumi meningkat lebih 0.74 darjah sejak 100 tahun yang lalu (1901-2005) (IPCC, 2007). Walaupun jumlahnya sangat kecil namun kesannya terhadap persekitaran adalah sangat jelas. Peningkatan paras air laut, runtuhannya

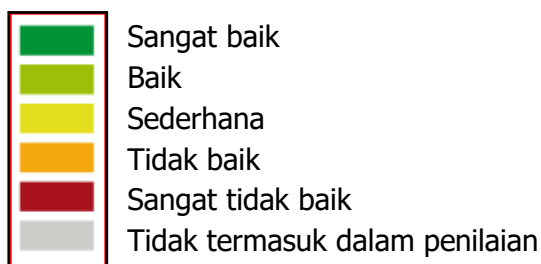
galsier di kutub bumi, kejadian banjir, kemarau yang semakin kerap dan fenomena ribut taufan adalah kesan peningkatan suhu bumi (Cowie, 2007 ; Jager dan Ferguson, 1991).

Kesan utama rumah hijau adalah perubahan iklim semasa. Kajian mengenai perubahan iklim semasa dunia telah dijalankan pada tahun 2012 berdasarkan *Global Forest Resource Assessment 2011* yang dijalankan oleh *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) melibatkan pembebasan gas antropogenik daripada penebangan struktur hutan (FAO, 2010). Maklumat berkaitan pembebasan global GHG diambil daripada *International Energy Agency* (IEA, 2013). *Climate Change Performance Index* (CCPI) telah direkodkan di seluruh dunia meliputi 58 buah negara. Walaupun terdapat beberapa negara yang merekodkan kadar CCPI yang rendah dan memberi harapan perubahan iklim semasa dapat dikurangkan namun tidak terdapat satu negara pun yang tergolong dalam kategori CCPI yang sangat baik (Burck *et al.*, 2014). Kebanyakan negara berada di tahap CCPI yang sangat tidak baik. Rajah 1.1 menunjukkan kadar CCPI pada tahun 2014.



Rajah 1.1: Kadar CCPI pada tahun 2014.

Sumber: *Climate Change Performance Index 2014* (Burck *et al.*, 2014)



Sistem perhutani adalah salah satu aktiviti yang menyumbang kepada penyimpanan karbon. Sistem perhutani merujuk kepada aktiviti perladangan yang menggabungkan tanaman pada unit tanah yang sama. Sistem ini melibatkan pengeluaran jangka masa panjang iaitu pokok hutan, tanaman pertanian jangka masa pendek dan penternakan. Penyimpanan karbon pada struktur pokok hutan sementara tanaman pertanian diusahakan meningkatkan keupayaan sistem perhutani dalam penyerapan karbon (Kursten, 2000). Terdapat tiga sistem perhutani iaitu agrisilvikultural, silvopastural, dan agrosilvipastural. Sistem perhutani memberi kesan baik terhadap pertanian konvensional dan pengeluaran pokok hutan melalui peningkatan hasil pengeluaran, pemuliharaan biodiversiti, faedah ekonomi dan sosial serta maafaat kepada ekologi (*International Centre for Research in Agroforestry*, 1995).

1.2 Pernyataan Masalah

Salah satu penyumbang utama kesan rumah hijau adalah daripada pembukaan tanah-tanah baru bagi kawasan perladangan dan pertanian. Pembukaan tanah baru secara tidak terkawal akan mengakibatkan kesan rumah hijau seperti pemanasan global, penipisan lapisan ozon, dan perubahan iklim. Kebanyakan tanah yang dibuka adalah daripada kawasan-kawasan hutan yang merupakan tapak utama simpanan karbon.

Pembukaan tanah hutan bagi ladang kelapa sawit di Malaysia khususnya di Sabah adalah meluas. Walaupun ladang sawit turut menjadi tapak simpanan karbon, namun penebangan struktur hutan untuk ladang-ladang kelapa sawit menyumbang kepada pembebasan karbon yang tinggi. Simpanan karbon ladang kelapa sawit dianggarkan cuma 30-40 tan ha⁻¹ (Agus *et al.*, 2013) berbanding hutan simpan tanah rendah sehingga 400 tan ha⁻¹ (Zeigler *et al.*, 2012). Salah satu kaedah yang mampu meningkatkan penyimpanan karbon pada ladang kelapa sawit adalah melalui sistem perhutani. Selain mengoptimumkan penggunaan tanah, sistem perhutani juga meningkatkan fertiliti tanah dan simpanan karbon jika dibandingkan dengan sistem monokultur. Penanaman pokok hutan dan kelapa sawit secara perhutani dijangkakan dapat meningkatkan penyerapan karbon pada

udara seterusnya memberi kesan positif terhadap keseimbangan ekosistem dan juga faedah ekonomi.

Namun begitu, potensi sistem perhutani khususnya di negara-negara tropika seperti Malaysia dalam penyimpanan karbon masih tidak dapat dipastikan. Sebagai negara pengeluar minyak kelapa sawit kedua terbesar dunia sebanyak 32% daripada jumlah pengeluaran minyak sawit dunia, kepentingan ladang kelapa sawit dari segi ekonomi adalah sangat tinggi (*United States Department of Agriculture, 2015*). Namun begitu, faedah ekonomi perlu ditingkatkan sejajar dengan kepentingan ekosistem. Penyelidikan yang berterusan diperlukan supaya potensi sistem perhutani khususnya di ladang-ladang kelapa sawit dapat dipastikan dan menjadi rujukan kepada kajian masa hadapan.

1.3 Justifikasi Kajian

Kajian ini bertujuan untuk menjadi rujukan kepada kajian akan datang kerana kajian mengenai simpanan karbon berkaitan sistem perhutani melibatkan dirian kelapa sawit masih kurang di Malaysia. Kajian mengenai keupayaan dan potensi sistem perhutani dalam penyerapan karbon di permukaan dan dalam tanah juga masih perlu diperluaskan. Selain dari itu, kajian ini seterusnya menjelaskan kepentingan sistem perhutani dalam penyimpanan dan penyerapan karbon di Malaysia.

Menurut pengarah perhutanan negeri Sabah Datuk Sam Mannan (pengucapan awam, 2011), jumlah keluasan ladang kelapa sawit Sabah adalah 19 peratus daripada jumlah keluasan Sabah (7 363 100 hektar). Jumlah keluasan ladang kelapa sawit Sabah dianggarkan sebanyak 1 361 723 hektar ataupun 24 peratus daripada jumlah keluasan ladang kelapa sawit Malaysia (Omar *et al.*, 2010). Faktor keluasan tanaman kelapa sawit dijangka menyumbang besar dalam penyerapan karbon dalam udara. Sebagai negeri pengeluar minyak sawit utama di Malaysia, kajian berkaitan potensi kelapa sawit dalam menyerap karbon masih perlu diperluaskan di Sabah. Keupayaan spesies ini untuk tumbuh dengan baik dan subur sesuai dengan sumber tanah di Malaysia boleh meningkatkan penyerapan karbon.

1.4 Objektif Kajian

Penyelidikan ini dijalankan untuk mengkaji simpanan karbon di permukaan dan dalam tanah dalam sistem perhutani di ladang Balung River, Tawau, Sabah. Objektif spesifik kajian ini adalah:

- i. Mengkaji sifat fizik dan kimia tanah serta mengelaskan tanah mengikut sistem pengelasan tanah Sabah, taksonomi tanah (USDA) dan *World Reference Base* (WRB).
- ii. Mengkaji simpanan biojisim di sistem perhutani, monokultur dan hutan simpan.
- iii. Mengkuantifikasi dan membandingkan simpanan karbon di permukaan tanah dan dalam tanah di sistem perhutani, monokultur dan hutan simpan.

1.5 Hipotesis Kajian

Berikut adalah merupakan hipotesis-hipotesis yang terlibat dalam kajian ini:

- i. Simpanan karbon di permukaan tanah.

H_0 = Simpanan karbon di permukaan tanah melebihi simpanan karbon di dalam permukaan tanah.

H_1 = Simpanan karbon di permukaan tanah kurang daripada simpanan karbon di dalam permukaan tanah.

- ii. Jumlah simpanan karbon (tan C ha^{-1})

H_0 = Jumlah simpanan karbon dalam sistem perhutani lebih tinggi daripada jumlah simpanan karbon dalam sistem monokultur.

H_1 = Jumlah simpanan karbon dalam sistem perhutani lebih rendah daripada jumlah simpanan karbon dalam sistem monokultur.

H_2 = Jumlah simpanan karbon dalam sistem perhutani lebih tinggi daripada jumlah simpanan karbon dalam hutan simpan.

H_3 = Jumlah simpanan karbon dalam sistem perhutani lebih rendah daripada jumlah simpanan karbon dalam hutan simpan.