

PENGELUARAN PRIMER BERSIH KAWASAN HUTAN HUJAN TROPIKA
MENGUNAKAN DATA ASTER

MOHD AZAHARI BIN FAIDI

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

PENGELUARAN PRIMER BERSIH KAWASAN HUTAN HUJAN TROPIKA
MENGUNAKAN DATA ASTER

MOHD AZAHARI BIN FAIDI

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Sains (Remote Sensing)

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

SEPTEMBER 2009

Tesis ini didedikasikan buat keluarga yang telah banyak memberi sokongan dan semangat untuk saya terus gigih berusaha, iaitu, Faidi Bin Miskon (Ayah), Rukana Binti Darus (Emak), Mohd Fadzli Bin Faidi (Abang), Siti Fadzilah Binti Faidi (Kakak), dan Suriati Binti Faidi (Kakak). Serta buat insan yang menjadi sumber inspirasi dan pemberi dorongan semangat untuk saya terus mengejar cita-cita iaitu, Sa'aidah Binti Mohd Salleh. Tidak dilupa juga buat rakan-rakan seperjuangan yang telah sama-sama berganding baru membantu dan memberi galakan iaitu, Hamdan Bin Omar, Nur Aznim Binti Azizi dan Yuswirda Binti Yusak

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ke hadrat ALLAH s.w.t yang memberi petunjuk dan limpah rahmat sehingga terhasilnya tesis sarjana ini. Setinggi terima kasih diucapkan kepada Profesor Madya Dr. Ab Latif Bin Ibrahim selaku penyelia projek Sarjana ini. Bimbingan dan nasihat yang beliau berikan telah banyak membantu dalam menjalankan dan menjayakan kajian ini. Saya juga ingin mengucapkan setinggi terima kasih kepada Profesor Dr. Mazlan Bin Hashim yang telah banyak memberi panduan dan cetusan idea bagi memudahkan penghasilan tesis ini.

Tidak dilupakan juga kepada semua pensyarah di Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi terutamanya kepada En. Wahid Bin Rasib dan En Wan Hazli Bin Wan Kadir yang tidak putus-putus memberikan dorongan sepanjang pembelajaran saya di Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Penghargaan ini juga saya tujukan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi (MOSTI) yang telah menaja sara hidup saya sepanjang penyelidikan sarjana ini dijalankan menerusi Hadiah Skim Biasiswa Penyelidikan Sains National (*National Science Fellowship*, NSF).

Selain daripada itu, penghargaan juga diberikan kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam menyiapkan projek sarjana ini. Ucapan setinggi terima kasih diucapkan.

ABSTRAK

Perkembangan pesat dalam sektor perindustrian, perbandaran dan pertanian telah menyebabkan peningkatan kandungan gas-gas rumah kaca di atmosfera, terutamanya gas karbon dioksida (CO₂). Peningkatan kandungan CO₂ di atmosfera pula merupakan punca utama kepada fenomena pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh hal yang demikian, pengetahuan tentang kewujudan, kandungan serta kehilangan CO₂ di atmosfera adalah amat penting. Ini dapat membantu untuk memastikan kandungan CO₂ di atmosfera berada dalam keadaan seimbang. Salah satu cara untuk memantau kandungan CO₂ di atmosfera ialah dengan mengukur jumlah penyerapan CO₂ dari atmosfera oleh tumbuhan sama ada melalui pengukuran biojisim tumbuh-tumbuhan ataupun dengan mengukur jumlah Pengeluaran Primer Bersih (NPP). Tujuan utama kajian ini adalah untuk membuat penilaian terhadap Kaedah Eko-Fisiologi, iaitu salah satu kaedah untuk menentukan nilai NPP menggunakan data satelit remote sensing. Data satelit ASTER dengan resolusi ruang 15 meter dan julat panjang gelombang antara 0.52 μm hingga 0.86 μm telah digunakan bagi menilai empat model yang terdapat dalam Kaedah Eko-Fisiologi. Penilaian model-model tersebut adalah berdasarkan kepada ketepatan pengukuran nilai NPP bagi kawasan hutan, kelapa sawit dan getah di sekitar Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan. Penilaian ketepatan ditentukan berdasarkan kepada nilai Pekali Ubahan (CV) sebagai penentu ralat dan juga perbandingan dengan hasil-hasil dari kajian terdahulu. Hasil penilaian menunjukkan Model Kecekapan Pengeluaran Global (GLOPEM) memberikan nilai terbaik untuk pengiraan NPP bagi hutan dan getah dengan nilai CV masing-masing adalah 4.7% dan 3.0%. Manakala Model Pendekatan Carnegie Ames Stanford (CASA) memberikan nilai CV sebanyak 7.85% bagi kelapa sawit. Nilai NPP yang diperoleh untuk ketiga-tiga jenis tumbuhan dengan menggunakan Model VPM dan C-Fix pula memberikan hasil ketepatan yang rendah. Secara keseluruhannya, julat NPP yang diperoleh bagi ketiga-tiga jenis tumbuhan adalah antara 451.58 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ hingga 3042.20 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$. Daripada julat ini, purata NPP bagi hutan, kelapa sawit dan getah masing-masing sebanyak 2812.5 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, 2377.0 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ dan 2864.6 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$.

ABSTRACT

Rapid development in industrialisation, urbanisation and agricultural sectors have contributed to an increased in green house gases in the atmosphere, particularly carbon dioxide (CO₂). An increased in CO₂ concentration in the atmosphere is considered as one of the main factors that caused the phenomena of global warming and climate change. Thus, knowledge pertaining the existence, concentration and losses of CO₂ in the atmosphere are very important. This is very useful for ensuring the concentrations of CO₂ in the atmosphere remain in the state of balance. One of the ways to monitor the content of CO₂ in the atmosphere is through the measurement of the rate of absorptions of CO₂ by vegetation. This can be carried out either by determining the biomass or the Net Primary Productivity (NPP) of the vegetation. The main objective of this study is to evaluate the Eco-Physiological Approach that is one of the approaches used to determine NPP using remote sensing data. ASTER satellite data with the spatial resolution of 15 meter and the spectral range of 0.52 μm of 0.86 μm were used for the evaluation of four models from the Eco-Physiological approach. The evaluation of these models were based on the accuracy of the measured NPP values for three types of vegetation such as forest, oil palm and rubber in the vicinity of Pasoh Forest Reserve in Negeri Sembilan. An assessment was made by determining the Coefficient of Variation (CV) to calculate error and also through comparison with results from previous studies. This study showed that Global Production Efficiency Model (GLOPEM) gives the highest accuracy of NPP for forest and rubber with CV of 4.7% and 3.0% respectively. While Carnegie Ames Stanford Approach Model (CASA) is appropriate for oil palm with CV of 7.85%. Values of NPP for all the three vegetation types obtained using VPM and C-Fix models showed a very low accuracy. As a whole, the range of NPP obtained for forest, oil palm and rubber are within the range of 451.58 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ to 3042.20 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$. Average values of NPP for forest, oil palm and rubber is 2812.5 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, 2377.0 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ and 2864.6 $\text{gCm}^{-2} \text{yr}^{-1}$ respectively.

SENARAI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	HALAMAN JUDUL	i
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	SENARAI KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xii
	SENARAI RAJAH	xiv
	SENARAI SINGKATAN DAN SIMBOL	xviii
	SENARAI LAMPIRAN	xxii
1	Pengenalan	
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Penyataan Masalah	6
	1.3 Objektif Kajian	8
	1.4 Skop Kajian	8
	1.5 Signifikan Kajian	9
	1.6 Kawasan Kajian	11
	1.6.1 Jenis Guna Tanah	12
	1.6.2 Iklim	13
	1.6.3 Kemudahan	13

2	LATAR BELAKANG KAJIAN	
2.1	Pendahuluan	15
2.2	Konsentrasi Gas Rumah Hijau dan Pemanasan Sejagat	17
2.2.1	Keseimbangan Kitar Karbon	18
2.2.2	Kesan Perubahan Guna Tanah Terhadap Aliran Kitar Karbon	20
2.3	Eko-Fisiologi Tumbuhan	21
2.4	Persekitaran Fizikal Tumbuhan	23
2.5	Pengeluaran Primer Bersih Tumbuhan	25
2.5.1	Kaedah Penganggaran Pengeluaran Primer Bersih	26
2.5.1.1	Kaedah Biometrik	27
2.5.1.2	Kaedah Berangka	28
2.5.1.3	Kaedah Permodelan Ekosistem	29
2.5.1.4	Kaedah Mikro-Meteorologi	31
2.5.1.5	Kaedah Eko-Fisiologi	33
2.5.1.6	Kaedah Remote Sensing	34
2.5.2	Kesan Faktor Persekitaran Terhadap Pengeluaran Primer Tumbuhan	35
2.6	Penilaian Kaedah Eko-Fisiologi Menggunakan Data Remote Sensing	37
2.6.1	Model CASA	39
2.6.2	Model GLOPEM	41
2.6.3	Model VPM	42
2.6.4	Model C-Fix	44
2.7	Parameter Utama Kaedah Eko-Fisiologi	46
2.7.1	Pengeluaran Primer Kasar	46
2.7.2	Kadar Kecekapan Penggunaan Cahaya	47
2.7.3	Radiasi Aktif Fotosintesis	47
2.7.4	Faktor Kesan Sejatpeluhan	48
2.7.5	Faktor Kesan Suhu Persekitaran	49
2.7.6	Sebahagian Penyerapan Radiasi Aktif Fotosintesis	50

2.8	Data ASTER	51
2.8.1	Ciri- Ciri Penderia ASTER	53
2.8.2	Aplikasi Penggunaan Data ASTER Melalui Kombinasi Jalur	54
2.9	Ringkasan	55
3	METODOLOGI KAJIAN	
3.1	Pendahuluan	56
3.2	Metodologi Kajian	57
3.2.1	Bahagian 1 : Perolehan Data	59
3.2.1.1	Data Remote Sensing	59
3.2.1.2	Data Meteorologi	61
3.2.1.3	Data Sokongan	62
3.2.2	Bahagian 2 : Pra-Pemprosesan	63
3.2.2.1	Pembetulan <i>Crosstalk</i>	65
3.2.2.2	Pensampelan Jalur ASTER	66
3.2.2.3	Pembetulan Putaran Imej	67
3.2.2.4	Pembetulan Geometri	68
3.2.2.5	Pembetulan Radiometrik	71
3.2.2.6	Penopengan Awan dan Pemotongan Kawasan Kajian	73
3.2.3	Bahagian 3 : Pemprosesan	73
3.2.3.1	Indeks Tumbuhan	75
3.2.3.1.1	Indeks Pembezaan Normalisasi Tumbuhan	75
3.2.3.1.2	Indeks Air Permukaan Tanah	76
3.2.3.1.3	Indeks Penonjolan Tumbuhan	77
3.2.3.2	Suhu Permukaan	77
3.2.3.3	Penganggaran Radiasi Bersih	79
3.2.3.4	Penerbitan Nisbah Sejatpeluhan	81
3.2.3.5	Radiasi Aktif Fotosintesis	87

3.2.4	Bahagian 4 : Aplikasi Model	88
3.2.4.1	Model CASA	89
3.2.4.2	Model GLOPEM	93
3.2.4.3	Model VPM	96
3.2.4.4	Model C-Fix	99
3.2.5	Bahagian 5 : Analisis	103
3.3	Perisian dan Perkakasan	106
4	HASIL DAN ANALISIS	
4.1	Pendahuluan	107
4.2	Penyediaan Peta Dasar Kawasan Kajian	107
4.3	Penyediaan Data ASTER Kawasan Kajian	109
4.4	Hasil Pra-Pemprosesan data ASTER	110
4.4.1	Hasil Pembetulan Crosstalk Data Mentah ASTER	110
4.4.2	Hasil Pembetulan Radiometrik dan Mozek Data ASTER	111
4.4.3	Hasil Pengelasan Guna Tanah Kawasan Kajian	113
4.5	Hasil Penyediaan Parameter Model Eko-Fisiologi	115
4.5.1	Pengekstrakan Indeks Tumbuhan	116
4.5.1.1	Indeks Pembezaan Normalisasi Tumbuhan	116
4.5.1.2	Indeks Air Permukaan Tanah	119
4.5.1.3	Indeks Penonjolan Tumbuhan	121
4.5.2	Suhu Permukaan	123
4.5.3	Albedo Permukaan	124
4.5.4	Radiasi Bersih	126
4.5.5	Radiasi Solar	127
4.5.6	Sejatpeluhan Potensi	129
4.5.7	Sejatpeluhan Sebenar	131
4.6	Penerbitan Parameter Utama Kaedah Eko-Fisiologi	133
4.6.1	Kadar Kecekapan Penggunaan Cahaya	133
4.6.2	Sebahagian Penyerapan Radiasi Aktif Fotosintesis	138

4.6.3	Radiasi Aktif Fotosintesis	141
4.7	Penilaian Kaedah Eko-Fisiologi	143
4.7.1	Hasil NPP Model CASA	143
4.7.2	Hasil NPP Model GLOPEM	144
4.7.3	Hasil NPP Model VPM	146
4.7.4	Hasil NPP Model C-Fix	148
4.7.5	Hasil Purata NPP Keseluruhan	149
4.8	Sensitiviti Kaedah Eko-Fisiologi Terhadap Perubahan Persekitaran	151
4.8.1	Hubungan Antara NPP dan Faktor Persekitaran	152
4.8.2	Sensitiviti Kaedah Eko-Fisiologi Terhadap Indeks Tumbuhan	161
4.9	Analisis Hasil Aplikasi Kaedah Eko-Fisiologi	170
4.9.1	Analisis Hasil Penerbitan Parameter Kaedah Eko-Fisiologi	170
4.9.2	Analisis Hasil Pengeluaran Primer Bersih	174
4.10	Analisis ketepatan hasil Pengeluaran Primer Bersih	178
4.10.1	Penilaian Ketepatan Pengeluaran Primer Bersih Getah	179
4.10.2	Penilaian Ketepatan Pengeluaran Primer Bersih Kelapa Sawit	180
4.10.3	Penilaian Ketepatan Pengeluaran Primer Bersih Hutan	181
4.11	Peta Hasil Akhir	183
4.12	Ringkasan	184
5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	188
5.1	Kesimpulan	188
5.2	Cadangan	189
	RUJUKAN	191
	Lampiran A-I	204-213

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Ringkasan Kaedah Eko-Fisiologi yang terlibat dalam kajian ini	45
2.2	Julat spektrum jalur imej ASTER	53
3.1	Spesifikasi data ASTER dalam kajian ini	60
3.2	Maklumat projeksi imej	71
4.1	Statistik NDVI kawasan kajian	118
4.2	Statistik LSWI kawasan kajian	120
4.3	Statistik EVI kawasan kajian	122
4.4	Statistik albedo kawasan kajian	126
4.5	Statistik radiasi bersih di kawasan kajian	126
4.6	Statistik radiasi solar di kawasan kajian	129
4.7	Statistik sejatpeluhan potensi di kawasan kajian	131
4.8	Statistik sejatpeluhan sebenar di kawasan kajian	132
4.9	Statistik kadar Kecekapan Penggunaan Cahaya bagi tiga jenis guna tanah utama di kawasan kajian menggunakan Model CASA dan Model GLOPEM	135
4.10	Statistik kadar Kecekapan Penggunaan Cahaya bagi tiga jenis guna tanah utama di kawasan kajian menggunakan Model CASA dan Model GLOPEM	135
4.11	Statistik purata Kecekapan Penggunaan Cahaya kawasan kajian	137
4.12	Statistik nilai FAPAR bagi tiga jenis guna tanah utama kawasan kajian menggunakan Model CASA dan Model GLOPEM	139

4.13	Statistik FAPAR bagi tiga jenis guna tanah utama kawasan kajian menggunakan Model CASA dan Model GLOPEM	139
4.14	Statistik FAPAR bagi tiga jenis guna tanah utama kawasan kajian	141
4.15	Statistik Radiasi Aktif Fotosintesis di kawasan kajian	142
4.16	Statistik NPP di kawasan kajian menerusi Model CASA	144
4.17	Statistik NPP di kawasan kajian menerusi Model GLOPEM	146
4.18	Statistik NPP di kawasan kajian menerusi Model VPM	147
4.19	Statistik NPP di kawasan kajian menerusi Model C-Fix	149
4.20	Statistik purata keseluruhan NPP di kawasan kajian	151
4.21	Hasil hubungan antara radiasi solar dan hasil NPP	155
4.22	Hasil hubungan antara sejatpeluhan dan hasil NPP	158
4.23	Hasil hubungan antara suhu permukaan dan hasil NPP	161
4.24	Hasil hubungan antara NDVI dan hasil NPP	164
4.25	Hasil hubungan antara LSWI dan hasil NPP	167
4.26	Hasil hubungan antara EVI dan hasil NPP	170
4.27	Analisis taburan hasil NPP bagi getah	179
4.28	Analisis ketepatan hasil NPP bagi kelapa sawit	180
4.29	Analisis ketepatan hasil NPP bagi hutan	182
4.30	Statistik parameter Kaedah Eko-Fisiologi bagi guna tanah utama kawasan kajian berdasarkan 90 titik sampel	184
4.31	Statistik hasil penerbitan parameter utama Kaedah Eko-Fisiologi bagi guna tanah utama kawasan kajian berdasarkan 90 titik sampel	185
4.32	Hasil hubungan antara purata hasil NPP menerusi empat model Kaedah Eko-Fisiologi bagi tiga jenis guna tanah utama terhadap parameter utama permodelan NPP	186

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Aliran karbon dalam satu ekosistem	2
1.2	Peta lokasi kawasan kajian: Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan	12
1.3	Purata hujan bulanan kawasan kajian	13
1.4	Data radiasi solar, suhu udara dan defisit tekanan wap kawasan kajian	14
2.1	Konsentrasi karbon dioksida dan perubahan suhu sejagat	18
2.2	Kitaran karbon antara tumbuhan dan atmosfera.	19
2.3	Graf lengkungan tindak balas cahaya matahari dalam fotosintesis	22
2.4	Aliran parameter Permodelan Ekosistem	31
2.5	Graf corak pertumbuhan tumbuhan	37
2.6	Aplikasi penggunaan data ASTER	53
3.1	Metodologi kajian	58
3.2	Data ASTER kawasan Hutan Simpan Pasoh	60
3.3	Data radiasi solar, suhu dan defisit tekanan wap di Hutan Simpan Pasoh	61
3.4	Data sokongan yang digunakan dalam kajian a) Peta Topografi Hutan Simpan Pasoh, b) Peta Guna Tanah Hutan Simpan Pasoh 2000	62
3.5	Carta alir pra-pemprosesan jalur ASTER	64
3.6	Ilustrasi kesan <i>crosstalk</i> pada penerima ASTER	65
3.7	Orientasi imej kepada orientasi peta menggunakan maklumat sudut orientasi dari fail utama imej	67

3.8	Prosedur pembetulan geometri imej ASTER	68
3.9	Carta alir penerbitan parameter utama Kaedah Eko-Fisiologi daripada jalur ASTER	74
3.10	Permodelan CASA	90
3.11	Permodelan GLOPEM	93
3.12	Permodelan VPM	96
3.13	Permodelan C-Fix	100
3.14	Parameter Kaedah Eko-Fisiologi	102
4.1	Peta lokasi kawasan kajian	108
4.2	Imej Set 1 data ASTER a) VNIR (15m), b) SWIR (30m) dan c) TIR (90m)	109
4.3	Imej Set 2 data ASTER a) VNIR (15m), b) SWIR (30m) dan c) TIR (90m)	109
4.4	Perbandingan hasil pembetulan <i>crosstalk</i> jalur SWIR (kombinasi jalur 4,5,9) a) Data mentah jalur 5; dan b) Jalur 5 selepas pembetulan <i>crosstalk</i>	111
4.5	Gambaran keseluruhan imej ASTER selepas dimozekkan. (kombinasi jalur 4, 2, 1)	112
4.6	Data ASTER selepas pra-pemprosesan (kombinasi jalur 3, 2,1)	113
4.7	Hasil pengelasan guna tanah data ASTER 2005	115
4.8	Peratus guna tanah kawasan kajian menerusi pengelasan ASTER tahun 2005	115
4.9	Peta NDVI kawasan kajian	117
4.10	Histogram NDVI kawasan kajian	118
4.11	Histogram LSWI kawasan kajian	119
4.12	Peta LSWI kawasan kajian	120
4.13	Peta EVI kawasan kajian	121
4.14	Histogram EVI kawasan kajian	122
4.15	Peta suhu permukaan kawasan kajian	123
4.16	Histogram bagi suhu permukaan kawasan kajian	124
4.17	Peta albedo permukaan bagi kawasan kajian	125
4.18	Radiasi bersih di kawasan kajian	127

4.19	Radiasi solar di kawasan kajian	128
4.20	Sejatpeluhan potensi bagi kawasan kajian	130
4.21	Sejatpeluhan sebenar bagi kawasan kajian	132
4.22	Hasil kadar kecekapan penggunaan cahaya kawasan kajian a) Model CASA, b) Model GLOPEM, c) Model VPM, dan d) Model C-Fix	134
4.23	Purata kadar kecekapan penggunaan cahaya kawasan kajian	136
4.24	Hasil FAPAR di kawasan kajian, a) Model CASA, b) Model GLOPEM, c) Model VPM dan d) Model C-Fix	138
4.25	Purata hasil FAPAR bagi kawasan kajian	140
4.26	Purata radiasi aktif fotosintesis bagi kawasan kajian	142
4.27	Hasil NPP menerusi Model CASA	143
4.28	Hasil NPP menerusi Model GLOPEM	145
4.29	Hasil NPP menerusi Model VPM	147
4.30	Hasil NPP menerusi Model C-Fix	148
4.31	Purata keseluruhan hasil NPP	150
4.32	Histogram purata keseluruhan hasil NPP	150
4.33	Hubungan antara radiasi solar dan NPP_{CASA}	153
4.34	Hubungan antara radiasi solar dan NPP_{GLOPEM}	153
4.35	Hubungan antara radiasi solar dan NPP_{VPM}	154
4.36	Hubungan antara radiasi solar dan NPP_{C-Fix}	154
4.37	Hubungan antara radiasi solar dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	155
4.38	Hubungan antara sejatpeluhan dan NPP_{CASA}	156
4.39	Hubungan antara sejatpeluhan dan NPP_{VPM}	156
4.40	Hubungan antara sejatpeluhan dan NPP_{GLOPEM}	157
4.41	Hubungan antara sejatpeluhan dan NPP_{C-Fix}	157
4.42	Hubungan antara sejatpeluhan dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	157
4.43	Hubungan antara suhu permukaan dan NPP_{CASA}	159
4.44	Hubungan antara suhu permukaan dan NPP_{GLOPEM}	159
4.45	Hubungan antara suhu permukaan dan NPP_{VPM}	160

4.46	Hubungan antara suhu permukaan dan NPP_{C-Fix}	160
4.47	Hubungan antara suhu permukaan dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	160
4.48	Hubungan antara NDVI dan NPP_{CASA}	162
4.49	Hubungan antara NDVI dan NPP_{GLOPEM}	162
4.50	Hubungan antara NDVI dan NPP_{VPM}	163
4.51	Hubungan antara NDVI dan NPP_{C-Fix}	163
4.52	Hubungan antara NDVI dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	163
4.53	Hubungan antara LSWI dan NPP_{CASA}	165
4.54	Hubungan antara LSWI dan NPP_{GLOPEM}	165
4.55	Hubungan antara LSWI dan NPP_{VPM}	165
4.56	Hubungan antara LSWI dan NPP_{C-Fix}	166
4.57	Hubungan antara LSWI dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	166
4.58	Hubungan antara EVI dan NPP_{CASA}	168
4.59	Hubungan antara EVI dan NPP_{GLOPEM}	168
4.60	Hubungan antara EVI dan NPP_{VPM}	168
4.61	Hubungan antara EVI dan NPP_{C-FIX}	169
4.62	Hubungan antara EVI dan $NPP_{(CASA,GLOPEM,VPM,C-FIX)}$	169
4.63	Peta hasil akhir anggaran NPP Hutan Simpan Pasoh 2005	183

DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

AET	-	Sejatpeluhan Sebenar	-	<i>Actual Evapotranspiration</i>
ASTER	-	Satelit Pemancaran Terma dan Radiometer Pantulan Termaju	-	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
CASA	-	Pendekatan Carnegie Ames Stanford	-	<i>Carnegie Ames Stanford Approach</i>
COST	-	Kos Sudut Zenit Solar	-	<i>Cosines of Solar Zenith Angle</i>
CO ₂	-	Karbon dioksida	-	<i>Carbon dioxide</i>
C-Fix	-	Pasangan Karbon	-	<i>Carbon Fix</i>
CFC	-	Klorofluorokarbon	-	<i>Chlorofluorocarbon</i>
CERES	-	Awan dan Sistem Tenaga Radiasi Bumi	-	<i>Clouds and the Earth's Radiant Energy System</i>
CWSI	-	Indeks Tekanan Air Tumbuhan	-	<i>Crop Water Stress Index</i>
DN	-	Nombor Digital	-	<i>Digital Number</i>
D _j	-	Hari dalam Julian	-	<i>Day in Julian</i>
DEM	-	Model Ketinggian Berdigit	-	<i>Digital Elevation Model</i>
d	-	Jarak Bumi dan Matahari	-	<i>Sun and Earth Distance</i>
dT	-	Beza antara Suhu Permukaan dan Suhu Udara	-	<i>Different Between Surface and Air Temperature</i>
EVI	-	Indeks Penonjolan Tumbuhan	-	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
EMR	-	Radiasi Elektro magnetik	-	<i>Electromagnetic Radiation</i>
ERSDAC	-	Pusat Analisis Data Remote Sensing Bumi, Jepun	-	<i>Earth Remote Sensing Data Analysis Center, Japan</i>
EOS	-	Sistem Pemantauan Bumi	-	<i>Earth Observation System</i>
E _o	-	Faktor Pembetulan Eksentrik	-	<i>Eccentricity Correction Factor</i>

e_o	- Eksentrik orbit	- <i>Orbit Eccentricity</i>
e_m	- Tekanan Wap Tepu	- <i>Saturated Vapour Pressure</i>
e_d	- Tekanan wap pada suhu takat embun	- <i>Vapour pressure at the dew point temperature</i>
FRIM	- Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia	- <i>Forest Research Institute Malaysia</i>
GPP	- Pengeluaran Primer Kasar	- <i>Gross Primary Production</i>
GLOPEM	- Model Kecekapan Pengeluaran Global	- <i>Global Production Efficiency Model</i>
G	- Aliran Haba Tanah	- <i>Soil Heat Flux</i>
G_0	- Aliran Haba Pendam	- <i>Latent Heat Flux</i>
H	- Aliran Haba Wajar	- <i>Sensible Heat Flux</i>
IPCC	- Panel antara Kerajaan terhadap Perubahan Iklim	- <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
JUPEM	- Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia	- <i>Malaysia Survey Department and Mapping</i>
LGM	- Lembaga Getah Malaysia	- <i>Malaysia Rubber Board</i>
LSWI	- Indeks Air Permukaan Tanah	- <i>Land Surface Water Index</i>
CH_4	- Metana	- <i>Methane</i>
MODIS	- Pengimejan Resolusi Sederhana Spektrum Radiometer	- <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MPOB	- Lembaga Kelapa Sawit Malaysia	- <i>Malaysian Palm Oil Board</i>
MISR	- Pengimejan Pelbagai Sudut Spektrum Radiometer	- <i>Multi-angle Imaging SpectroRadiometer</i>
MOPITT	- Pengukuran Pencemaran di dalam Troposfera	- <i>Measurements Of Pollution In The Troposphere</i>
N_2O	- Nitrik oksida	- <i>Nitric oxide</i>
NPP	- Pengeluaran Primer Bersih	- <i>Net Primary Production</i>
NIES	- Institut Sains Alam Sekitar Kebangsaan, Jepun	- <i>National Institute of Environmental Sciences, Japan</i>
NOAA	- Pentadbiran Lautan Dan Atmosfera Kebangsaan	- <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>

NDVI	- Indeks Normalisasi Perbezaan Tumbuhan	- <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
O ₂	- Oksigen	- <i>Oxygen</i>
PBB	- Bangsa-Bangsa Bersatu	- <i>United Nation</i>
P _v	- Perkadaran Tumbuhan	- <i>Vegetation Proportion</i>
PET	- Sejatpeluhan Potensi	- <i>Potential Evapotranspiration</i>
PAR	- Radiasi Aktif Fotosintesis	- <i>Photosynthetic Active Radiation</i>
RSO	- Pembetulan Pemusingan Orthomophic	- <i>Rectified Skew Orthomophic</i>
RMSE	- Punca Min Kuasa Dua	- <i>Root Mean Square</i>
R _n	- Radiasi Bersih	- <i>Net Radiation</i>
R _{sw}	- Radiasi Gelombang Pendek	- <i>Shortwave Radiation</i>
RH	- Kelembapan Bandingan	- <i>Relative Humidity</i>
R _g	- Pemalar Udara	- <i>Gas Constant</i>
r _a	- Rintang Aerodinamik	- <i>Aerodynamic Resistant</i>
SWIR	- Gelombang Pendek Inframerah	- <i>Shortwave Infrared</i>
SPOT	- Satelit Pour Observation De La Terre	- <i>Satellite Pour Observation de la Terre</i>
FAPAR	- Sebahagian Penyerapan Radiasi Aktif Fotosintesis	- <i>Fraction of Absorbed Photosynthetic Active Radiation</i>
S	- Pemalar Solar	- <i>Solar Constant</i>
SM	- Kelembapan Tanah	- <i>Soil Moisture</i>
SR	- Penisbahan Mudah	- <i>Simple Ratio</i>
TIR	- Inframerah Termal	- <i>Thermal Infrared</i>
T _s	- Suhu Permukaan	- <i>Surface Temperature</i>
T _a	- Suhu Udara	- <i>Air Temperature</i>
T _{opt}	- Suhu Optimum	- <i>Optimal Temperature</i>
UNFCCC	- Konvensyen Rangka Kerja Bangsa-bangsa Bersatu terhadap Perubahan Iklim	- <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
VNIR	- Cahaya Nampak Inframerah-dekat	- <i>Visible Near Infrared</i>
VPM	- Model Fotosintesis Tumbuhan	- <i>Vegetation Photosynthetic Model</i>

VPD	- Defisit Tekanan Wap	- <i>Vapour Pressure Deficit</i>
WGS84	- Sistem Geodesi Dunia 84	- <i>World Geodetic System 84</i>
α	- Albedo Permukaan	- <i>Surface Albedo</i>
ε	- Kecekapan Penggunaan Cahaya	- <i>Light Use Efficiency</i>
ξ_v	- Pembolehubah Pecahan Litupan Tumbuhan	- <i>Vegetation Cover Fraction Variable</i>
ξ	- Emisiviti	- <i>Emissivity</i>
f_F	- Faktor Kesan Fenologi Daun	- <i>Leaf Phenology Effect Factor</i>
f_P	- Faktor Kesan Respirasi	- <i>Respiration Effect Factor</i>
f_{SM}	- Faktor Kesan Lengasan Tanah	- <i>Soil Moisture Effect Factor</i>
f_T	- Faktor Kesan Suhu	- <i>Temperature Effect Factor</i>
$f_{T_{cor}}$	- Faktor Pembetulan Suhu	- <i>Temperature Correction Effect Factor</i>
f_{VPD}	- Faktor Kesan Defisit Tekanan Wap	- <i>Vapour Pressure Deficit Effect Factor</i>
f_W	- Faktor Kesan Kandungan Air	- <i>Water Contain Effect Factor</i>
ρ	- Ketumpatan Udara	- <i>Air Density</i>
ρ_w	- Ketumpatan Air	- <i>Water Density</i>
δ	- Nisbah NPP/GPP	- <i>NPP/GPP Ratio</i>
Δ	- Cerun Lengkung Tekanan Wap Tepu	- <i>Slope of Saturated Vapour Pressure Curve</i>
ΔH_a	- Pemalar Tenaga Pengaktifan	- <i>Activation Energy Constant</i>
ΔH_d	- Pemalar Tenaga Penyahaktifan	- <i>Deactivation Energy Constant</i>
ΔS	- Pemalar Entropi Penyahasli Keseimbangan Karbon Dioksida	- <i>Entropy of the Denaturation Equilibrium of Carbon Dioxide</i>
τ_0	- Kedalaman Optik Atmosfera	- <i>Optical Depth of the Atmosphere</i>
μ_y	- Kosinus Sudut Zenit Matahari	- <i>Cosines of Sun Zenith Angle</i>
σ	- Pemalar Stefan-Boltzman	- <i>Stefan-Boltzmann Constant</i>
θ	- Sudut Zenit Solar	- <i>Solar Zenith Angle</i>
\wedge	- Bahagian yang tersejat serta merta	- <i>Part of evaporated immediately</i>
λ	- Aliran Haba Pendam	- <i>Latent Heat Flux</i>

SENARAI LAMPIRAN

NO. LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Titik sampel bagi NPP hutan dan kelapa sawit	204
B	Titik sampel bagi NPP getah dan indeks tumbuhan bagi hutan	205
C	Titik sampel indeks tumbuhan bagi kelapa sawit dan getah	206
D	Titik sampel bagi parameter model bagi hutan dan kelapa sawit	207
E	Titik sampel bagi parameter model bagi getah dan kadar kecekapan penggunaan cahaya bagi hutan	208
F	Titik sampel bagi kadar kecekapan penggunaan cahaya bagi kelapa sawit dan getah	209
G	Parameter data mentah ASTER a) set 1, dan b) set 2	210
H	Parameter input bagi pemprosesan data ASTER a) Parameter orbit ASTER; b) Purata Exo-atmosfera Solar bagi jalur ASTER; c) Purata tenaga solar, <i>Langleys</i> ; d) Jarak matahari-bumi dalam unit <i>astronomical</i>	211
I	Senarai singkatan dan unit bagi parameter permodelan Eko-Fisiologi	212

BAB 1

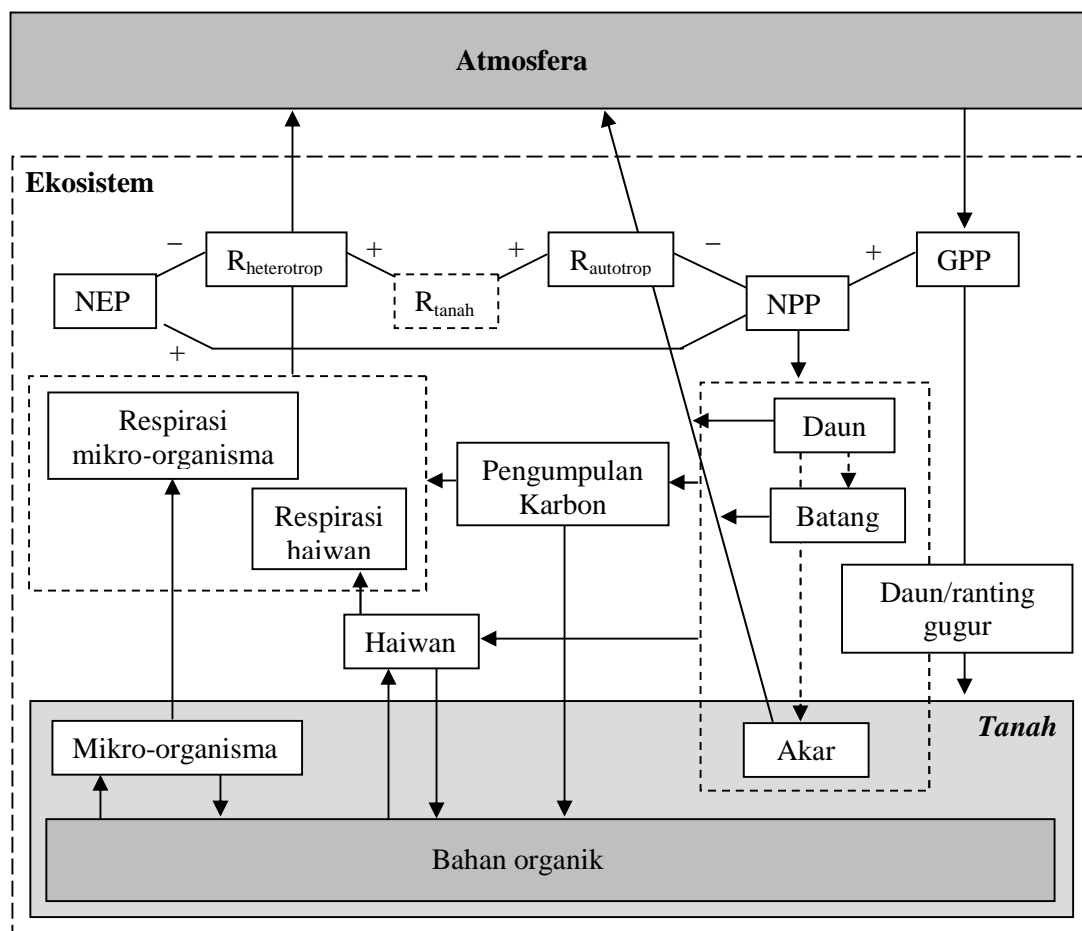
PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Karbon dioksida (CO₂) dan gas rumah hijau lain di atmosfera memainkan peranan penting terhadap perubahan persekitaran iklim sejagat (Young dan Giese, 2003). Pada kepekatan rendah, gas rumah hijau berfungsi sebagai medium pengawalan suhu bumi dengan memerangkap gelombang panjang daripada radiasi inframerah secara semulajadi (Dickinson dan Bloomberg, 2007). Walau bagaimanapun, pertambahan kepekatan gas rumah hijau dari semasa ke semasa menyebabkan suhu bumi semakin meningkat. Fenomena ini dikenali sebagai kesan rumah hijau.

Misi Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu menerusi Protokol Kyoto bagi mengawal aktiviti manusia yang memberi kesan terhadap kualiti alam sekitar perlu dicapai untuk memastikan kitaran CO₂ yang seimbang ke atmosfera (Olofsson *et al.*, 2007). Perkembangan aktiviti perindustrian dan perubahan guna tanah merupakan antara faktor yang mengganggu keseimbangan dan konsentrasi gas rumah hijau terutamanya Karbon dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrik oksida (N₂O) dan *Chlorofluorocarbon* (CFC) (Dickinson, 2007).

CO₂ merupakan gas rumah hijau yang paling banyak dihasilkan oleh aktivitas manusia hasil pembangunan dan perindustrian (Young dan Giese, 2003). Ekosistem semulajadi bumi menyeimbangkan permasalahan ini dengan berinteraksi secara semulajadi antara satu sama lain melalui penggunaan CO₂ dan O₂. Pada Rajah 1.1 menunjukkan aliran CO₂ antara atmosfera dan ekosistem. Dalam kitaran karbon tumbuhan, CO₂ akan diserap bagi menjalankan proses fotosintesis yang kemudiannya dikenali sebagai Pengeluaran Primer Kasar (GPP). Sebahagian daripada CO₂ yang diserap ini kemudiannya akan dilepaskan kembali ke atmosfera melalui aktiviti Respirasi Autotrop (R_{autotrop}). Manakala sebahagian lagi disimpan ke dalam tisu tumbuhan dan dikenali sebagai NPP.



Sumber: Ubahsuai dari Monji, (2003)

Rajah 1.1 Aliran karbon dalam satu ekosistem

Setiap fungsi dalam ekosistem termasuklah tumbuhan, haiwan dan mikroorganisma memainkan peranan masing-masing dalam aktiviti pengolahan karbon yang menjadi input bagi hasil Pengeluaran Ekosistem Bersih (NEP) yang seimbang. Aliran karbon ini diseimbangi oleh aktiviti respirasi hidupan iaitu daripada Respirasi heterotrop ($R_{\text{heterotrop}}$), Respirasi tanah (R_{tanah}), dan Respirasi autotrop (R_{autotrop}). Aliran karbon yang seimbang dalam satu ekosistem mewujudkan kitaran karbon yang sempurna. Dalam satu ekosistem, tumbuhan memainkan peranan utama untuk memastikan lambakan CO_2 di atmosfera dapat digunakan sebaiknya. Proses penyerapan dan penggunaan karbon oleh tumbuhan dapat dinilai berdasarkan anggaran kadar NPP.

Proses fotosintesis yang dijalankan oleh tumbuhan membantu tumbuhan dalam proses tumbesarnya. Kadar NPP merupakan anggaran terhadap kadar karbon yang disimpan ke dalam tisu tumbuhan melalui aktiviti fotosintesis dan respirasi pada satu tempoh masa (Field *et al.*, 1995). Secara amnya, kadar NPP bagi tumbuhan dikaitkan dengan kadar penggunaan CO_2 yang diserap oleh tumbuhan yang kemudiannya diolah dan disimpan di dalam daun, batang dan akar. Semakin banyak aktiviti fotosintesis yang dijalankan oleh tumbuhan memberi petunjuk bahawa semakin banyak CO_2 yang telah diserap. Aktiviti pembangunan perlu seiring dengan pertambahan kawasan tumbuhan agar tumbuhan di satu-satu kawasan mencukupi untuk menyerap lambakan CO_2 di udara kesan daripada aktiviti perindustrian yang kian pesat berkembang.

Perkembangan aktiviti perindustrian dan pembangunan menyebabkan lebih banyak kawasan berhutan diteroka. Di Malaysia, kebanyakan daripada kawasan berhutan digantikan dengan aktiviti perladangan kelapa sawit dan getah. Pemantauan dan pengurusan sumber hutan diperlukan bagi memastikan ekosistem ini terus memainkan peranannya dalam mengimbangi kitaran karbon yang menerima kesan akibat aktiviti manusia. Kemajuan teknologi aeroangkasa pada masa kini dapat membantu aktiviti pengurusan alam sekitar dijalankan dengan lebih mudah dan berkesan. Data remote sensing dapat membantu dalam pelbagai aplikasi termasuklah di dalam bidang pertanian, perhutanan, marin, geologi, perancangan bandar, dan pengurusan sumber air.

Malaysia, seperti negara-negara membangun yang lain, tidak terlepas daripada permasalahan alam sekitar kesan daripada peningkatan suhu bumi yang lebih dikenali sebagai pemanasan global. Walaupun Malaysia belum dipastikan sebagai salah sebuah negara yang menerima kesan pemanasan global yang serius, namun, pendekatan yang sesuai perlu diambil bagi memantau dan mengawal permasalahan ini. Dalam bidang pengurusan hutan dan pengawalan alam sekitar, data satelit remote sensing berupaya untuk memberi anggaran kadar kitaran CO₂ di atmosfera berdasarkan kepada kadar NPP tumbuhan (Coops *et al.*, 2003).

Penyerapan CO₂ daripada atmosfera oleh tumbuhan menerusi proses fotosintesis dikenali sebagai GPP. Aktiviti respirasi tumbuhan akan membawa sebahagian aliran karbon ini ke atmosfera semula dan sebahagian lagi disimpan sebagai NPP (Furumi, 2002). Anggaran NPP tumbuhan diukur dalam unit gram karbon/meter²/masa (gCm⁻²yr⁻¹). Hubungan ini boleh dijelaskan seperti di dalam persamaan 1.1.

$$NPP = GPP - R \quad \text{.....(1.1)}$$

di mana,

$$\begin{aligned} NPP &= \text{Pengeluaran Primer Bersih;} \\ GPP &= \text{Pengeluaran Primer Kasar; dan} \\ R &= \text{Respirasi.} \end{aligned}$$

NPP yang disimpan sebagai bahan organik akan bergabung dengan tisu tumbuhan untuk menghasilkan pertumbuhan. Oleh itu, hubungan antara NPP dan juga biojisim dapat digunakan sebagai satu kaedah bagi menganggarkan kadar kitaran karbon antara ekosistem dan atmosfera. Kaedah penganggaran NPP menerusi perolehan biojisim tumbuhan dikenali sebagai Kaedah Biometrik (Marchesini *et al.*, 2007). Kaedah Biometrik merupakan kaedah pengukuran NPP secara konvensional yang melibatkan penebangan pokok dan pengukuran biojisim. Dengan kemajuan teknologi pada masa kini, penganggaran NPP dapat dilakukan tanpa melibatkan

penebangan dan kemusnahan ekosistem. Kaedah ini dikenali sebagai kaedah Eko-Fisiologi dan diintegrasikan bersama data remote sensing.

Remote sensing melibatkan pengukuran maklumat tanpa menyentuh permukaan bumi. Tenaga elektromagnet yang direkodkan oleh pengimbas satelit mengandungi maklumat mengenai fenomena objek di permukaan bumi. Terdapat dua bentuk sistem pengumpulan data dalam remote sensing iaitu secara pasif dan juga aktif. Pengimbas pasif merekodkan tenaga elektro magnetik semulajadi yang dibalikkan atau dibebaskan oleh objek. Pengimbas aktif pula menjana tenaga sendiri untuk dipancarkan ke permukaan bumi. Tenaga ini akan dibalikkan oleh objek dan direkodkan oleh pengimbas.

Melalui kaedah Eko-Fisiologi, data remote sensing menjadi sumber utama penerbitan maklumat dan parameter-parameter yang terlibat dalam permodelan NPP. Analisis terhadap signal yang dibalikkan oleh tumbuhan melalui data remote sensing membolehkan kajian mengenai kadar pengeluaran tumbuhan dijalankan dengan lebih mudah dan dapat merangkumi kawasan yang luas. Pelbagai Kaedah Eko-Fisiologi telah dibangunkan berdasarkan kepada sensitiviti faktor-faktor persekitaran yang mempengaruhi kadar NPP di sesuatu kawasan. Penilaian setiap Kaedah Eko-Fisiologi perlu dijalankan secara lebih terperinci untuk memastikan model-model ini sesuai dan boleh digunakan untuk persekitaran tumbuhan di kawasan tropika.

Kadar NPP bagi setiap tumbuhan adalah berbeza-beza di mana ianya dipengaruhi oleh jenis tumbuhan dan keadaan iklim persekitaran habitat tumbuhan terbabit. Tumbuhan semula jadi di Malaysia terdiri daripada hutan hujan tropika. Di Malaysia, kebanyakan daripada kawasan hutan diteroka dan dijadikan ladang kelapa sawit dan juga getah. Perubahan guna tanah ini memberi kesan terhadap perubahan lanskap di Malaysia. Pengaruh iklim terhadap tumbuh-tumbuhan adalah kompleks dan dapat dibahagikan kepada beberapa faktor utama iaitu pancaran matahari, kadar nutrien, dan kesan persekitaran seperti suhu dan air. Penilaian Kaedah Eko-Fisiologi terhadap setiap faktor ini perlu dilakukan agar aktiviti pengurusan hutan dan perladangan di Malaysia dapat dijalankan dengan lebih efisien.

1.2 Penyataan Masalah

Seiring dengan perkembangan aktiviti pembangunan dan perindustrian, komposisi kandungan gas rumah hijau turut bertambah dari semasa ke semasa. Lambakan gas rumah hijau yang tidak terkawal di atmosfera akan meningkatkan suhu bumi dan memberi kesan buruk kepada hidupan. Satu kaedah pengawalan alam sekitar yang menjurus kepada penilaian komposisi gas rumah hijau di atmosfera perlu dibangunkan dengan lebih teliti bagi memastikan keseimbangan iklim sejagat terus terpelihara. Ekosistem hutan hujan di Malaysia adalah sumber penting untuk memastikan kestabilan komposisi gas di atmosfera.

Cabaran dalam pengurusan sumber hutan adalah untuk mengekalkan keseimbangan di antara penggunaan hasil hutan dan pada masa yang sama memastikan alam sekitar yang bersih, sihat dan memberi faedah kepada generasi masa kini dan akan datang. Setiap aktiviti pembangunan dan perindustrian di sesuatu kawasan perlu seiring dengan kestabilan iklim di persekitarannya kerana aktiviti ini banyak membebaskan gas rumah hijau ke atmosfera. Keseimbangan ini penting kerana Malaysia, sebagai satu negara membangun, masih bergantung kepada sumber-sumber semula jadi untuk pembangunan ekonominya.

CO₂ merupakan penyumbang utama komposisi gas rumah hijau hasil daripada aktiviti manusia. Ekosistem semulajadi bumi mengadaptasi permasalahan ini dengan bertindak sebagai medium pengaliran karbon antara atmosfera dan ekosistem. Tumbuhan merupakan pengguna CO₂ semulajadi yang menggunakan CO₂ dalam aktiviti pertumbuhannya. Aliran karbon dalam tumbuhan dapat ditentukan berdasarkan kepada kadar NPP. Penilaian terhadap NPP dari semasa ke semasa dapat membantu dalam aktiviti pengawalan tumbesaran tumbuhan.

Kadar NPP dapat dijadikan petunjuk kepada kadar penggunaan CO₂. Walau bagaimanapun, kaedah pengukuran NPP agak sukar dilakukan secara langsung terhadap satu-satu tumbuhan kerana melibatkan penebangan dan pengukuran bio jisim. Implementasi kaedah konvensional akan menyebabkan banyak pokok ditebang dan boleh menjejaskan keseimbangan ekosistem. Melalui kaedah ini, maklumat bio

jisim bagi tumbuhan yang telah ditebang tidak dapat diperoleh untuk masa-masa akan datang. Dengan ini, penggunaan kaedah penganggaran NPP yang lebih berkesan untuk jangka masa panjang diperlukan bagi memastikan pengurusan sumber hutan dan perladangan dapat dilakukan dari semasa ke semasa dengan lebih baik.

Kadar NPP adalah berbeza bagi tumbuhan yang berlainan kerana ianya bergantung kepada keupayaan tumbuhan untuk mengolah CO₂ ke dalam bentuk makanan. Aktiviti fotosintesis tumbuhan dipengaruhi oleh faktor-faktor persekitarannya seperti kepekatan cahaya matahari, ketersediaan air dan perubahan suhu persekitaran. Setiap jenis tumbuhan memiliki sensitiviti yang berbeza untuk bertindak balas dengan perubahan iklim persekitarannya. Kaedah penganggaran NPP yang mengambil kira kesan faktor persekitaran dikenali sebagai Kaedah Eko-Fisiologi.

Sehingga kini, terdapat beberapa Kaedah Eko-Fisiologi telah dibangunkan untuk menganggarkan NPP tumbuhan seperti Model CASA (*Carnegie Ames Stanford Approach*) (Potter *et al.*, 1999), Model GLOPEM (*Global Production Efficiency Model*) (Prince dan Goward, 1995), Model VPM (*Vegetation Photosynthetic Model*) (Xiao *et al.*, 2005), dan Model C-Fix (*Carbon Fix*) (Chirici *et al.*, 2007). Parameter Kaedah Eko-Fisiologi ini disesuaikan terhadap persekitaran sesuatu ekosistem. Oleh itu, penilaian yang tepat perlu dilakukan terhadap model-model ini untuk disesuaikan dengan persekitaran ekosistem di Malaysia bagi membolehkan anggaran NPP dilakukan dengan lebih tepat.

Integrasi antara data remote sensing dan Kaedah Eko-Fisiologi dalam penganggaran NPP merupakan satu alternatif bagi mengelakkan kemusnahan ekosistem yang disebabkan oleh pengukuran NPP secara konvensional. Penggunaan data remote sensing dapat memenuhi keperluan resolusi ruang dan masa yang lebih baik. Dengan keupayaan resolusi ruang dan masa yang tinggi, maklumat yang diekstrak daripada data remote sensing dapat menggambarkan ciri-ciri ekosistem dengan lebih baik. Penggunaan data remote sensing bukan sahaja dapat memberikan anggaran NPP tumbuhan, malah dapat dijadikan penunjuk bagi kadar aliran karbon antara atmosfera dan juga ekosistem.

1.3 Objektif Kajian

Keperluan untuk menyediakan satu bentuk pengurusan sumber hutan dan perladangan yang berkesan membawa kepada pembangunan model anggaran NPP. Penggunaan data remote sensing merupakan pendekatan terbaik untuk diintegrasikan bersama model-model NPP sedia ada berikutan ketersediaan data remote sensing untuk memenuhi keperluan ruang dan masa yang lebih baik. Dalam kajian ini terdapat tiga objektif yang ingin dicapai iaitu untuk:

- i. Menjalankan penilaian terhadap Kaedah Eko-Fisiologi bagi penentuan kadar NPP menggunakan data ASTER;
- ii. Memetakan corak taburan ruang NPP bagi tiga jenis guna tanah utama di kawasan kajian menggunakan data ASTER dan;
- iii. Menentukan ketepatan hasil anggaran NPP yang diperoleh bagi setiap Kaedah Eko-Fisiologi.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan bagi menganggarkan kadar NPP tumbuhan di kawasan tropika menggunakan data remote sensing. Antara skop bagi kajian ini termasuklah:

- i. Pemetaan NPP dalam kajian ini dijalankan di kawasan Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan dan kawasan sekitarnya iaitu seluas kira-kira 178000 hektar. Kawasan kajian ini merangkumi tiga jenis guna tanah utama iaitu hutan, kelapa sawit dan getah.

- ii. Integrasi data remote sensing dan Kaedah Eko-Fisiologi dalam penganggaran NPP melibatkan empat Kaedah Eko-Fisiologi iaitu Model CASA (*Carnegie Ames Stanford Approach*), Model GLOPEM (*Global Production Efficiency Model*), Model VPM (*Vegetation Photosynthetic Model*), dan Model C-Fix (*Carbon Fix*).
- iii. Data remote sensing yang digunakan bagi penilaian Kaedah Eko-Fisiologi dan pemetaan NPP merupakan data ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) yang diperoleh daripada ERSDAC (*Earth Remote Sensing Data Analysis Center*), Jepun. Data ASTER yang digunakan dalam kajian ini merupakan satu set data kawasan kajian Hutan Simpan Pasoh bagi tahun 2005 dan tidak melibatkan set data ulangan (*multi-temporal*).
- iv. Pemprosesan data ASTER dijalankan menggunakan beberapa perisian seperti *ERDAS Imagine*, *ASTER Crosstalk Correction*, *ER Mapper* dan *ENVI*. Perisian-perisian ini digunakan bagi keseluruhan proses pra-pemprosesan, pemprosesan dan juga aplikasi model.
- v. Analisis hasil NPP yang diperoleh menerusi data ASTER kemudiannya dilakukan berdasarkan hubungannya dengan parameter yang digunakan dalam permodelan kaedah Eko-Fisiologi. Analisis ketepatan hasil NPP dilakukan secara analisis statistik *Cooficient of Variation* (CV) dan juga perbandingan hasil NPP daripada kajian-kajian yang lepas di kawasan kajian.

1.5 Signifikan Kajian

Malaysia merupakan antara negara yang mengambil usaha untuk menangani isu perubahan iklim kesan daripada pembebasan gas rumah hijau. Untuk tujuan ini, Malaysia telah memeterai memorandum UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) pada 17 Julai 1994 (FRIM, 2003). Sehubungan dengan itu, Malaysia telah mengkaji semula polisi dan rang undang-undang yang

berkaitan dengan isu perubahan iklim bagi memastikan objektif UNFCCC dicapai. Pada 12 Mac 1999 Malaysia telah menandatangani Protokol Kyoto memberi sokongan penuh terhadap usaha pengawalan alam sekitar (FRIM, 2003). *Clean Development Mechanism* (CDM) merupakan salah satu mekanisme yang dibentuk merujuk kepada Protokol Kyoto untuk menjalankan aktiviti yang dapat mengawal pengeluaran gas rumah hijau oleh negara-negara industri.

Bagi menyahut usaha kerajaan dalam menangani isu perubahan iklim sejagat, penyelidikan tentang kesan keseimbangan aliran gas rumah hijau ke atmosfera perlu diberi perhatian. CO₂ merupakan antara gas rumah hijau yang banyak dilepaskan ke atmosfera oleh aktiviti perindustrian. Kitaran karbon yang berkesan dan seimbang diperlukan bagi menjamin produktiviti persekitaran daripada menerima kesan pemanasan global akibat penambahan CO₂ yang berlebihan. Kadar NPP dapat menggambarkan kadar karbon bersih yang diambil oleh tumbuhan daripada atmosfera. Oleh sebab itu, pengukuran NPP telah digunakan secara meluas sebagai penunjuk bagi menganggarkan kadar pengambilan CO₂ di atmosfera oleh tumbuh-tumbuhan (Jiang *et al.*, 1999).

Penelitian terhadap kaedah pengukuran NPP amat penting bagi memastikan setiap pendekatan yang diambil dalam pengukuran NPP tidak merosakkan alam sekitar. Penggunaan teknik remote sensing memberikan kelebihan dari segi penjimatan masa dan implementasi model. Dalam kajian ini, kebanyakan parameter yang terlibat dalam permodelan Eko-Fisiologi diterbitkan melalui pengestrakan data remote sensing. Pendekatan ini lebih praktikal untuk digunakan bagi tujuan pengawal dan pemantauan NPP dari semasa ke semasa.

Pembangunan setiap Kaedah Eko-Fisiologi disesuaikan dengan persekitaran iklim di sesuatu kawasan. Penilaian setiap Kaedah Eko-Fisiologi yang terlibat dalam kajian ini membolehkan sensitiviti setiap model ini dinilai agar penggunaannya bersesuaian dengan ciri-ciri tumbuhan yang dikaji. Dalam kajian ini, implementasi Kaedah Eko-Fisiologi dijalankan terhadap tiga jenis guna tanah utama iaitu hutan, kelapa sawit dan getah. Penyesuaian setiap Kaedah Eko-Fisiologi terhadap setiap guna tanah menjadikan model ini lebih berkesan dan praktikal untuk digunakan untuk tujuan pengurusan guna tanah yang lebih baik.

Kaedah Eko-Fisiologi terbaik yang ditentukan dalam kajian ini boleh dijadikan rujukan untuk digunakan pada masa-masa akan datang di kawasan lain yang mempunyai persekitaran tropika yang sama. Oleh itu, kajian ini membentuk satu langkah penganggaran NPP yang lebih mudah dan menjimatkan kos. Kajian ini memanfaatkan sepenuhnya penggunaan teknik remote sensing sebagai satu alternatif baru dalam bidang pengurusan sumber hutan dan perladangan di Malaysia.

1.6 Kawasan Kajian

Kajian ini telah dijalankan di Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan. Ianya terletak lebih kurang 2°59' Utara dan 102°19' Timur dengan ketinggian muka bumi kira-kira 75m hingga 150m dari paras laut. Seluas 178000 hektar kawasan kajian telah dipilih merangkumi keseluruhan kawasan Hutan Simpan Pasoh iaitu kira-kira 2450 hektar. Peta kawasan kajian ini ditunjukkan di dalam Rajah 1.2. Secara keseluruhannya kawasan kajian ini melibatkan sebahagian daripada dua buah negeri di Malaysia iaitu Negeri Sembilan dan Negeri Pahang dengan ketinggian keseluruhan antara 40m hingga 1080m dari aras laut.



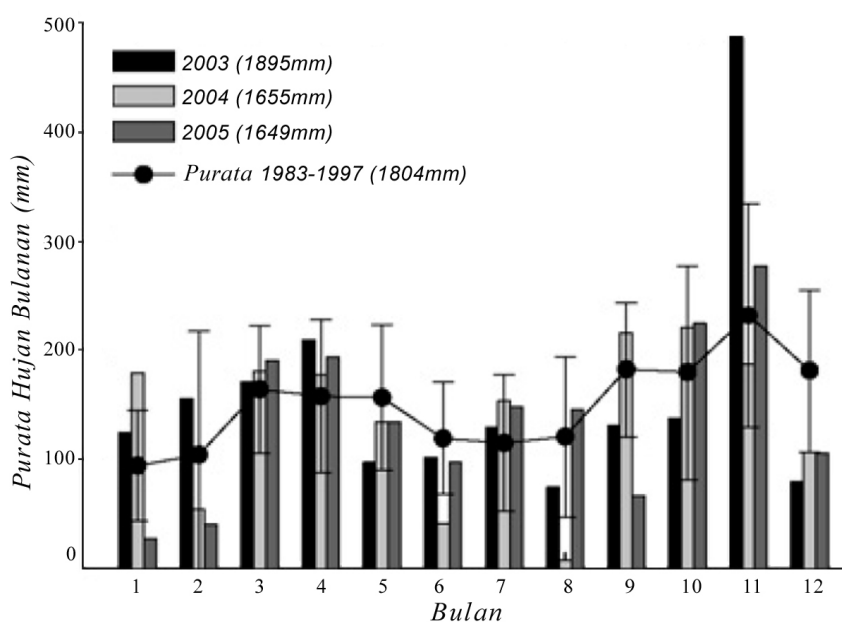
Rajah 1.2 Peta lokasi kawasan kajian: Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan

1.6.1 Jenis Guna Tanah

Hutan Simpan Pasoh dikelilingi oleh ladang kelapa sawit dan getah serta didominasi oleh jenis hutan Dipterokarp (Ashton *et al.*, 2003). Kawasan kajian ini terdiri daripada hutan hujan tropika yang terdiri daripada hutan primer dan hutan sekunder dengan ketinggian lebih kurang 35m hingga 45m.

1.6.2 Iklim

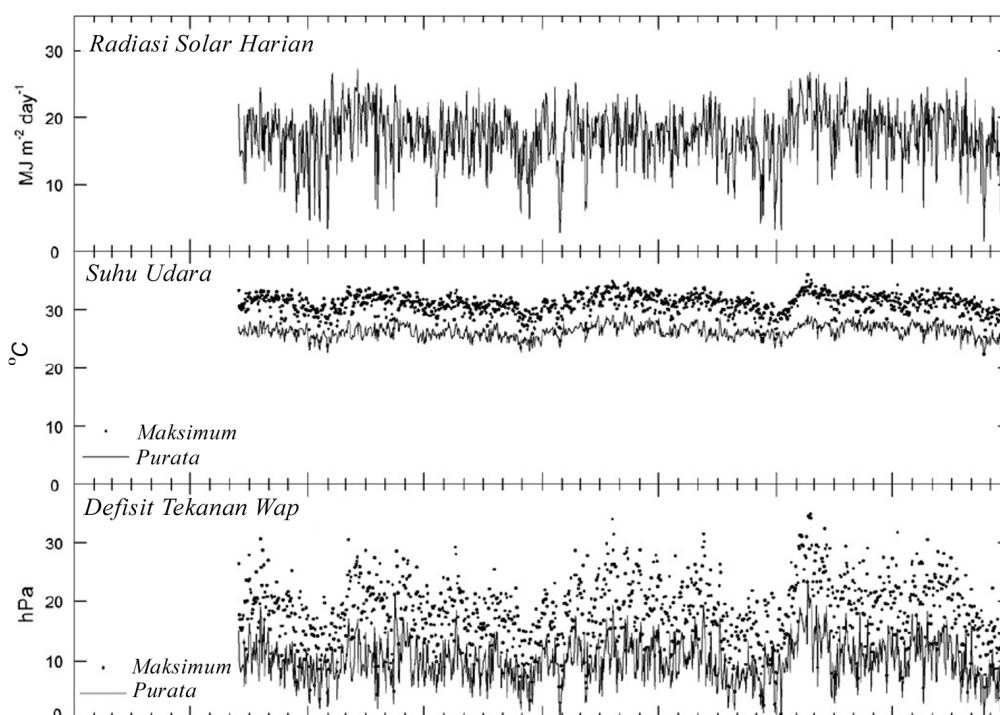
Berdasarkan kepada data meteorologi yang direkodkan oleh Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia (FRIM) di Hutan Simpan Pasoh, didapati purata hujan pada tahun 2005 adalah sebanyak 1649 mm manakala purata hujan pada tahun 2004 pula sebanyak 1655mm. Rajah 1.3 menunjukkan graf purata hujan bulanan yang direkodkan sepanjang tahun 2003, 2004 dan 2005 serta purata hujan tahunan antara tahun 1983 hingga tahun 1997 (Kosugi *et al.*, 2008).



Sumber : Kosugi *et al.*, (2008)

Rajah 1.3 Purata hujan bulanan kawasan kajian

Selain daripada data hujan, pusat penyelidikan Hutan Simpan Pasoh juga merekodkan maklumat meteorologi seperti kadar radiasi solar, suhu udara dan defisit tekanan wap seperti di dalam Rajah 1.4. Secara keseluruhannya, purata suhu minimum bulanan bagi kawasan kajian dicatatkan kira-kira 25°C manakala purata suhu maksimum bulanan sebanyak 28°C. (Kosugi *et al.*, 2008)



Sumber : Kosugi *et al.*, (2008)

Rajah 1.4 Data radiasi solar, suhu udara dan defisit tekanan wap kawasan kajian

1.6.3 Kemudahan

Selain daripada kemudahan penginapan yang diselia oleh FRIM, kawasan kajian ini juga menyediakan kemudahan perekodan data meteorologi. Antara peralatan yang digunakan untuk perekodan data meteorologi ini termasuklah Termometer Anemometer Bunyi yang digunakan untuk menyukat suhu udara, Penganalisis Laluan Terbuka Gas Inframerah untuk menyukat wap air dan CO₂, manakala LI6400 digunakan bagi pengukuran kadar fotosintesis (Asia Flux, 2007). Perekodan maklumat meteorologi menerusi kesemua peralatan ini dipantau dan dikawal selia sepenuhnya oleh FRIM.