

PEMBANGUNAN INDEK BIODIVERSITI BAGI SPESIES TUMBUH-TUMBUHAN  
HUTAN HUJAN TROPIKA MENGGUNAKAN SPEKTRO-RADIOMETER  
LAPANGAN

NORSHEILLA BINTI MOHD JOHAN CHUAH

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

Fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah  
Universiti Teknologi Malaysia

NOVEMBER 2013

*Dedikasi untuk*  
*mak dan abah iaitu Che 'Norlia Abdullah dan*  
*Mohd Johan Chuah Abdullah*  
*serta seluruh ahli keluarga*

## PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah S.W.T Tuhan semesta alam. Selawat dan salam kepada junjungan besar Rasulullah S.A.W, seluruh keluarga serta para sahabat. Syukur Alhamdulillah dengan limpah izinNya setelah menempuh pelbagai cabaran dan dugaan, saya dapat menyiapkan penulisan tesis ini dengan jayanya. Kejayaan ini adalah berkat doa dan pertolongan semua pihak. Untuk itu, saya dengan setulus hati, ingin merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada penyelia saya, iaitu Prof. Sr. Dr. Mazlan Hashim yang tidak jemu-jemu mendidik, membimbing dan memberi kritikan dari awal hingga akhir penulisan tesis ini. Budi dan jasa baik Tuan amatlah dihargai dan Allah S.W.T jua yang mampu membalasnya.

Ucapan setinggi-tinggi penghargaan juga saya tujukan kepada Kementerian Pelajaran Malaysia kerana memberi peluang kepada saya melanjutkan pelajaran di bawah tajaan biasiswa Pasca siswazah Universiti (PGD) dan biasiswa Bajet Mini 2009. Selain itu, ucapan terima kasih kepada National Institute for Environment Studies of Japan (NIES) atas kerjasama penyelidikan bersama Universiti Teknologi Malaysia memberikan elaun sementara sebagai pembantu penyelidik dibawah geran projek FRGS vot 78361. Begitu juga kepada individu-individu dari Fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah yang telah banyak memberikan kemudahan dan bantuan alat terutamanya staf-staf teknikal serta kepada pihak Jabatan Penyelidikan Hutan Malaysia (FRIM) diatas kesediaan memberikan pertolongan, bantuan data dan rujukan yang amat berguna.

Sekalung ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada orang tua saya, Che'Norlia Abdullah dan Mohd Johan Chuah Abdullah yang sentiasa memberikan semangat, kepercayaan dan kasih sayang tidak terhingga sehingga saat ini. Begitu juga kepada rakan-rakan seperjuangan di Universiti Teknologi Malaysia iaitu Rohazaini Mohd Jamil, Nur Aisah Abu Bakar, Nur Salisa Che Sab dan Nurul Nadiyah Yahya yang turut bersama dikala suka dan duka saya sepanjang penulisan tesis ini. Tanpa dorongan daripada kalian tidak mungkin saya akan dapat merealisasikan matlamat saya selama ini. Terima Kasih.

## ABSTRAK

Unsur biokimia tumbuh-tumbuhan seperti pigmen klorofil, karbon, nitrogen dan air boleh memberi kesan kepada fisiologi dan fenologi tumbuh-tumbuhan. Walau bagaimanapun, kaedah tradisional analisis daun bagi membekalkan maklumat unsur biokimia tidak dapat lagi memenuhi keperluan yang semakin meningkat. Oleh yang demikian, kajian ini bertujuan untuk menggunakan model indeks tumbuh-tumbuhan (VI) sebagai kaedah alternatif untuk pengeluaran maklumat unsur biokimia. Dalam kajian ini, jalur spektrum dipilih sama ada menggunakan perbezaan transformasi spektrum (TD) atau genetik algoritma pemetaan sudut spektrum (GA-SAM) dan diuji keatas tiga kumpulan utama VI yang melibatkan (i) nisbah mudah, (ii) nisbah yang berbeza, dan (iii) nisbah berganda. Korelasi yang kuat pada nilai R lebih daripada 0.8 (pada nilai- $p < 0.001$ ) di antara model VI dan unsur biokimia berkebolehan untuk menganggarkan elemen biokimia tumbuh-tumbuhan. Daripada kajian ini, keputusan telah menunjukkan bahawa hubungan yang kukuh dibentuk melalui pemilihan jalur spektrum daripada kaedah GA-SAM digunakan dalam  $WI_{GA-SAM}$  dalam enam jenis spesies dipterokarpa iaitu *neobalanocarpus heimii* sp. (NEOBHE sp.), *shorea acuminata* sp. (SHORAC sp.), *shorea leprosula* sp. (SHORL1 sp.), *shorea lepidota* sp. (SHORL2 sp.), *shorea pauciflora* sp. (SHORP2 sp.) dan *shorea maxwelliana* sp. (SHORM2 sp.). Penemuan kajian ini menunjukkan bahawa hasil daripada  $WI_{GA-SAM}$  mampu untuk membantu kita dalam menentukan air dalam tisu daun. Pada masa hadapan, kaedah  $WI_{GA-SAM}$  ini adalah dilihat sangat berguna dalam menentukan kandungan air bagi enam jenis spesies dipterokap yang sama ditemui di persekitaran hutan hujan tropika.

## ABSTRACT

Biochemical elements such plant pigment chlorophyll, carbon, nitrogen and water can affect the physiology and penology development of the plants. However, the traditional method of foliar analysis is no longer able to meet the growing need for biochemical element information. Consequently, this research aims to use vegetation index (VI) model as an alternative method for the production of biochemical element information. During this research, spectrum bands selected either using spectrum transformation divergence (TD) or genetic algorithms-spectrum angle mapper (GA-SAM) method were tested on the three main groups of VI involved of (i) simple ratio (ii) different ratio, and (iii) double ratio. Strong correlation at R value more than 0.8 (at p-value<0.001) between VI model and the field biochemical elements is proficient to estimate biochemical elements of plants. From this study, we can see that the strong correlation formed through the spectrum band selection method of GA-SAM applied in  $WI_{GA-SAM}$  for six types of dipterocarp species namely *neobalanocarpus heimii* sp. (NEOBHE sp.), *shorea acuminata* sp. (SHORAC sp.), *shorea leprosula* sp. (SHORL1 sp.), *shorea lepidota* sp. (SHORL2 sp.), *shorea pauciflora* sp. (SHORP2 sp.) and *shorea maxwelliana* sp. (SHORM2 sp.). This findings show that  $WI_{GA-SAM}$  capable to help us in determining water content in the leaf tissue. In future, this  $WI_{GA-SAM}$  method is very useful in determining water content of the six similar types of dipterocarp species found in a tropical rainforest environment.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKASURAT</b>
	<b>PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
	<b>DEDIKASI</b>	<b>iii</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	<b>iv</b>
	<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	<b>vii</b>
	<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>xi</b>
	<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>xiv</b>
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	<b>xv</b>
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	<b>xvi</b>
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar Belakang Kajian	1
	1.2 Penyataan Masalah	5
	1.3 Objektif Kajian	6
	1.4 Skop Kajian	6
	1.5 Kepentingan Kajian	8
	1.6 Kawasan Kajian	9
	1.7 Struktur Dokumen Tesis	11
<b>2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>12</b>
	2.1 Pengenalan	12
	2.2 Takrifan dan Kepentingan Maklumat Biokimia	12
	2.3 Sumber Biokimia Tumbuh-tumbuhan dan Kesan Kekurangan Biokimia	13

2.4	Kaedah Pembangunan Indeks Biokimia	15
2.5	Kelas Indeks Tumbuh-tumbuhan	20
2.5.1	Indeks biokimia tumbuh-tumbuhan	21
2.5.1.1	Indeks jalur lebar	21
2.5.1.2	Indeks jalur sempit	23
2.5.1.3	Indeks karbon	27
2.5.1.4	Indeks nitrogen	27
2.5.1.5	Indeks air	29
2.6	Pengukuran Biokimia Tumbuh-tumbuhan daripada Jalur Spektrum	31
2.7	Prosedur Pengumpulan Data Lapangan	35
2.7.1	Kaedah persampelan di lapangan	35
2.8	Prosedur Pengumpulan Data Spektrum	37
2.8.1	Pengenalan alat fieldspec pro spektrometri	37
2.8.2	Kaedah pengumpulan data spektrum	38
2.9	Prosedur Pra-pemrosesan Data Spektrum	39
2.9.1	Kaedah penurasan spektrum	39
2.9.2	Kaedah pemilihan spektrum optimum	40
2.10	Ringkasan	41
<b>3</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN</b>	<b>43</b>
3.1	Pengenalan	43
3.2	Perisian dan Perolehan Data	45
3.2.1	Perisian	45
3.2.2	Perolehan data	46
3.3	Persediaan Eksperimen	47
3.3.1	Prosedur sebelum kutipan sampel daun di lapangan	47

3.3.2	Prosedur semasa kutipan sampel daun dilapangan	50
3.3.3	Prosedur selepas kutipan sampel daun dilapangan	50
3.3.3.1	Ujian analisis foliar	50
3.3.3.2	Kutipan spektrum tumbuh-tumbuhan	51
3.4	Pra-pemprosesan data	52
3.4.1	Penurasan hingar spektrum tumbuh-tumbuhan	53
3.4.2	Pemilihan jalur spektrum optimum	54
3.4.2.1	Kaedah Transformasi Capahan	54
3.4.2.2	Kaedah Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	55
3.4.3	Ujian pemisahan spektrum optimum	57
3.5	Pemprosesan Data	58
3.5.1	Pembangunan indek biokimia tumbuh-tumbuhan	58
3.6	Ringkasan	59
<b>4</b>	<b>HASIL DAN ANALISIS KAJIAN</b>	<b>62</b>
4.1	Pengenalan	62
4.2	Hasil pra-pemprosesan data	62
4.2.1	Hasil penurasan hingar spektrum tumbuh-tumbuhan	63
4.2.2	Hasil pemilihan spektrum optimum	66
4.2.2.1	Hasil spektrum optimum daripada kaedah Transformasi Capahan	66
4.2.2.2	Hasil Spektrum Optimum daripada Kaedah Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	67
4.2.3	Hasil pemisahan spektrum tumbuh-tumbuhan	70
4.3	Hasil Pemprosesan Data	71
4.3.1	Hasil indek biokimia asal	71



4.3.2 Hasil indeks biokimia Transformasi Capahan	78
4.3.3 Hasil indeks biokimia Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	84
4.4 Analisis Hasil Pembangunan Indeks Biokimia Tumbuh – tumbuhan kajian	90
4.5 Analisis Pembangunan Indeks Biokimia Tumbuh-tumbuhan	97
<b>5 KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>101</b>
5.1 Pengenalan	101
5.2 Kesimpulan kajian	101
5.3 Isu Kajian	106
5.3.1 Dapatan data	106
5.3.2 Konteks permodelan	107
5.4 Cadangan	108
<b>RUJUKAN</b>	<b>111</b>
<b>LAMPIRAN A-F</b>	<b>121</b>

## SENARAI JADUAL

NO.	TAJUKJADUAL	MUKASURAT
2.1	Fungsi dan kesan kekurangan biokimia di dalam tumbuh-tumbuhan	14
2.2	Jenis model optikal sifat daun beserta contohnya	15
3.1	Perisian bagi penyediaan maklumat biokimia	45
3.2	Senarai spesies tumbuh-tumbuhanmenonjol di kawasan 50 hektar	48
3.3	Kombinasi pasangan spesies tumbuh-tumbuhan dalam kaedah Transformasi Capahan	54
3.4	Indek Tumbuh-tumbuhan asal yang digunakan di dalam pembangunan indek biokimia tumbuh-tumbuhan	60
4.1	Bilangan spektrum optimum yang layak berdasarkan Kaedah Transformasi Capahan	67
4.2	Hasil peratusan nilai mata Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	69
4.3	Hasil pemisahan spektrumtumbuh- tumbuhan melalui ujian-t berpasangan	70
4.4	Hasil korelasi di antara indekjalur lebar <sub>asal</sub> dengan kepekatan klorofil bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	72
4.5	Hasil korelasi di antara indek jalur sempit <sub>asal</sub> dengan kepekatan klorofil bagi spesies tumbuh-tumbuhanyang dikaji	73
4.6	Hasil korelasi di antara indek nitrogen <sub>asal</sub> dengan kepekatan nitrogen bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	75
4.7	Hasil korelasi di antara indek karbon <sub>asal</sub> dengan kepekatan karbon bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	76
4.8	Hasil korelasi di antara indek air <sub>asal</sub> dengan kandungan air bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	77

## SENARAI JADUAL

NO.	TAJUKJADUAL	MUKASURAT
4.9	Ubahsuai model Indeks Tumbuh-tumbuhan menggunakan jalur spektrum optimum daripada kaedah Transformasi Capahan	78
4.10	Hasil korelasi di antara indeks jalur sempit <sub>TD</sub> dengan kepekatan klorofil bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	80
4.11	Hasil korelasi di antara indeks nitrogen <sub>TD</sub> dengan kepekatan nitrogen bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	81
4.12	Hasil korelasi di antara indeks karbon <sub>TD</sub> dengan kepekatan karbon bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	82
4.13	Hasil korelasi di antara indeks air <sub>TD</sub> dengan kandungan air bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	83
4.14	Ubahsuai model Indeks Tumbuh-tumbuhan menggunakan jalur spektrum optimum daripada kaedah Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	84
4.15	Hasil korelasi di antara indeks jalur sempit <sub>GA-SAM</sub> dengan kepekatan klorofil bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	86
4.16	Hasil korelasi di antara indeks nitrogen <sub>GA-SAM</sub> dengan kepekatan nitrogen bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	87
4.17	Hasil korelasi di antara indeks karbon <sub>GA-SAM</sub> dengan kepekatan karbon bagi tumbuh-tumbuhan yang dikaji	88
4.18	Hasil korelasi di antara indeks air <sub>GA-SAM</sub> dengan kandungan air bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji	89
4.19	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan <i>NEOBHE</i> sp. dan kaitannya dengan nilai indeks biokimia	91

**SENARAI JADUAL**

<b>NO.</b>	<b>TAJUKJADUAL</b>	<b>MUKASURAT</b>
4.20	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan SHORAC sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	92
4.21	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan SHORL1 sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	93
4.22	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan SHORL2 sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	94
4.23	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan SHORP2 sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	95
4.24	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan SHORM2 sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	96
4.25	Kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan KOOMMA sp. dan kaitannya dengan nilai indek biokimia	97
4.26	Hasil pembangunan indek biokimia	99

## SENARAI RAJAH

NO.	TAJUKRAJAH	MUKASURAT
1.1	Interaksi biokimia di dalam aktiviti fotosintesis tumbuh-tumbuhan.	2
1.2	Indek biokimia utama yang memberi pengaruh sifat kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan.	4
1.3	Lokasi Hutan Hujan Tropika Pasoh, Negeri Sembilan, Malaysia	10
2.1	Model Deskriptif	16
2.2	Model PROSPECT	18
2.3	Model LIBERTY	18
2.4	Model Empirikal	19
2.5	Model Semi-empirikal	20
2.6	Ilustrasi serapan dan pantulan semula tenaga spektrum dari bahagian daun tumbuh-tumbuhan yang diterima oleh penderia remote sensing.	32
2.7	Tanda pengenalan spektrum tumbuh-tumbuhan	34
2.8	Contoh kaedah persampelan	36
2.9	Contoh alat spektroradiometer untuk kutipan data spektrum tumbuh-tumbuhan	38
3.1	Carta alir metodologi penyelidikan	44
3.2	Penetapan alatan spektroradiometer bagi kajian	52
4.1	Hasil cerapan spektrum tumbuh-tumbuhan asal yang diambil menggunakan alatan spektroradiometer Pro ®	64
4.2	Hasil turasan spektrum tumbuh-tumbuhan selepas menggunakan kaedah Denoise wavelet	65
4.3	Output program MATLAB bagi pencarian spektrum optimum menggunakan kaedah Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum	68

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>NO.</b>	<b>TAJUKLAMPIRAN</b>	<b>MUKASURAT</b>
A	Peta lokasi spesies tumbuh-tumbuhan kajian	124
B	Langkah-langkah pelaksanaan GA-SAM menggunakan kod Program MATLAB bagi pemilihan spektrum optimum	132
C	Perincian hasil keputusan spektrum optimum Kaedah Transformasi capahan	135
D	Perincian Hasil Keputusan Ujian-t berpasangan	143
E	Contoh sampel daun bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang terlibat di dalam kajian	186
F	Gambar aktiviti persampelan daun tumbuh-tumbuhan di dalam tapak 50 hektar, Hutan Hujan Tropika Pasoh	188

## SENARAI SINGKATAN

°C	-	<i>Darjah Celsius</i>
CVI	-	<i>Chlorophyll Vegetation Index</i>
DBH	-	<i>Diameter at Breast Height</i>
DCNI	-	<i>Double-peak Canopy Nitrogen Index</i>
GA-SAM	-	<i>Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum</i>
Green NDVI	-	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>
LAI	-	<i>Leaf Area Index</i>
m	-	<i>meter</i>
MCARI	-	<i>Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index</i>
mCARI2	-	<i>Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index2</i>
mm	-	<i>milimeter</i>
mNDVI 705	-	<i>Modified Normalized Difference Vegetation Index</i>
Msavi	-	<i>Improved Soil Adjusted Vegetation Index</i>
MSI	-	<i>Moisture Stress Index</i>
MSR	-	<i>Modified Simple Ratio</i>
MSR705	-	<i>Modified Simple Ratio2</i>
mTVI	-	<i>Modified Triangular Vegetation Index</i>
NDII	-	<i>Normalized Difference Infrared Index</i>
NDLI	-	<i>Normalized Difference Lignin Index</i>
NDNI	-	<i>Normalized Difference Nitrogen Index</i>
NDVI	-	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDVI705	-	<i>Normalized Difference Vegetation Index705</i>
NDWI	-	<i>Normalized Difference Water Index</i>
OSAVI	-	<i>Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index</i>
RDVI	-	<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>
RVI 2	-	<i>Ratio Vegetation Index2</i>
SIPI	-	<i>Structure Insensitive Pigment Index</i>

sm	-	sentimeter
SR1	-	<i>Simple Ratio 1</i>
SRWI	-	<i>Simple Ratio Water Index</i>
SSI	-	<i>Simple Subtraction Indices</i>
TD	-	Transformasi Capahan
TSAVI	-	<i>Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index</i>
TVI	-	<i>Triangular Vegetation Index</i>
VI	-	Indek Tumbuh-tumbuhan
VOG1	-	<i>Vogelmann Indices1</i>
VOG2	-	<i>Vogelmann Indices2</i>
VOG3	-	<i>Vogelmann Indices3</i>
WI	-	<i>Water Index</i>



## **BAB 1**

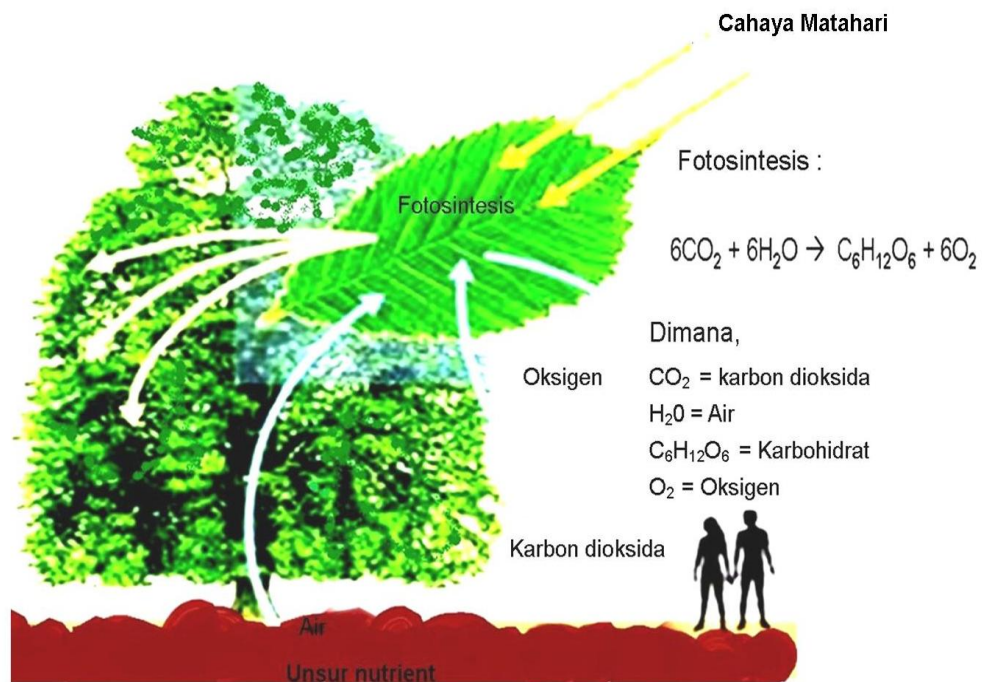
### **PENGENALAN**

#### **1.1 Latar Belakang Kajian**

Biokimia ditakrifkan sebagai unsur-unsur yang terdapat di dalam benda hidup. Di dalam tumbuh-tumbuhan, kehadiran biokimia seringkali dikaitkan dengan aktiviti fotosintesis. Biokimia tumbuh-tumbuhan yang terdiri daripada unsur hara (contohnya: karbon, hidrogen dan oksigen) serta unsur nutrien (contohnya: nitrogen) dapat digunakan bagi mengaktifkan aktiviti fotosintesis tumbuh-tumbuhan dengan bantuan tenaga cahaya matahari (rujuk Rajah 1.1). Susutan aras biokimia di dalam tumbuh-tumbuhan menyebabkan kelangsungan aktiviti fotosintesis yang rendah seterusnya boleh menjadi faktor utama masalah perkembangan dan pertumbuhan tumbuh-tumbuhan yang normal. Susutan aras biokimia tersebut boleh dilihat berdasarkan perubahan keadaan fisiologi tumbuh-tumbuhan seperti saiz silara kanopi, diameter batang dan ketinggian pokok (Sims dan Gamon., 2002) atau perubahan keadaan fenologi tumbuh-tumbuhan yang berkaitan dengan warna daun, pembungaan, dan pembuahan (Matson et al., 1994, Curran et al., 1997, Fourty dan Baret, 1998 dan Serranno et al., 2002). Bagi menangani masalah tersebut, penyediaan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan diperlukan supaya keadaan tumbuh-tumbuhan boleh dipantau dengan sempurna.

Seiring dengan kemajuan teknologi, maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan boleh dihasilkan dengan penggunaan data remote sensing. Asner et al. (2011) menyatakan bahawa penyelidikan biokimia tumbuh-tumbuhan telah lama

berkembang sejak berpuluh tahun yang lepas dengan penggunaan data remote sensing yang diambil dari lapangan, kapal udara dan satelit. Tenaga pantulan spektrum tumbuh-tumbuhan yang diterima oleh penderia remote sensing dapat disepadankan dengan model optikal sifat daun. Antara kajian biokimia tumbuh-tumbuhan yang lepas melibatkan penggunaan data remote sensing adalah seperti tanaman gandum (Song et al., 2008), jagung (Haboudane et al., 2002), tumbuh-tumbuhan homogenus seperti *black spruce* (Zhang et al., 2008), hutan lembap tropika (Asner et al., 2011) dan hutan *Eucalyptus* (Majeke et al., 2008). Namun, maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan di dalam hutan hujan tropika terutamanya spesies tumbuh-tumbuhan dipterokap masih belum pernah dilaporkan di dalam sebarang bentuk laporan penyelidikan.



**Rajah 1.1** : Interaksi biokimia di dalam aktiviti fotosintesis tumbuh-tumbuhan.

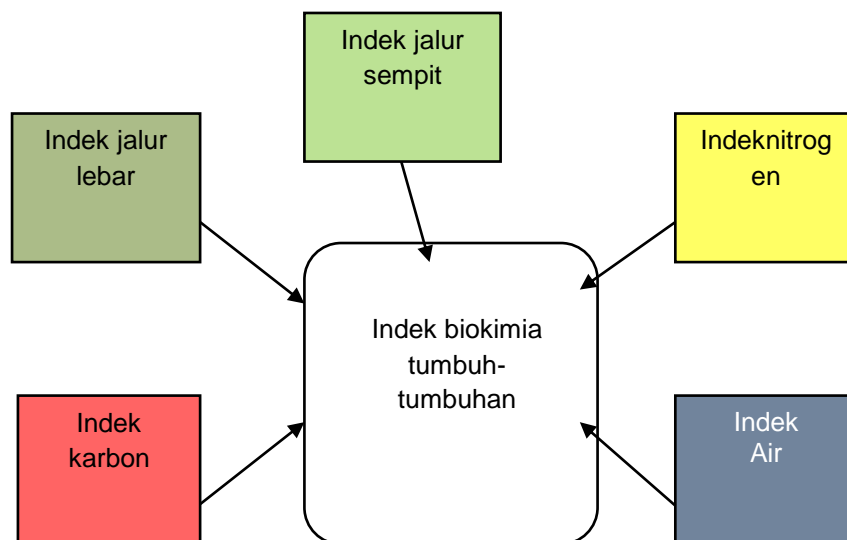
Terdapat beberapa model optikal sifat daun antaranya model deskriptif, model fizikal, model empirikal dan model semi-empirikal. Penggunaan model deskriptif seperti ray tracing dan stokastik merupakan model terawal yang berfungsi

menjelaskan secara teori hubungan kepantulan spektrum dengan tumbuh-tumbuhan di lapangan. Penambahbaikan model deskriptif mewujudkan model fizikal antaranya PROSPECT, LIBERTY dan Kubelka-Munk. Model PROSPECT telah membenarkan hubungan kepantulan spektrum dengan tumbuh-tumbuhan disimulasikan bagi daun tumbuh-tumbuhan yang berjenis permukaan lebar dengan beberapa kemasukan parameter seperti klorofil a, klorofil b, bahan kering dan ketebalan setara air daun (Jacquemoud dan Baret, 1990). Model LIBERTY pula telah membenarkan simulasi hubungan kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan untuk jenis daun jarum konifer dengan kemasukan input parameter seperti air, klorofil, selulosa, lignin, protein, keluasan daun, purata diameter sel, ketebalan daun dan ruang udara (Dawson et al., 1998). Bagi model Kubelka-Munk pula telah membenarkan simulasi kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan untuk sebarang jenis daun menggunakan kemasukan input parameter seperti empat lapisan struktur daun, yang terdiri daripada lapisan kutikal atas, parankema, mesofil span dan kutikal bawah (Yamada dan Fujimura, 1988). Penambahbaikan model optikal sifat daun diteruskan dengan binaan model empirikal seperti Partial least square (PLS), Stepwise Linear Regression (SLR). Terkini, model optikal sifat daun jenis semi-empirikal seperti Indeks Tumbuh-tumbuhan lebih kerap digunakan di kalangan penyelidik kerana ianya mudah dan ringkas. Indeks Tumbuh-tumbuhan turut berpotensi mengurangkan variasi LAI, kesan latar topografi, kesan latar tanah dan juga perubahan biofizikal atau biokimia tumbuh-tumbuhan (Jackson dan Huete, 1991, Zhang et al., 2010). Oleh itu, penggunaan Indeks Tumbuh-tumbuhan merupakan pendekatan terbaik untuk menghubungkan kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan dan membuat anggaran biokimia tumbuh-tumbuhan di lapangan.

Secara teorinya, indeks tumbuh-tumbuhan telah dibina berdasarkan nisbah pantulan spektrum tumbuh-tumbuhan antara dua atau lebih jalur spektrum. Pemilihan jalur spektrum tumbuh-tumbuhan yang digunakan ke dalam model Indeks Tumbuh-tumbuhan dapat mempengaruhi keputusan korelasi antara Indeks Tumbuh-tumbuhan dan biokimia tumbuh-tumbuhan di lapangan. Pemilihan jalur spektrum boleh dilakukan dengan menggunakan kaedah jarak metrik Jeffries-Matusita dan kaedah Transformasi Capahan. Walaubagaimanapun, kaedah Jeffries-Matusita dan Transformasi Capahan hanya sesuai untuk pemilihan jalur bagi data multispektrum

yang mempunyai kurang daripada 20 jalur. Sementara, kaedah Algoritma Genetik (Vaiphasa et al., 2007), kaedah Analisis Komponen Utama (Phua et al., 2012), dan kaedah Algoritma Genetik dengan sokongan mesin sokongan vektor (Li et al., 2011) adalah lebih sesuai untuk pemilihan jalur spektrum dalam data Hiperspektra yang mempunyai lebih daripada 20 jalur.

Dalam konteks pembangunan indeks biokimia tumbuh-tumbuhan, sifat kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan diambil menggunakan alat spektrometri lapangan pada julat spektrum di antara 350nm hingga 2500nm pada spesies tumbuh-tumbuhan terpilih. Indeks Tumbuh-tumbuhan seperti indeks jalur lebar, indeks jalur sempit, indeks karbon, indeks nitrogen dan indeks air tumbuh-tumbuhan merupakan komponen utama pembangunan indeks biokimia dan dapat dijadikan asas penyediaan maklumat biokimia (rujuk Rajah 1.2). Kajian ini turut memilih kaedah Transformasi Capahan dan Genetik Algoritma Pemetaan Sudut Spektrum sebagai kaedah pemilihan spektrum optimum. Kajian ini dilakukan berdasarkan pendekatan bahawa pembangunan indeks biokimia daripada data remote sensing lapangan boleh membantu proses pemantauan biokimia tumbuh-tumbuhan semasa.



**Rajah 1.2:** Indeks biokimia utama yang memberi pengaruh sifat kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan.

## 1.2 **Penyataan Masalah**

Analisis foliar adalah kaedah konvensional bagi pengeluaran maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan. Penggunaan kaedah tersebut menjadi salah satu punca kegagalan penyediaan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan pada kawasan yang luas. Faktor kekurangan tenaga mahir untuk penyediaan maklumat biokimia terperinci seperti klorofil, karbon, nitrogen dan air tumbuh-tumbuhan menyumbang kepada tempoh pelaksanaan kerja yang mengambil masa sehingga berbulan-bulan. Selain itu, faktor kos persampelan dan logistik yang tinggi disebabkan oleh keperluan mengekstrak sampel daun yang banyak berikutan kepelbagaian spesies tumbuh-tumbuhan dikawasan berkenaan merupakan penyumbang kepada kegagalan penyediaan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan tersebut.

Bagi mengatasi masalah tersebut, perolehan maklumat biokimia menggunakan data remote sensing adalah dicadangkan memandangkan ianya telah digunakan secara meluas dan dalam pelbagai aplikasi. Beberapa model sifat optikal daun boleh dipadankan dengan penggunaan data remote sensing antaranya seperti model deskriptif, model fizikal, model empirikal dan model semi-empirik.

Sehingga kini, terbitan Indek Tumbuh-tumbuhan daripada model semi-empirik amat popular di kalangan anggota penyelidik bagi menghubungkan kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan dengan biokimia tumbuh-tumbuhan dilapangan. Namun, hubungan antara kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan dengan kehadiran biokimia bagi spesies tumbuh-tumbuhan hutan hujan tropika terutamanya spesies dipterokap masih belum pernah dilaporkan di dalam sebarang bentuk laporan. Oleh itu, Indek Tumbuh-tumbuhan digunakan sebagai asas pembangunan indeks biokimia bagi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji untuk mendapatkan status sebenar hubungan antara kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan dengan biokimia tumbuh-tumbuhan dilapangan.

Walau bagaimanapun, kajian masih memerlukan strategi perancangan kerja yang baik. Perancangan kerja seperti pengaturan strategi persampelan, strategi pelarasan alat spektrometri, strategi pengutipan data spektrum tumbuh-

tumbuhan, strategi pengurusan data spektrum tumbuh-tumbuhan dan strategi perancangan pembangunan indek biokimia perlu dilakukan untuk membolehkan penyediaan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan yang dikaji. Kajian ini merumuskan bahawa setiap aturan rangka pelaksanaan kerja harus dilakukan dengan teliti supaya hasil kajian ini boleh digunakan untuk membantu di dalam penyediaan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan pada masa hadapan.

### **1.3 Objektif**

Objektif spesifik penyelidikan adalah untuk:

- a. Menentukan kepekaan jalur spektrum yang optimum untuk spesies hutan terpilih sebagai input indek biokimia spesies tersebut;
- b. Menilai indek biokimia yang berasaskan Indeks Tumbuh-tumbuhan sedia ada bagi spesies hutan yang dikaji;
- c. Menerbitkan indek biokimia yang bersesuaian dengan spesies hutan yang dikaji.

### **1.4 Skop Kajian**

Terdapat empat jenis skop kajian yang terlibat antaranya:

- a. Data spektrum adalah merujuk kepada hasil rekod kepantulan spektrum daun daripada penggunaan alat ASD FieldSpec<sup>®</sup> Pro spektroradiometer pada julat spektrum di antara 400nm hingga 2500nm dengan kadar sampling 17 saat / spektrum. Ini kerana hubungan kepantulan spektrum dan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan adalah berada pada julat spektrum tersebut.

- b. Kepekaan jalur spektrum yang optimum bagi penyediaan indeks biokimia tumbuh-tumbuhan dilakukan menggunakan kaedah Transformasi Capahan (TD) dan kaedah Genetik Algoritma (GA). Penggunaan dua kaedah yang berlainan di dalam pencarian jalur spektrum yang optimum adalah bertujuan pengesahan dalam membangunkan indeks biokimia tumbuh-tumbuhan yang dikaji.
- c. Hanya tujuh jenis spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji, iaitu *neobalanocarpus heimii* sp. (NEOBHE sp.), *shorea acuminata* sp. (SHORAC sp.), *shorea leprosula* sp. (SHORL1 sp.), *shorea lepidotasp.* (SHORL2 sp.), *shorea pauciflora* sp. (SHORP2 sp.), *shorea maxwelliana* sp. (SHORM2 sp.) dan *koompassia malaccensis* sp. (KOOMMA sp.). Sampel daun spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji diambil berdasarkan kriteria seperti ukuran diameter batang pada paras dada (DBH) melebihi 40cm dan bilangan pokok di dalam kawasan kajian harus melebihi 40 unit batang pokok. Kriteria tersebut digunakan untuk mencari spesies tumbuh-tumbuhan yang menonjol dan dominan di dalam kawasan kajian.
- d. Pembangunan indeks biokimia adalah berasaskan penggunaan Indeks Tumbuh-tumbuhan. Hanya lima jenis Indeks Tumbuh-tumbuhan yang digunakan, iaitu indeks jalur lebar, indeks jalur sempit, indeks karbon, indeks nitrogen dan indeks air. Pemilihan tersebut dibuat kerana terdapatnya empat pengaruh utama biokimia seperti pigmen klorofil, karbon, nitrogen dan air tumbuh-tumbuhan ke atas kepantulan spektrum tumbuh-tumbuhan.

## 1.5 Kepentingan Kajian

Kajian pembangunan indeks biokimia tumbuh-tumbuhan menggunakan data remote sensing merupakan satu kaedah alternatif yang disarankan untuk mendapatkan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan hutan. Ini kerana kebaikan penggunaan data remote sensing diketahui dapat menyediakan set data yang konsisten meliputi kawasan yang luas dengan frekuensi batas masa dan perincian yang bagus.

Selain itu, kepentingan kajian saintifik pembangunan indeks biokimia ini dapat membantu menyediakan ramalan keadaan kepekatan biokimia tumbuh-tumbuhan dilapangan. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk bagaimana kita hendak merancang dan memelihara hutan hujan tropika yang kaya dengan kepelbagaian spesies tumbuh-tumbuhan supaya tidak pupus. Perubahan masa membawa kepada perubahan hutan seterusnya membawa kepada perubahan iklim dunia. Impak negatif tersebut amat membimbangkan dimana perubahan iklim turut boleh membawa kepada masalah ekosistem, banjir, kebakaran hutan dan menjejaskan kesihatan manusia sejagat.

Malah, hasil daripada kajian pembangunan indeks biokimia ini dilihat dapat digunakan untuk menasihati penggubal undang-undang bagi melindungi hutan dan mengekalkan sesuatu ekosistem. Pembangunan indeks biokimia ini merupakan satu strategi yang dapat menggalakkan pemantauan perubahan fenologi dan fisiologi hutan yang dapat dikaitkan dengan keadaan stress pokok, penyakit pokok, kadar pengambilan nutrient, persaingan antara spesies tumbuh-tumbuhan dan simpanan air dikawasan hutan. Sumbangan kajian pembangunan indeks biokimia ini amat bersesuaian dengan keperluan Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia (JPSM).

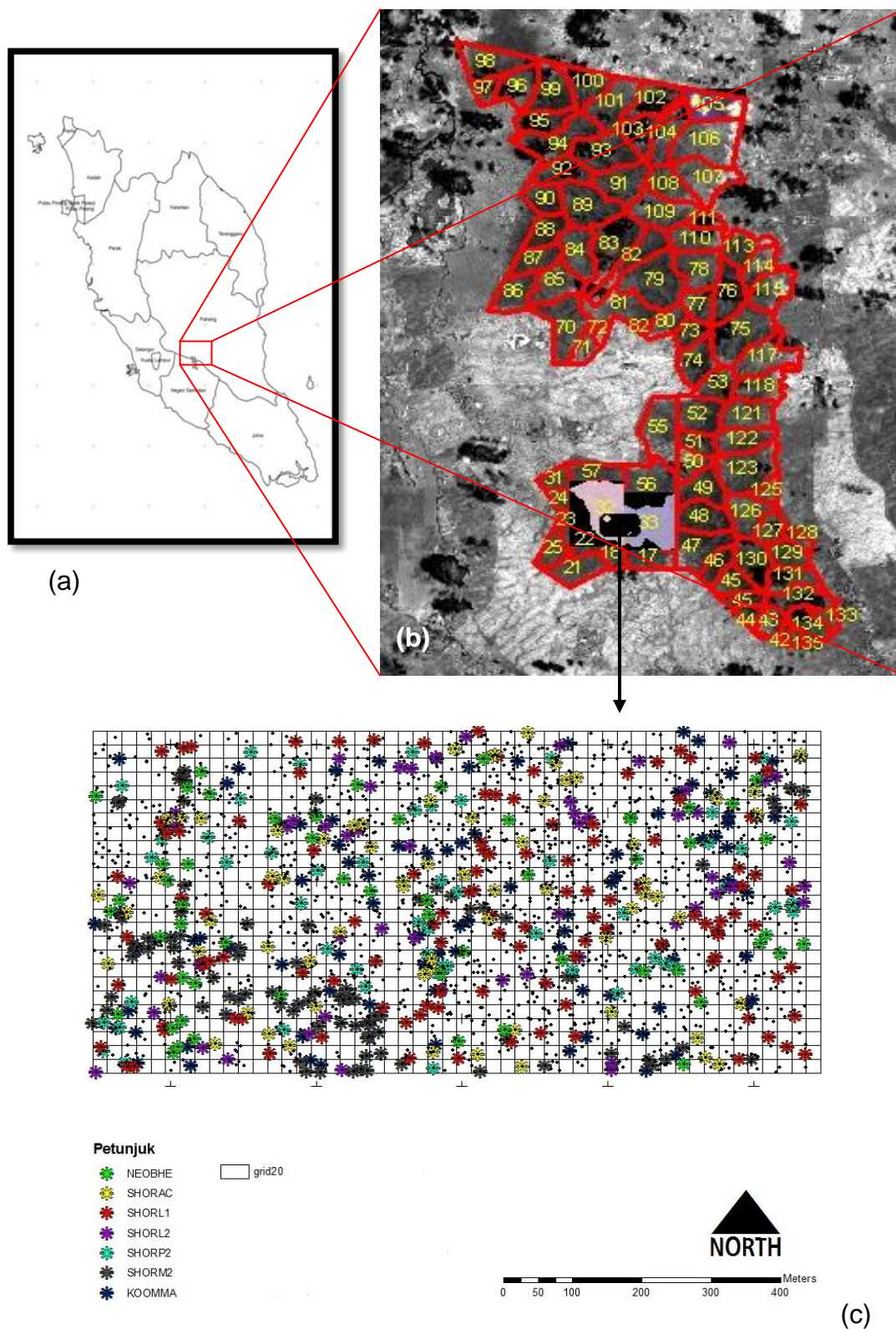


## 1.6 Kawasan Kajian

Kawasan kajian dipilih berdasarkan dua kriteria utama dalam menyediakan maklumat biokimia tumbuh-tumbuhan foliar, iaitu (a) ketersediaan maklumat spesies dan lokasi spesies tumbuh-tumbuhan, dan (b) pengecaman dan perolehan spesies tumbuh-tumbuhan dilapangan. Kawasan 50 hektar, Hutan Simpan Pasoh, Negeri Sembilan, Malaysia digunakan sebagai tapak kajian. Tapak kajian tersebut boleh dilihat pada kedudukan geografi koordinat 2°59' Utara dan 102°19' Timur seperti ditunjukkan pada Rajah 1.3(a).

Gabungan peta tematik dan vektor kompartmen Hutan Simpan Pasoh ditunjukkan seperti pada Rajah 1.3(b). Berdasarkan rajah tersebut, tapak kajian 50 hektar didapati terletak di antara kompartmen 32 dan kompartmen 33. Didapati, sebanyak 823 spesies, 294 genera dan 78 famili tumbuh-tumbuhan boleh ditemui di dalam tapak kajian dengan saiz keluasan tapak 1000m × 500m. Kekayaan spesies tumbuh-tumbuhan tersebut disebabkan faktor taburan hujan dan suhu persekitaran dengan masing-masing mempunyai rekod purata jumlah hujan tahunan antara 1469mm ke 2350mm dan purata suhu persekitaran tahunan berada pada aras 25° C (64°F).

Peta lokasi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji dengan gabungan binaan grid kuadrat segiempat bersaiz 20m × 20m ditunjukkan pada Rajah 1.3(c). Berdasarkan peta tersebut, lokasi spesies tumbuh-tumbuhan yang dikaji kelihatan bertaburan secara rawak. Hasil pemetaan lokasi spesies tumbuh-tumbuhan ini boleh membantu di dalam pengaturan strategi persampelan daun di lapangan.



**Rajah 1.3:** (a) Lokasi Hutan Hujan Tropika Pasoh, Negeri Sembilan, Malaysia (b) Lokasi tapak 50 hektar di dalam Kompartmen 32 dan Kompartmen 33 , dan (c) lokasi spesies tumbuh-tumbuhan kajian

## 1.7 Struktur Dokumen Tesis

Dokumen tesis ini distrukturkan kepada enam bab yang terdiri daripada pengenalan, kajian literatur, metodologi, hasil, analisis, kesimpulan dan cadangan. Bab 1 merupakan pengenalan kepada kajian membincangkan tentang latar belakang kajian yang dibuat termasuklah objektif, skop kajian, kepentingan, dan kawasan kajian dan diikuti dengan huraian mengenai struktur tesis secara keseluruhannya.

Bab 2 pula merupakan bahagian kajian literatur bagi penyelidikan ini. Didalam awalan bab ini mengupas pemahaman tentang definisi biokimia tumbuh-tumbuhan, latar belakang pembangunan maklumat biokimia, Indeks Tumbuh-tumbuhan, dan jalur spektrum optimum dalam pembangunan maklumat biokimia. Seterusnya, bab ini turut membincangkan lebih lanjut tentang aturan strategi pengumpulan data dilapangan, strategi pelarasan alat serta strategi prosesan data spektrum. Bab ini dilihat dapat menyumbang kepada pemahaman yang jelas dan pembentukan metodologi yang sesuai.

Bab 3 merupakan bahagian metodologi bagi pembangunan indeks biokimia. Terdapat empat peringkat metodologi iaitu pra-pemprosesan, pemprosesan, permodelan biokimia tumbuh-tumbuhan dan analisa indeks biokimia. Huraian secara terperinci turut diberikan bagi setiap peringkat metodologi. Bab 4 adalah bab yang melaporkan hasil penyelidikan bagi setiap peringkat kajian. Bab 5 pula membincangkan tentang hasil penyelidikan dimana hubungan hasil penyelidikan dibincangkan, dibandingkan dan ditafsirkan mengikut pemikiran dan pemerhatian di kaca mata penyelidik.

Bab yang terakhir adalah Bab 6, iaitu kesimpulan dan cadangan. Kesimpulan menyimpulkan hasil keseluruhan penyelidikan sementara cadangan dilaporkan bagi membantu kearah penyelidikan yang lebih berkesan untuk kesinambungan dan membaik pulih penyelidikan pada masa hadapan.

## RUJUKAN

Adam, E., dan Mutanga, O (2009), Spectrum discrimination of papyrus vegetation (*Cyperus papyrus* L.) in swamp wetlands using field spectrometry. *ISPRS Journal of Photogrametry and Remote Sensing*, vol 64. pp: 612-620

Allen, W.A., dan Richardson, A.J., (1968), Interaction of light with a plant canopy. *J. Opt. Soc. Amer.*, vol 58. pp: 1023-1028.

Asner, G.P., (1998), Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, vol 64 (3). pp: 132-142

Asner, G.P., dan Heidebrecht, K.B., (2002), Spectrum unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions; comparing multispectrum and hyperspectrum observations. *International Journal of Remote Sensing*, vol 23. pp: 3939

Asner dan Martin (2008), Spectrum and chemical analysis of tropical forests: Scaling from leaf to canopy levels. *Remote Sensing of Environment*, vol 112. pp: 3958-3970

Asner, G.P., dan Martin, R.E., (2008), Airborne spektrumnomics: Mapping canopy chemical and taxonomic diversity in tropical forests. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol 10. pp: 1890

Asner, G.P., Martin, R.E., Knapp, D.E., Tupayachi, R., Anderson, C., Carranza, L., Martinez, P., Houcheime, M., Sinca, F., Weiss, P., (2011), Spectroscopy of canopy chemicals in humid tropical forests, *Remote Sensing of Environment*, 115 (12), pp. 3587-3598

Asrar, G., (1989), *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Wiley, New York. pp: 734

Baret, F., (1996), Use of Spectrum Reflectance Variation to Retrieve Canopy Biophysical Characteristics. *Advances in Environmental Remote Sensing*. pp: 30-51

Bennett, William F., (1993), *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. American Phytopathological Society (APS). Diambil dari laman <http://www.scisoc.org/apspress/>

Biday, S.G., dan Bhosle, U., (2010), Radiometric correction of multitemporal satelit imagery. *Journal of Computer Science*, vol 6 (9). pp: 940-949

Broge, N.H., dan Leblanc, E.,(2001), Comparing prediction power and stability of broadband and hyper spectrum vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, vol 76, pp: 156-172

Caccamo, G., Chisholm, L.A., Bradstock, R.A., Puotinen, M.L (2011), Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems *Remote Sensing of Environment*, vol 115 (10), pp: 2626-2639.

Chiang dan Brown (2010), The effects of thinning and burning treatments on within canopy variation of leaf traits in hardwood forests of southern Ohio. *Forest Ecol Manag*, vol 260. pp: 1065-1075

Clevers, J.G., Kooistra, L., dan Schaepman, M.E, (2008), Using spectrum information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol 10(3). pp: 388-397.

Cohen, W., dan Goward, S.N., (2004), Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience*, vol 54. pp: 535-545.

Curran, P.J., (1989), Remote sensing of foliar Chemistry. *Remote Sens. environm.*30. pp: 271-278

Curran, P.J., Windham, W.R., dan Gholz, H.I., (1995), Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll concentration in slash pine leaves. *Tree Physiology* , vol 15. pp: 203.

Curran, P.J., Kupiec, J.A., dan Smith, G.M. (1997), Remote sensing of the biochemical composition of a slash pine canopy. *IEEE* ,vol 35 (2)

Curran, P.J., Dungan, J.L., Macler, B.A., dan Plummer, S.E (1991), The effect of a red leaf pigment on the relationship between red edge and chlorophyll concentration. *Remote Sens. environ*, vol 35. pp: 69-76.

Curran, P.J., Dungan, J.L., dan Peterson, D.L.,(2001). Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, vol 76(3). pp: 349-359.

Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., Atzberger, C., Corsi, F., dan Cho, M.,(2008). LAI and chlorophyll estimation for a heterogeneous grassland using hyperspectrum measurements. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol 63.pp: 409-426.

Datt,B., (1998), Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a+b, total carotenoid content in eucalyptus leaves. *Remote Sensing of Environ*, vol 66.pp: 111-121

Datt,B.,(1999), Visible/near infrared reflectance and chlorophyll content in Eucalyptus leaves, *International Journal of Remote Sensing*, vol 20. pp: 2741.

Daughtry, C.S.T.,Walthall, C.L.,Kim, M.S.,de Colstoun, E.B., dan McMurtrey,J.E., (2000), Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, vol 74. pp: 229-239.

Daughtry,C.S.T., (2001), Discriminating crop residues from soil shortwave infrared reflectance. *Agronomy Journal*, vol 93. pp: 125

Dawson,T.P.,Curran,P.J.,dan Plummer,S.E., (1998), LIBERTY-Modelling the effects of leaf biochemical concentration of reflectance spektrum. *Remote Sensing of Environment*, vol 65. pp: 50-60

Dury, S.,Turner,B.,Foley,B., dan Wallis, I., (2001), Use of high spectrum resolution remote sensing to determine leaf palatability of eucalypt trees for folivorous marsupials *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* vol 3(4). pp: 328-336

Fourty,T.,Baret,F.,Jacquemoud,S.,Schmuck G., danVerdebout, J.,(1996), Leaf Optical Properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. *Remote Sensing Environment*, vol 56. pp: 104-117

Fourty, T. dan Baret,F., (1998), On spectrum estimates of fresh leaf biochemistry. *Int Journal Remote Sensing*, vol 19 (7).pp: 1283-1297

Gandia,S.,Fernandez,G.,Garcia,J.L., dan Moreno,J.,(2004), Retrieval of vegetation biophysical variables from CHRIS/PROBA data in the SPARC campaign. *ESA SP* , vol 578. pp: 40-48

Gao., (1996), NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, vol 58. pp: 257–266

Gao, F., Schaaf, C.B., Strahler,A.H.,Jin,Y., dan Li,X. (2003), Detecting vegetation structure using a kernel-based BRDF model. *Remote Sensing of Environment*, vol 86, 198-205.

Gitelson,A.,dan Merzlyak,M.N., (1994), Quantitative estimation of chlorophyll a using reflectance spektrum: Experiments with autumn chestnut and maple leaves. *Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology*, vol 22. pp: 247

Gitelson,A.A.,Kaufman, Y.J., dan Merzlyak, M.N., (1996), Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, vol 58. pp: 289

Gitelson,A.,dan Merzlyak,M.N.,(1997), Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. *International Journal of Remote Sensing*, vol 18. pp:2691-2697.

Gitelson, A. Vina, S.B. Verma, D.C. Rundquist, T.J. Arkebauer, G. Keydan, B. Leavitt, V. Ciganda, G.G. Burba dan A.E. Suyker (2006). Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity. *J. Geophys. Res.*, pp. 111.

Gong, P., dan Pu, R., (2003), Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived From Hyperion Hyperspectrum Data. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*.

Guyot, G., Baret, F., dan Major, D.J., (1988), High spectrum resolution: Determination of Spectrum shifts between the red and near infrared. *International Archived of the Photogrammetry and Remote Sensing*, vol 27. pp: 750-760

Haboudane, D., Miller, J.R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P.J., dan Dextraze, L., (2002), Integrated narrow-band vegetation indices and novel algorithms for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, vol 81. pp: 416-426

Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Tejada, Z.P.J., dan Strachan, I.B., (2004), Hyperspectrum Vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, vol 90. pp: 337-352

Haboudane, D., Tremblay, N., Miller, J.R., dan Vigneault, P., (2008), Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content using Spectrum Indices derived from Hyperspectrum Data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing* vol 46. pp: 2

Hamzah, N.S., (2008), Tree structure modeling with high resolution satellite data. Tesis Project Sarjana Muda, Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.

Hardisky, M.a., Klemas, V., dan Daiber, F.D., (1983). Remote sensing salt marsh biomass and stress detection . *Advances in Space Research* , vol 2. pp: 219

Hashim, M., Alvin L.M. S., Ibrahim, A.B.L., dan Deliman, S., (2009), Spektrum Library of dipterocarp Timber Species in Pasoh. Annual Report of NIES/FRIM/UPM/UTM/FNDS Join Research Project on Tropical Ecology and Biodiversity. National Institute for Environmental Study Tsukuba Japan. pp:13.

Huber, S., Kneubuhler, M., Psomas, A., Itten, K., dan Zimmermann, N.E. (2008), Estimating foliar biochemistry from hyperspectrum data in mixed forest canopy. *Forest Ecology and Management*, vol 256 (3). pp: 491-501

Huete, A., Justice, C., dan Liu, H., (1994), Development of Vegetation and soil indexes for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment* , vol 49. pp:224-234

Huete, A., Justice, C., dan Leeuwen, W.V., (1999), MODIS Vegetation Index (MOD 13): Algorithm Theoretical Basis Document. NASA.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., dan Ferreira, G.L., (2002), Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, vol 83(2). pp: 195-213

Hughes, N, K., Burley, A, L., King, S, A., dan Downey, P, O., (2009), *Advanced Tier-Monitoring manual for bitou bush control and native plant recovery*, Department of Environment, Climate Change and Water NSW, Hurstville.

Hunt, E.R., dan Rock, B.N., (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, vol 30. pp: 43.

Jackson, R.D., dan Huete, A.R., (1991), Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary Medicine* , vol 11. pp:185-200

Jacquemoud, S., Baret, F., (1990), PROSPECT: A model of leaf properties spektrum. *Remote Sensing of Environment* , vol 34. pp: 75-91

Jacquemoud, S., Verdebout, J., Schmuck, G., Andreoli, G., dan Hosgood, B., (1995), Investigation of leaf biochemistry by statistics. *Remote Sensing of Environment*, vol 54. pp: 180-188

Jing, X., Yao, W, Q., Wang, J, H., dan Song X, Y., (2011), A study on the relationship between dynamic coverage change of vegetation coverage and precipitation in Beijing's mountainous areas during last 20 years. *Journal of Mathematical and computer Modelling* , vol 54. pp: 1079-1085

Jordan, C.F., (1969), Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* , vol 50. pp: 663-666

Killmann, W., dan Thong, H, L., (1995), The periodicity of growth in tropical trees with special referenceto dipetrocarpaceae –A review. *IAWA Journal*, vol. 16 (4). pp :329-335

Kim, M.s., Daughtry, C.S.T., Chappelle, E.W., McMurtrey, J.E.III, dan Walthall, C.L. (1994), The use of high spectrum resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (APAR). 6<sup>th</sup> symposium on physical measurements and signatures in remote sensing, Val D'Iserre, France.

Kneubuhler, H.S., Psomas, M., Itten, A., dan Zimmermann E.N., (2008), Estimating foliar biochemistry from hyperspectrum data in mixed forest canopy. *Forest Ecology and Management* vol, 256. pp: 491-501

Kokaly dan Clark., (1999), Spectroscopic Determination of Leaf Biochemistry Using Band-Depth Analysis of Absorption Features and Stepwise Multiple Linear Regression. *Remote Sensing of Environment*, vol 67. pp: 267-287

Kokaly, R.F., Despain, D.G., Clark, R.N., dan Livo, K.E., (2003), Mapping vegetation in Yellowstone National Park using spectrum feature analysis of AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*, vol 84. pp: 437-456.



Lecomte, N., Simard, M., Fenton, N., dan Bergeron, Y., (2006), Fire severity and long-term ecosystem biomass dynamics in coniferous boreal forests of eastern Canada. *Ecosystems*, vol 9. pp: 1215-1230

Lee, G.-L., Han, K.-S., Yeom, J.-M., Pi, K.-J., dan Park, S.-J., (2009), Water stress monitoring using NDWI around deserts of China and Mongolia . *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, vol 7478, art. no. 74780Z

Li, S., Wu, H., Wan, D., Zhu, J, (2011), An effective feature selection method for hyperspectral image classification based on genetic algorithm and support vector machine, *Knowledge-Based Systems*, 24 (1), pp. 40-48

Lyon,R.G., (2004), *Understanding Digital Signal Processing*. Prentice Hall, New Jersey.

Maire,G.,Francois,C.,Soudani,K., Berveiller, D., Pontailier, J, Y.,Breda, N., Genet,H., Davi,H,. dan Dufrene,E,. (2008), Calibration and validation of hyperspectrum indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. *Remote Sensing of Environment*, vol 112. pp: 2846-3864.

Matson,P.,Johnson ,L., Billow, C., Miller, J., dan Pu, R., (1994), Seasonal Pattern and Remote Spectrum Estimation of Canopy Chemistry Across The Oregon Transect. *Ecological Applications*, vol 4(2). pp: 280-298

Markham,B.L., dan Barker,J.L., (1987), Radiometric properties of U.S. processed Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment* , vol 22.pp: 39-71

Majeke, B., Van Aardt, J.A.N., Cho, M.A, (2008), Imaging spectroscopy of foliar biochemistry in forestry environments, *Southern Forests*, 70 (3), pp. 275-285

Neckel, H., dan Labs,D., (1984), The solar radiation between 3300 and 12500 A. *Solar Physics* , vol 90. pp: 205-258.

Nepstad, D.C., Moutinho, P., Dias, M.B., Davidson, E., Cardinot, G., dan Markewitz,D., (2002), The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, above-ground production, and biogeochemistry of an amazon forest. *Journal of Geophysical Research* vol 107. pp: 1-18

Ng, F.S.P.,(1981), Vegetative and reproductive phenology of dipterocarps. *Malaysian Forester*, vol 37. pp:127-132.

Niinemets, U., dan Kull, K., (2003), Leaf structure vs.nutrient relationships vary with soil conditions in temperate shrubs and trees. *Journal of Acta Oecologica*, vol 24.pp: 209-219

Nur Shazwani Hamzah (2008), Tree Structure modeling with high resolution satellite data. Tesis Ijazah Sarjana Muda Sains Remote Sensing. Universiti Teknologi Malaysia, Skudai.

Olson, G. A., Cheryadat, A., Mali, P., dan O'Hara, C.G., (2004), Detecting and managing change in spatial data land use and infrastructure change analysis and detection. IEEE

O'Neill, A.L., Kupiec, J.A., dan Curran, P.J., (2002), Biochemical and reflectance variation throughout a Sitka spruce canopy. *Remote Sensing of Environment*, vol 80(1). pp: 134-142.

Oppelt, N., dan Mauser, W., (2001), The chlorophyll content of maize (*Zea mays*) derived with the Airborne Imaging Spectrometer AVIS. 8<sup>th</sup> International Symposium "Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing", Aussois, France. pp: 407-412

Penuelas, J., Filella, I., Lloret, P., Munoz, F., dan Vilajeliu, M. (1995), Reflectance assessment of mite effects on apple trees. *International Journal of Remote Sensing*, vol 16. pp: 2727-2733

Penuelas, J., Pinol, J., dan Ogaya, R., (1997), Estimation of plant water concentration by the reflectance water index (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing* 18. pp: 2869

Peterson et.al (1988), Remote Sensing of Forest Canopy and Leaf Biochemical Contents. *Remote Sens. Environment*, vol 24. pp: 85-108.

Phua, M.-H., Tsuyuki, S., Soo Lee, J., Ghani, M.A.A, (2012), Simultaneous detection of burned areas of multiple fires in the tropics using multisensory remote-sensing data *International Journal of Remote Sensing*, 33 (14), pp. 4312-4333

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., dan Sorooshian, S. (1994), A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, vol 48. pp: 119-126

Rondeaux, G., Steven, M., dan Baret, F. (1996), Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* vol 55. pp: 95-107.

Roujean, J.L., dan Breon, f.m., (1995), Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, vol 51. pp: 375-384

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., dan Deering, D.W., (1973), Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol 1. pp: 309-317

Rossini, M., Panigada, C., Meroni, M., dan Colombo, R., (2006), Assessment of oak forest condition based on leaf biochemical variables and chlorophyll fluorescence. *Journal of Tree Physiology*, vol 26. pp: 1487-1496

Ruiliang P., (2009), Broadleaf species recognition with in situ hyperspectrum data *International Journal of Remote Sensing*, vol 30(11). pp: 2759-2779

Schmidt, K.S., dan Skidmore, A.K., (2003), Spectrum discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment*, vol 85. pp: 92-108

Serrano, L., Penuelas, J., dan Ustin, S., (2002), Remote Sensing of nitrogen and lignin in Mediterranean vegetation from AVIRIS data: Decomposing biochemical from structural signals. *Remote Sensing of Environment* vol 81. pp: 355

Shi R., (2004), Effects of Spectrum Transformations in statistical Modelling of Leaf Biochemical Concentrations. *IEEE*

Sims, D.A., dan Gamon, J.A. (2002), Relationships between leaf pigment content and spectrum reflectance across wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, vol 81. pp: 337-354

Singh, A., (1987), Spectrum separability of tropical forest cover classes. *Journal Remote Sensing* vol 8 (7). pp: 971-979

Slater, P.N., (1980), Remote sensing optics and optical systems. Addison-Wiley Publishing Co. Massachusetts. pp: 593

Smith, M.L., Martin, M.E., Plourde, L., dan Ollinger, S.V. (2003), Analysis of hyperspectrum data for estimation of temperate forest canopy nitrogen concentration: comparison between airborne (AVIRIS) and spaceborne (Hyperion) sensor. *IEEE Transaction of Geoscience and Remote Sensing*, vol 41. pp: 1332-1337

Song Y., (2008), Estimating Biophysical and Biochemical Parameters and Yield of Winter Wheat based on Landsat TM images.

Stagakis S., Markos, N., Sykioti, O., dan Kyparissis, A., (2010), Monitoring canopy biophysical and biochemical parameters in ecosystem scale using satellite hyperspectrum imagery: An application on a *Phlomis fruticosa* Mediterranean ecosystem using multiangular CHRIS/PROBA observations. *Remote Sensing of Environment*, vol 114. pp: 977-994

Starks, P.J., Coleman, S.W., dan Phillips, W., (2004), Determination of Forage Chemical Composition Using Remote Sensing. *J Range Manag*, vol 57. pp: 535-640

Tejada, P.J., Miller, J.R. Noland, T.I., Mohammed, G.H., dan Sampson, P.H., (2001), Scaling-up and model inversion methods with narrowband

optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectrum data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* vol 39. pp: 1491-1507

Tejada, Z.P.J., Berjon, and Lopez-Lozano A., Miller, J.R., Martin, P., Cachorro, V., Gonzalez, M.R., dan de Frutos, A., (2005), Assessing vineyard condition with hyperspectrum indices: Leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing of Environment*, vol 99. pp: 271-287

Tejada, P.J.Z., dan Conto, G., S (2007), Remote sensing of vegetation biophysical parameters for detecting stress condition and land cover changes.

Thenkabail, P.s., Smith, R.B., dan De Pauw, E., (2000a.), Hyperspectrum vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing Environ.* vol 71. pp: 158-182

Tucker, C.J., (1979), Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* vol 8. pp: 127-150  
 Ustin, S.L., Jacquemoud, S., Orueta, A.P., Li, L., dan Whiting, M.L., (2005), Remote sensing bases assessment of biophysical indicators for land degradation and desertification. *Remote sensing and geoinformation*, Trier, Germany.

Vaiphasa, C., Ongsomwang, S., Vaiphasa, T., dan Skidmore, A, K., (2005), Tropical mangrove species discrimination using hyperspectrum data: A laboratory study. *Journal of Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol 65. pp: 371-379

Vaiphasa, C., (2006), Consideration of smoothing techniques for hyperspectrum remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol 60. pp: 91-99

Vaiphasa, C., Skidmore, A.K., de Boer, W, F dan Vaiphasa, T., (2007), A hyperspectrum band selector for plant species discrimination. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol 62. pp: 225-235

*Vegetation Applications: Agriculture, Forestry, and Ecology- General Principles for recognizing Vegetation*, diambil pada Desember 2010, dari NASA.

Vigneau, N., Ecartot, M., Rabatel, G., Roumet, P, (2011), Potential of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in Wheat Field Crops Research, 122 (1), pp: 25-31.

Vincini, M., Frazzi, E., dan D'Alessio, P. (2006), Angular dependence of maize and sugar beet Vis from directional CHRIS/PROBA data. 4<sup>th</sup> ESA CHRIS PROBA workshop, ESRIN, Frascati, Italy, pp: 19-21

Vincini, M., Frazzi, E, (2011), Comparing narrow and broad-band vegetation indices to estimate leaf chlorophyll content in planophile crop canopies, *Precision Agriculture*, 12 (3), pp. 334-344

Vogelmann, J.E., Rock, B.N., dan Moss, D.M., (1993), Red edge spectrum measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, vol 14. pp:1563-1575

Wulder, M., dan Franklin, S.E., *Remote sensing of forest environments-Concepts and Case Studies USA*. Kluwer Academic. pp: 143-176

Yamada, Y.N., dan Fujimura, S., (1988), A mathematical model of reflectance and transmittance of plant leaves as a function of chlorophyll pigment content. *IEEE*

Yuan, J., dan Niu, Z., (2008), Evaluation of atmospheric correction using FLAASH. *International Workshop of Earth Observation and Remote Sensing Applications*

Zhang, Y., Chen, J.M., Miller, J.R., dan Noland, T.L. (2008), Leaf chlorophyll content retrieval from airborne hyperspectrum remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol 112 (7), pp.3234-3247.

Zou, K., Tuncali, K., dan Silverman, S. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, vol 227. pp: 617-662