

**PENCIRIAN HUJAN SUB - KANOPI DI HUTAN SIMPAN  
SEPTLOK, SANDAKAN, SABAH**

**MAZNAH BINTI MAHALI**



**TESIS INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI  
SYARAT MEMPEROLEH  
IJAZAH DOKTOR FALSAFAH**

**PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

**FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

**2019**

# UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

JUDUL : **PENCIRIAN HUJAN SUB-KANOPI HUTAN  
SIMPAN SEPILOK, SANDAKAN, SABAH**

IJAZAH : **DOKTOR FALSAFAH (SAINS SEKITARAN)**

Saya **MAZNAH BINTI MAHALI**, Sesi **2018 – 2019**, mengaku membenarkan tesis Doktor Falsafah ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat – syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis ini adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/):


SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA 1972)

TERHAD

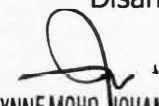
(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

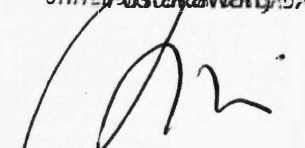
TIDAK  
TERHAD

  
**MAZNAH BINTI MAHALI**  
**PS20119131**

Tarikh: 16 OGOS 2019

Disahkan Oleh,

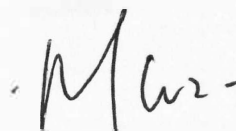
  
**NORAZLYNE MOHD. JOHAN @ Jb. LYNE**  
(Pustakawan  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH)

  
**(PROF. DR. KAWI BIDIN)**  
Penyelia

## PENGAKUAN

Saya mengaku bahawa Tesis Doktor Falsafah ini merupakan hasil usaha dan kerja saya sendiri, melainkan petikan dan ringkasan yang setiap satunya saya telah jelaskan sumbernya.

16 OGOS 2019



---

MAZNAH BINTI MAHALI  
PS20119131



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## PENGESAHAN

NAMA : MAZNAH BINTI MAHALI  
NO MATRIK : PS20119131  
TAJUK : PENCIRIAN HUJAN SUB-KANOPI HUTAN  
SIMPAN SEPILOK, SANDAKAN, SABAH  
IJAZAH : DOKTOR FALSAFAH  
(SAINS SEKITARAN)  
TARIKH VIVA : 14 JUN 2019

DISAHKAN OLEH;

1. **PENYELIA UTAMA**

Prof. Dr. Kawi Bidin

2. **PENYELIA BERSAMA**

Prof. Dr. Phua Mui How

Tandatangan

UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## PENGHARGAAN

*Dengan Nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang*

Alhamdulillah...Tiada daya dan upaya melainkan dengan izin Allah Subhanahu Wata'ala juga penulisan tesis ini telah dapat disiapkan.

Terlebih dahulu jutaan terima kasih saya tujukan khusus kepada Prof. Dr. Kawi Bidin selaku penyelia utama saya yang sentiasa memberikan bimbingan dan berkongsi pendapat tanpa jemu sepanjang perjalanan pengajian PhD saya. Begitu juga kepada Prof. Dr. Phua Mui How selaku penyelia bersama yang sentiasa memberi motivasi agar saya terus berusaha menyiapkan pengajian saya.

Seterusnya saya tujukan penghargaan kepada pihak Universiti Malaysia Sabah dan Kementerian Pengajian Tinggi atas sokongan berbentuk geran penyelidikan untuk membolehkan saya menjalankan kajian ini.

Penghargaan juga saya tujukan kepada pihak Jabatan Perhutanan Sabah yang memberikan kebenaran kepada saya untuk menjalankan penyelidikan di hutan simpan Sepilok, Sandakan, khususnya kepada Ketua Konservator Perhutanan Sabah, serta Dr. Reuben, Cik Eyen dan En. Postar daripada Pusat Penyelidikan Perhutanan Sepilok yang turut membantu dalam melancarkan kerja-kerja di lapangan.

Terima kasih yang tidak terhingga diucapkan kepada rakan-rakan yang sentiasa memberi bantuan dan sokongan secara langsung atau tidak langsung khususnya Dr. Kamlisa Uni, Dr. Siti Rahayu, Dr. Fera, Dr. Rosmalina, Dr. Keiko, Prof. Dr. Hafizan, Dr. Colin Maycock dan Prof. Dr. Mazlan. Tidak lupa juga penghargaan saya tujukan kepada saudara Rozaidi, David, Shazrul Azwan, Daniel, Nik dan Suwah yang sentiasa tidak keberatan memberikan bantuan apabila diperlukan.

Sekalung penghargaan saya ingin berikan kepada ketiga-tiga pemeriksa tesis saya iaitu Prof. Datuk Dr. Mohd Harun Abdullah, Prof. Dato' Dr. Mohd Ekhwan Toriman dan Prof. Ir. Dr. Ayob Katimon atas komen yang membina dalam memperbaiki penulisan tesis ini. Seterusnya, terima kasih saya tujukan juga kepada pihak pengurusan dan penyelaras pasca Fakulti Sains dan Sumber Alam yang banyak membantu dalam pengurusan pengajian saya agar dapat berjalan dengan lancar.

Akhir sekali, terima kasih yang teristimewa saya ucapkan buat suami saya En. Roslan Md Idris yang sentiasa bersama dan mendoakan kejayaan saya. Buat anak-anak yang turut membantu di lapangan, terima kasih dan moga Allah Subhanahu Wata'ala sentiasa merahmati dan memberkati kita sekeluarga.

Maznah Binti Mahali

16 Ogos 2019

## ABSTRAK

Hujan sub-kanopi adalah curahan hujan yang berjaya sampai ke lantai hutan yang terdiri dari jatuhan langsung dan aliran batang selepas melalui proses pintasan oleh lapisan kanopi bagi suatu ekosistem hutan. Ianya mempengaruhiimbangan air serta lembapan tanah di kawasan berkenaan. Kajian ini dijalankan untuk menilai hubungkait antara struktur fizikal dirian hutan dan hujan sub-kanopi di dua jenis hutan yang terdapat di hutan simpan Sepilok, Sandakan, Sabah iaitu hutan alluvial dan hutan kerangas. Penentuan struktur fizikal dirian hutan telah dilakukan ke atas enam plot berukuran 30 x 30 m bagi setiap jenis hutan. Pengaruh data densiti titik awan ke atas kadar jatuhan langsung turut dinilai. Persampelan jatuhan langsung dijalankan untuk tempoh lebih kurang setahun di 20 plot berukuran 15 x 15 m menggunakan tolok pengumpul jenis saluran (*trough*) dengan luas bukaan 1,978.2 cm<sup>2</sup>. Anggaran penjana aliran batang pula dilakukan berdasarkan kaedah luas pangkal pokok dan kaedah plot. Dalam kaedah luas pangkal, 10 dan 13 pokok telah dipilih sebagai wakil sampel aliran batang masing-masing di hutan alluvial dan kerangas. Untuk kaedah skala plot semua pokok berdiameter 1 cm dan ke atas dipasang kolar untuk mengumpul aliran batang yang terhasil. Plot aliran batang bagi hutan alluvial adalah berukuran 12 x 6 m (32 pokok sampel) sementara bagi hutan kerangas adalah 12 x 8 m (43 pokok sampel). Hasil inventori vegetasi hutan menunjukkan perbezaan yang signifikan ( $p < 0.05$ ) bagi struktur dirian hutan di antara dua jenis hutan yang dikaji. Purata diameter aras dada, tinggi dan luas pangkal pokok masing-masing adalah  $23.0 \pm 21.8$  cm,  $18.4 \pm 10.4$  m dan  $0.079 \pm 0.206$  m<sup>2</sup> bagi hutan alluvial berbanding  $21.5 \pm 12.3$  cm,  $19.8 \pm 6.4$  m dan  $0.048 \pm 0.069$  m<sup>2</sup> bagi hutan kerangas. Kepadatan titik awan (*point cloud density*) yang diperolehi daripada data *Light Ranging and Detection* mendapati majoriti plot di hutan alluvial mempunyai kepadatan titik awan tertinggi pada aras ketinggian melebihi 30 m, berbanding 20 hingga 30 m bagi hutan kerangas. Nilai kadar jatuhan langsung yang diperolehi adalah masing-masing 76.8% bagi hutan alluvial dan 89.5% bagi hutan kerangas. Di samping itu, kapasiti simpanan kanopi yang diperolehi adalah 3.1 mm dan 3.6 mm di hutan alluvial dan hutan kerangas mengikut urutan. Kadar jatuhan langsung didapati dipengaruhi oleh hujan kasar, densiti titik awan, *lorey's height* dan jumlah biojisim atas tanah di kedua-dua jenis hutan. Kadar aliran batang bagi hutan alluvial adalah 0.92% untuk kaedah luas pangkal pokok dan 1.42% untuk kaedah plot. Bagi hutan kerangas pula kadar aliran batang adalah 0.86% untuk kaedah luas pangkal pokok, berbanding 1.43% untuk kaedah plot. Pokok-pokok bersaiz kecil (diameter 1 hingga kurang dari 10 cm) didapati menjana 67.7% daripada keseluruhan isipadu aliran batang di hutan alluvial berbanding hanya 47.6% bagi kelas saiz diameter pokok yang sama di hutan kerangas. Ketinggian pokok dikenalpasti sebagai faktor utama yang mempengaruhi variasi isipadu aliran batang yang dijana di hutan simpan Sepilok.

## **ABSTRACT**

### **SUB – CANOPY RAINFALL IN SEPILOK FOREST RESERVE, SANDAKAN, SABAH**

*Sub-canopy rainfall is the amount of rainwater consisting of throughfall and stemflow that successfully reach the forest floor after passing through the canopy interception process in the forested ecosystem. It has an effect on the water balance and soil moisture availability of an area. This study was conducted in two types of forest located in Sepilok forest Reserve, Sandakan, Sabah which are the alluvial and heath forests. The research aims to evaluate the relationship between the physical structure of the forest stand and the corresponding sub-canopy rainfall in the study area. Throughfall sampling was carried out approximately for a year period in the 20, 15 x 15 m plots using trough method with an opening of 1,978.2 cm<sup>2</sup>. Estimation of stemflow generation was based on the stem basal area approach and the plot scale approach. For the basal area approach, 10 and 13 trees were selected as representative trees for stemflow sampling in the alluvial and heath forest respectively. For the plot base approach, all trees with diameter 1 cm and above were collared to collect the generated stemflow. The stemflow plots for alluvial and heath forests are 12 x 6 m (32 sample trees) and 12 x 8 m (43 sample trees) respectively. The results of forest vegetation inventory showed a significant difference ( $p < 0.05$ ) for the forest stand structure between the two types of forest under study. The average diameter at breast height, tree height and basal area are  $23.0 \pm 21.8$  cm,  $18.4 \pm 10.4$  m and  $0.079 \pm 0.206$  m<sup>2</sup> for alluvial forest compared to  $21.5 \pm 12.3$  cm,  $19.8 \pm 6.4$  m and  $0.048 \pm 0.069$  m<sup>2</sup> for heath forest respectively. The point cloud density analyzed from Light Detection and Ranging data found that the majority of plots in the alluvial forest had the highest cloud point density at the height of more than 30 m, meanwhile for heath forest was at 20 to 30 m height. This study found that the rate of throughfall for alluvial forest was 76.8% and 89.5% in heath forest. Whilst, the estimated canopy storage capacity are 3.1 mm and 3.6 mm in alluvial forest and heath forest respectively. The rate of throughfall in both forest was found to be influenced by the amount of gross rainfall, point cloud density, Lorey's height and total above ground biomass. The stemflow coefficient of gross rainfall for alluvial forest is 0.92% for the basal area method and 1.42% for plot scale method. In the case of heath forest, the stemflow coefficient was 0.86% for the basal area method and 1.43% for the plot base method. Smaller trees (diameter 1 to less than 10 cm) were found to generate 67.7% of the total volume of stemflow in the alluvial forest as opposed to only 47.6% of the same stem diameter size class in heath forest. Tree height was found to be the main factor that influence the variation of stemflow volume in Sepilok forest reserve.*

# ISI KANDUNGAN

	Halaman
<b>TAJUK</b>	i
<b>PENGAKUAN</b>	ii
<b>PENGESAHAN</b>	iii
<b>PENGHARGAAN</b>	iv
<b>ABSTRAK</b>	v
<b><i>ABSTRACT</i></b>	vi
<b>SENARAI KANDUNGAN</b>	vii
<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
<b>SENARAI RAJAH</b>	xiii
<b>SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN</b>	xvii
<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xix
<b>BAB 1: PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Permasalahan Kajian	3
1.2.1 Penilaian Variasi Hujan Sub-kanopi	4
Penggunaan Data Teknologi Light Detection and	4
1.2.2 Ranging (LIDAR)	
1.2.3 Penentuan Kadar Aliran Batang	5
1.3 Justifikasi Kajian	5
1.3.1 Kepentingan Penilaian Variasi Hujan Sub-kanopi	5
1.3.2 Eksplorasi Penggunaan Data daripada Teknologi	6
Light Detection and Ranging (LIDAR)	
1.3.3 Perbandingan Kaedah Penentuan Kadar Aliran	6
Batang (Sf)	
1.4 Objektif Kajian	6
1.5 Skop Kajian	7
1.6 Kesimpulan	7
<b>BAB 2: ULASAN LITERATUR</b>	8
2.1 Pengenalan	8
2.2 Ekosistem Hutan	8



(g) Indeks Kepelbagaian Shannon-Weiner (H)	64
3.4 Data Aplikasi Light Detection and Ranging (LIDAR)	64
3.5 Pengumpulan dan Instrumentasi Data Hujan	66
3.5.1 Hujan kasar (Pg), Jatuhan langsung (Tf) dan Kapasiti Simpanan Kanopi (S)	66
3.5.2 Aliran Batang (Sf)	70
3.5.3 Kadar Pintasan Hujan (I)	73
3.6 Analisis statistik	73
3.6.1 Analisis Deskriptif	73
3.6.2 Ujian Normaliti	73
3.6.3 Ujian Mann-Whitney U	74
3.6.4 Ujian Kruskal Wallis	74
3.6.5 Korelasi dan Regrasi	74
3.7 Kesimpulan	75
<b>BAB 4 : HASIL DAN PERBINCANGAN</b>	76
4.1 Pengenalan	76
4.2 Struktur Dirian Hutan	76
4.2.1 Hasil Analisis Deskriptif	76
4.2.2 Taburan Data Variabel Struktur Hutan	83
4.2.3 Nilai Indeks Kepelbagaian Shannon-Weiner (H)	84
4.2.4 Struktur Dirian Hutan Peringkat Plot Jatuhan Langsung (Tf)	87
4.2.5 Hubungan antara Diameter Pada Aras Dada (DBH), Tinggi Pokok (HT) dan Luas Kanopi (CA)	94
4.2.6 Hasil Inventori Pokok-pokok Berukuran Kurang dari 10 cm Diameter Pada Aras Dada (DBH)	97
4.2.7 Densiti Titik Awan (PCD)	98
4.2.8 Rumusan Hasil Analisis Struktur Dirian Hutan	100
4.3 Hujan Kasar (Pg) dan Jatuhan Langsung (Tf)	104
4.3.1 Taburan Hujan	104
4.3.2 Hubungan antara Hujan Kasar (Pg) dan Jatuhan Langsung (Tf)	107

4.3.3	Hubungan antara Jatuhan Langsung (Tf) dan Struktur Dirian Hutan	125
4.3.4	Rumusan Hasil Analisis Hubungan antara Taburan Hujan Kasar, Jatuhan Langsung dan Struktur Dirian Hutan	139
4.4	Penjanaan Aliran Batang (Sf)	143
4.4.1	Hubungan antara Hujan Kasar (Pg) dan Aliran Batang (Sf)	143
4.4.2	Hubungan antara Aliran Batang (Sf) dan Ciri-ciri Fizikal Pokok	149
4.4.3	Kadar Kesan Corong (SFR)	152
4.4.4	Rumusan Hasil Analisis Berkaitan Penjanaan Aliran Batang	155
4.4.5	Kadar Pintasan Hujan (I)	158
4.5	Kesimpulan	159
<b>BAB 5 : KESIMPULAN KAJIAN</b>		160
5.1	Pengenalan	160
5.2	Rumusan Hasil Kajian	160
5.2.1	Objektif i	160
5.2.2	Objektif ii	161
5.2.3	Objektif iii	162
5.3	Impak Dapatan Kajian	163
5.4	Cadangan Kajian akan Datang	164
<b>RUJUKAN</b>		165
<b>LAMPIRAN</b>		183

## SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 2.1 : Klasifikasi hutan simpan di Sabah	18
Jadual 2.2 : Penilaian jatuhan langsung di hutan hujan tropika	32
Jadual 2.3 : Faktor yang mempengaruhi kadar pintasan hujan	33
Jadual 2.4 : Kajian lepas mengenai struktur hutan dan kadar pintasan hujan	37
Jadual 2.5 : Hasil kajian terdahulu berkaitan penilaian aliran batang (Sf)	42
Jadual 2.6 : Anggaran pintasan hujan menggunakan pengukuran daripada teknologi LIDAR	49
Jadual 4.1 : Altitud plot kajian dari aras laut dan bilangan pokok	77
Jadual 4.2 : Taburan pokok mengikut kelas diameter pada aras dada (DBH) di hutan alluvial	78
Jadual 4.3 : Taburan pokok mengikut kelas diameter pada aras dada (DBH) di hutan kerangas	79
Jadual 4.4 : Taburan pokok mengikut kelas ketinggian pokok (HT) di hutan alluvial	80
Jadual 4.5 : Taburan pokok mengikut kelas ketinggian pokok (HT) di hutan kerangas	80
Jadual 4.6 : Ringkasan ciri-ciri umum struktur hutan di plot kajian	83
Jadual 4.7 : Hasil analisis ujian normaliti <i>Shapiro-Wilk</i> data struktur hutan	82
Jadual 4.8 : Nilai p analisis ujian <i>Mann-Whitney U</i> data struktur hutan	84
Jadual 4.9 : Maklumat kepelbagaian spesies pokok di plot kajian	86
Jadual 4.10 : Ringkasan struktur dirian hutan plot jatuhan langsung (Tf) di hutan alluvial	89
Jadual 4.11 : Ringkasan struktur dirian hutan plot jatuhan langsung di Hutan kerangas	90
Jadual 4.12 : Perbandingan julat data antara jenis hutan	91
Jadual 4.13 : Ringkasan ciri struktur hutan di plot jatuhan langsung (Tf)	93
Jadual 4.14 : Hasil analisis ujian <i>Kruskal Wallis</i> (nilai p) di plot jatuhan langsung (Tf)	93
Jadual 4.15 : Hasil inventori pokok bersaiz kecil (DBH < 10 cm)	97
Jadual 4.16 : Densiti titik awan (PCD) per m <sup>2</sup> di plot jatuhan langsung (Tf)	99
Jadual 4.17 : Struktur hutan dan bilangan spesies di kawasan kajian	102

Jadual 4.18	: Taburan data Hujan kasar (Pg) mengikut kelas jumlah hujan (mm)	107
Jadual 4.19	: Model hubungan antara hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf)	118
Jadual 4.20	: Hasil analisis ujian normaliti <i>Shapiro-Wilk</i> data hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf)	121
Jadual 4.21	: Hasil ujian <i>Mann-Whitney U</i> data hujan kasar (Pg) dan data jatuhan langsung (Tf) antara hutan alluvial dan hutan kerangas	121
Jadual 4.22	: Analisis deskriptif data hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf)	123
Jadual 4.23	: Nilai pekali korelasi <i>Spearman</i> ( $r$ ) hubungan antara kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) dan variabel struktur fizikal dirian hutan	126
Jadual 4.24	: Nilai pekali penentu ( $R^2$ ) hubungan antara kadar jatuhan langsung Tf/Pg) dan variabel struktur fizikal dirian hutan	127
Jadual 4.25	: Ringkasan model analisis regrasi berganda faktor penentu kepada kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan alluvial	133
Jadual 4.26	: Nilai pekali variabel analisis regrasi berganda di hutan alluvial	135
Jadual 4.27	: Ringkasan model analisis regrasi berganda faktor penentu kepada kadar jatuhan langsung di hutan kerangas	136
Jadual 4.28	: Nilai pekali variabel analisis regrasi berganda di hutan kerangas	138
Jadual 4.29	: Pecahan peratusan isipadu aliran batang mengikut kelas DBH pokok	145
Jadual 4.30	: Nilai kadar kesan corong (SFR) di hutan alluvial	152
Jadual 4.31	: Nilai kadar kesan corong (SFR) di hutan kerangas	153

## SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 2.1: Taburan jenis hutan dunia	9
Rajah 2.2: Zon vegetasi di pergunungan Semenanjung Malaysia	10
Rajah 2.3: Perincian kategori perkhidmatan ekosistem	12
Rajah 2.4: Hubungkait antara manusia dan hutan untuk menilai perkhidmatan ekosistem hutan	13
Rajah 2.5: Contoh stratifikasi di hutan hujan tropika	15
Rajah 2.6: Kawasan hutan simpan dan tanah hutan lain di Sabah	17
Rajah 2.7: Kitaran hidrologi	21
Rajah 2.8: Taburan kemasukan ( <i>input</i> ) hujan	22
Rajah 2.9: Taburan hujan bulanan bahagian utara Borneo	24
Rajah 2.10: Kitaran hidrologi hutan	26
Rajah 2.11: Interaksi antara kanopi hutan dan hujan	27
Rajah 3.1: Lokasi hutan simpan Kabili-Sepilok	55
Rajah 3.2: Jenis tanah di hutan simpan Kabili-Sepilok	56
Rajah 3.3: Purata suhu bulanan stesen lapangan terbang Sandakan	58
Rajah 3.4: Purata taburan hujan bulanan untuk tahun 2007 hingga 2016 di lapangan terbang Sandakan	59
Rajah 3.5: Lakaran plot dan sub-plot inventori hutan	60
Rajah 3.6: Lokasi plot kajian di hutan alluvial dan hutan kerangas	61
Rajah 3.7: Lakaran pengukuran lebar silara pokok	63
Rajah 3.8: Alat saluran hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf)	67
Rajah 3.9: Tolok hujan pra-ujian	69
Rajah 3.10: Kedudukan saluran jatuhan langsung (Tf) di plot	70
Rajah 3.11: Kolar pengumpul aliran batang (Sf)	72
Rajah 3.12: Pokok-pokok sampel aliran batang (Sf)	72
Rajah 4.1: Perbandingan peratusan taburan pokok-pokok mengikut kelas Diameter pada aras dada pokok (DBH)	81
Rajah 4.2: Perbandingan peratusan taburan pokok-pokok mengikut kelas Ketinggian pokok (HT)	81
Rajah 4.3: Taburan famili pokok di hutan alluvial	85
Rajah 4.4: Taburan famili pokok di hutan kerangas	85

Rajah 4.5:	Hubungan linear antara diameter pada aras dada (DBH) dan Tinggi pokok (HT) di hutan alluvial	95
Rajah 4.6:	Hubungan linear antara diameter pada aras dada (DBH) dan Luas kanopi pokok (CA) di hutan alluvial	95
Rajah 4.7:	Hubungan linear antara diameter pada aras dada (DBH) dan tinggi pokok (HT) di hutan kerangas	96
Rajah 4.8:	Hubungan linear antara diameter pada aras dada (DBH) dan Luas kanopi pokok (CA) di hutan kerangas	96
Rajah 4.9:	Keadaan persekitaran di hutan alluvial	103
Rajah 4.10:	Keadaan persekitaran hutan kerangas	104
Rajah 4.11:	Taburan hujan bulanan di stesen hujan Sepilok, Sandakan, Sabah tahun 2014 hingga 2016	105
Rajah 4.12:	Taburan data hujan kasar (Pg) di hutan alluvial	106
Rajah 4.13:	Taburan data hujan kasar (Pg) di hutan kerangas	106
Rajah 4.14:	Taburan data jatuhan langsung (Tf) di hutan alluvial	108
Rajah 4.15:	Taburan data jatuhan langsung (Tf) di hutan kerangas	108
Rajah 4.16:	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf) di hutan alluvial	109
Rajah 4.17:	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan jatuhan langsung (Tf) di hutan kerangas	111
Rajah 4.18:	Hubungan antara jumlah hujan kasar (Pg) dan nisbah jatuhan Langsung (Tf/Pg) di hutan alluvial	115
Rajah 4.19:	Hubungan antara jumlah hujan kasar (Pg) dan nisbah jatuhan Langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	116
Rajah 4.20:	Hubungan antara nisbah jatuhan langsung (Tf/Pg) dan pekali variasi di hutan alluvial	117
Rajah 4.21:	Hubungan antara nisbah jatuhan langsung (Tf/Pg) dan pekali variasi di hutan kerangas	117
Rajah 4.22:	Hubungan antara purata jatuhan langsung (Tf) dan hujan kasar (Pg) di hutan alluvial	119
Rajah 4.23:	Hubungan antara purata jatuhan langsung (Tf) dan hujan kasar (Pg) di hutan kerangas	120
Rajah 4.24:	Perbandingan purata jatuhan langsung (Tf) di hutan alluvial dan hutan kerangas	122

Rajah 4.25:	Graf kumulatif hujan kasar (Pg) dan purata jatuhan langsung (Tf) di hutan alluvial	124
Rajah 4.26:	Graf kumulatif hujan kasar (Pg) dan purata jatuhan langsung (Tf) di hutan kerangas	125
Rajah 4.27:	Hubungan antara ketinggian pokok (HT) dan kadar jatuhan langsung di hutan alluvial	128
Rajah 4.28:	Hubungan antara <i>lorey's height</i> (LH) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan alluvial	129
Rajah 4.29:	Hubungan antara jumlah biojisim atas tanah (AGB) dan kadar jatuhan langsung di hutan alluvial	129
Rajah 4.30:	Hubungan antara densiti titik awan (PCD) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan alluvial	130
Rajah 4.31:	Hubungan antara diameter pada aras dada (DBH) dan kadar jatuhan Langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	130
Rajah 4.32:	Hubungan antara <i>lorey's height</i> (LH) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	131
Rajah 4.33:	Hubungan antara jumlah luas pangkal (BA) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	131
Rajah 4.34:	Hubungan antara densiti pokok (TD) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	132
Rajah 4.35:	Hubungan antara jumlah biojisim atas tanah (AGB) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	132
Rajah 4.36:	Hubungan antara densiti titik awan (PCD) dan kadar jatuhan langsung (Tf/Pg) di hutan kerangas	133
Rajah 4.37:	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan aliran batang (Sf) di hutan alluvial	147
Rajah 4.38 :	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan aliran batang (Sf) di hutan kerangas	147
Rajah 4.39 :	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan kadar aliran batang (Sf/Pg) di hutan alluvial	148
Rajah 4.40:	Hubungan antara hujan kasar (Pg) dan kadar aliran batang (Sf/Pg) di hutan kerangas	148

Rajah 4.41:	Pengaruh ciri-ciri fizikal pokok ke atas isipadu aliran batang (Sf) di hutan alluvial di mana (a) Diameter pada aras dada, (b) Tinggi, (c) Luas Pangkal dan (d) Luas Silara/ Kanopi	150
Rajah 4.42:	Pengaruh ciri-ciri fizikal pokok ke atas isipadu aliran batang (Sf) di hutan kerangas di mana (a) Diameter pada aras dada, (b) Tinggi, (c) Luas Pangkal dan (d) Luas Silara/ Kanopi	151
Rajah 4.43:	Hubungan antara luas pangkal (BA) dan kadar kesan corong (SFR) di hutan alluvial	154
Rajah 4.44:	Hubungan antara luas pangkal (BA) dan kadar kesan corong (SFR) di hutan kerangas	154



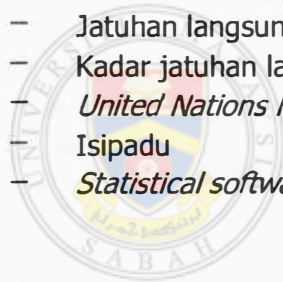
UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH



## SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

$\Pi$	-	Pi
-	-	Tolak
=	-	Sama dengan
%	-	Peratus
+	-	Tambah
<	-	Kurang daripada
>	-	Lebih besar daripada
$\pm$	-	Lebih kurang
$\leq$	-	Kurang atau sama dengan
$\geq$	-	Lebih atau sama dengan
$^2$	-	Kuasa dua
$\rho$	-	Spesifik graviti kayu
A	-	Luas plot
a.s.l	-	<i>Above sea level</i>
AGB	-	Biojisim atas tanah
ALS	-	<i>Airborne laser scanning</i>
BA	-	Luas pangkal pokok
BLM	-	<i>Big-leaf model</i>
CA	-	Luas kanopi atau silara pokok
cm	-	Sentimeter
DBH	-	Diameter pokok pada aras dada
DGPS	-	Digital global positioning system
Enso	-	<i>El Nino-Southern Oscillation</i>
et al.	-	Dan lain-lain
Ewc	-	<i>Wet canopy evaporation</i>
FAO	-	<i>Food and Agriculture Organization</i>
H	-	Indeks kepelbagaian <i>Shannon-Weiner</i>
Ha	-	Hektar
HT	-	Tinggi Pokok
I	-	Pintasan hujan
i.e.	-	Iaitu
IBM	-	<i>International Business Machines Corporation</i>
IUFRO	-	<i>International Union of Forest Research Organizations</i>
JPS	-	Jabatan Perhutanan Sabah
km	-	Kilometer
l	-	Liter
LH	-	Lorey's height
LIDAR	-	<i>Light detection and ranging</i>
m	-	Meter
m <sup>2</sup>	-	Meter persegi
MA	-	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
ml	-	Mililiter

mm	–	Milimeter
n	–	Bilangan sampel
nilai p	–	Nilai probabiliti
nilai r	–	pekali korelasi
PAST	–	Perisian <i>PAleontological Statistics</i>
PCD	–	Densiti titik awan
Pg	–	Hujan kasar
PVC	–	<i>polyvinyl chloride</i>
R <sup>2</sup>	–	Pekali penentu
REDD	–	<i>Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
RMSE	–	<i>Root mean square error</i>
S	–	Kapasiti simpanan kanopi pokok
Sf	–	Aliran batang
Sf/Pg	–	Kadar aliran batang
SFD	–	<i>Sabah Forestry Department</i>
SFR	–	Kadar kesan corong
sig.	–	Signifikan
sp	–	Spesies
SPSS	–	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
Tf	–	Jatuhan langsung
Tf/Pg	–	Kadar jatuhan langsung
UNFCC	–	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
V	–	Isipadu
XL Stat	–	<i>Statistical software for Microsoft Excel</i>



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

## SENARAI LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A : Maklumat Ringkas Pokok Aliran Batang (Sf) di Hutan Alluvial	183
LAMPIRAN B : Maklumat Ringkas Pokok Aliran Batang (Sf) di Hutan Kerangas	185
LAMPIRAN C : Hasil Analisis Regrasi Berganda Hubungan Antara Aliran Batang (Sf) dan Variabel Ciri Fizikal Pokok di Hutan Alluvial	187
LAMPIRAN D : Hasil Analisis Regrasi Berganda Hubungan Antara Aliran Batang (Sf) dan Variabel Ciri Fizikal Pokok di Hutan Kerangas	189



UMS  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Pengenalan

Hujan adalah komponen utama dalam kitaran air yang turut dikenali sebagai kitaran hidrologi. Ia merupakan komponen yang banyak mempengaruhi kehidupan dan kegiatan atau aktiviti manusia dan telah digunakan sebagai petunjuk dalam pengelasan iklim iaitu dalam kaedah *Sistem Köppens-Geiger*. Sistem ini menggunakan ciri-ciri vegetasi yang ditemui di sesuatu regim kawasan atau biom dalam penentuan jenis iklim kawasan yang berkenaan. Seterusnya taburan hujan dan kelembapan di samping suhu dirujuk untuk menentukan sub-jenis iklim kawasan yang berkaitan. Kebolehdapatan kelembapan atau air di sesuatu ekosistem berupaya menentukan jenis vegetasi yang boleh tumbuh dan hidup di kawasan tersebut. Hujan merupakan salah satu sumber utama kelembapan kawasan di ekosistem hutan khususnya hutan hujan tropika.

Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi menyumbang kepada kelangsungan aliran air permukaan, kebolehdapatan air tanah untuk pertumbuhan vegetasi, selain menjadi sumber air kepada hidupan lain secara langsung atau tidak langsung. Melalui proses penyusupan atau infiltrasi, air hujan berperanan untuk menambah penyimpanan air bawah tanah. Air hujan juga berfungsi untuk melembapkan udara persekitaran yang berupaya mempengaruhi suhu kawasan setempat. Bagi memastikan kelangsungan sumber air yang bersih pada masa ini dan untuk generasi yang akan datang di Sabah, Malaysia, agensi-agensi kerajaan seperti Jabatan Perhutanan, Taman-taman Sabah dan pihak berkuasa tempatan telah mengenalpasti kawasan-kawasan yang sesuai untuk diwartakan dan dilindungi bagi tujuan perolehan sumber air bersih. Justeru itu, kawasan tadahan

hujan adalah sinonim dengan kawasan hutan yang dilindungi daripada sebarang bentuk eksploitasi manusia kerana secara semulajadi hutan telah dikenalpasti berupaya membekalkan air yang bersih dan berterusan. Selain itu, pemuliharaan kawasan hutan juga penting untuk kelangsungan perkhidmatan ekosistem lain seperti menjadi sumber genetik, mengawal hakisan tanah, kawasan rekreasi, sebagai habitat hidupan liar (Millenium Ecosystem Assessment, 2003) dan sumber bekalan bahan mentah untuk kemandirian penduduk asal atau *indigenous people* (Armesto *et al.*, 2001).

Semasa berlakunya hujan, tidak semua air hujan sampai ke permukaan tanah. Dalam ekosistem hutan khususnya, kanopi hutan atau pokok adalah bahagian pertama yang akan disentuh air hujan yang seterusnya menyekat atau memintas sebahagian curahan air hujan dari sampai secara terus ke lantai hutan. Akibat daripada proses pintasan di bahagian kanopi ini, air hujan terbahagi kepada jatuhan langsung dan aliran batang. Jatuhan langsung dan aliran batang ini telah dirujuk sebagai hujan sub-kanopi iaitu hujan yang berlaku di bawah kanopi hutan. Hasil proses pembahagian hujan maka terdapat air hujan yang disimpan secara sementara di atas permukaan daun dan bahagian-bahagian lain pokok seperti dahan, batang dan kulit berkemungkinan untuk hilang atau kembali semula ke atmosfera melalui proses sejatan yang dikenali sebagai 'sejatan kanopi basah' atau dirujuk juga sebagai 'kehilangan pintasan' (Chappel *et al.*, 2001). Hasil dari beberapa kajian lepas, ciri struktur fizikal dirian pokok hutan seperti stuktur kanopi, luas permukaan kanopi, ketinggian pokok dan keluasan daun adalah di antara faktor yang dikenalpasti berupaya mempengaruhi kadar pintasan air hujan.

Hutan adalah merupakan suatu ekosistem semulajadi yang terdapat di kawasan terrestrial. Ianya dirujuk sebagai suatu kawasan luas yang didominasi oleh komuniti pokok yang tumbuh secara semulajadi. Sesebuah kawasan hutan berkemungkinan telah melalui proses evolusi dan, atau sesaran yang berkemungkinan telah menjangkau puluhan atau ratusan tahun. Hutan hujan tropika adalah jenis hutan yang ditemui di Malaysia disebabkan kedudukan negara ini yang berhampiran garisan khatulistiwa, iaitu termasuk di antara 23°Utara dan

23°Selatan garisan latitud. Variasi hutan hujan tropika seterusnya amat dipengaruhi oleh faktor-faktor alam semulajadi seperti iklim mikro kawasan, ketinggian kawasan daripada aras laut dan faktor edafik. Menurut Thomas dan Baltzer (2002) jenis hutan hujan tropika yang utama di peringkat global adalah hutan hujan tanah pamah malar hijau, hutan hujan pergunungan rendah dan tinggi, hutan kerangas, hutan paya gambut, hutan paya air tawar dan hutan bakau. Ciri-ciri semulajadi dirian hutan boleh berubah akibat campur tangan manusia dalam sistem pengurusan dan aktiviti guna tanah di kawasan berkenaan.

Setiap jenis hutan mempunyai ciri-ciri struktur dirian hutan tersendiri. Struktur dirian hutan biasanya merujuk kepada ciri-ciri fizikal atau morfologi dan taburan spesies komuniti pokok-pokok atau vegetasi di sesuatu kawasan. Struktur hutan konifer misalnya, sangat berbeza dengan struktur hutan hujan tropika yang kompleks dan berstrata. Penentuan struktur hutan satu-satu kawasan secara horizontal maupun vertikal melibatkan kerja-kerja di lapangan misalnya pengukuran diameter pokok, ukur lilit pokok, tinggi pokok, densiti pokok-pokok, luas pangkal, biojisim atas tanah, luas bukaan kanopi pokok, kepadatan kanopi dan identifikasi pokok. Selain kajian berkaitan pembahagian hujan, maklumat mengenai struktur hutan di sesuatu kawasan penting untuk berbagai tujuan. Sebagai contoh, struktur dan komposisi vegetasi di kawasan hutan adalah salah satu faktor yang boleh menentukan intensiti kejadian kebakaran hutan selain keadaan fizikal kawasan dan cuaca kerana ianya dikategorikan sebagai bahanapi (Graham *et al.*, 2004). Melalui aktiviti penjarangan dan pemangkasan, jumlah bahanapi ini dapat dikurangkan dan seterusnya berupaya mengawal magnitud kejadian kebakaran hutan.

## **1.2 Permasalahan Kajian**

Terdapat tiga permasalahan kajian yang diutarakan dalam sub-topik ini iaitu penilaian variasi hujan sub-kanopi, penggunaan data daripada teknologi *Light Detection and Ranging* dan penentuan kadar aliran batang.

### 1.2.1 Penilaian Variasi Hujan Sub-kanopi

Penilaian variasi hujan sub-kanopi hutan di sesuatu kawasan merupakan maklumat penting untuk difahami kerana merupakan sebahagian dari kitaran hidrologi setempat. Memahami peranan struktur hutan dalam proses pembahagian dan pintasan hujan akan membawa kepada pemahaman lanjut akan fungsi ekosistem atau integriti ekologi bagi kawasan yang diurus untuk tujuan konservasi. Melalui kajian literatur didapati bahawa kajian berkaitan bidang eko-hidrologi masih terhad di kawasan hutan tropika lembap khususnya di hutan kerangas. Di samping itu, secara spesifik, sebahagian besar kajian di kawasan hutan simpan Sepilok, Sandakan adalah menjurus kepada bidang ekologi seperti regenerasi hutan (Fox, 1976), fisiologi (Eschenbach *et al.*, 1998) dan hidupan liar (Bosi, 1996; Berge *et al.*, 2008). Di antara contoh kajian terkini adalah kajian berkaitan struktur hutan, anggaran karbon dan anggaran biojisim atas tanah (Phua *et al.*, 2017; Jucker *et al.*, 2018).

### 1.2.2 Penggunaan Data Teknologi *Light Detection and Ranging* (LIDAR)

Struktur dirian pokok hutan merupakan maklumat asas yang diperlukan dalam pengurusan kawasan dan juga untuk tujuan kajian saintifik. Kawasan hutan yang luas menjadi salah satu cabaran kepada pihak pengurusan, apa lagi sekiranya melibatkan kawasan hutan yang mempunyai kepelbagaian biologi yang tinggi. Kaedah konvensional untuk mendapatkan maklumat yang berkaitan melibatkan pengukuran di lapangan yang biasanya mengambil masa agak lama dan tenaga pekerja yang intensif. Pada masa ini kaedah penderiaan jarak jauh beresolusi tinggi telah dibuktikan berpotensi digunakan untuk mencerap dan memperolehi data seperti densiti pokok, tinggi dan luas pangkal pokok untuk suatu kawasan hutan (Roth *et al.*, 2007; Jucker *et al.*, 2018). Sehubungan itu lebih banyak kajian telah dijalankan dan perlu untuk mengenalpasti potensi lanjut yang berkaitan dengan aplikasi teknologi *Light Detection and Ranging* (LIDAR) dalam bidang perhutanan. Dalam kajian ini, selain memperolehi maklumat struktur fizikal dirian hutan yang dikumpul secara konvensional, data yang dicerap melalui LIDAR turut digunakan sebagai salah satu variabel struktur hutan (i.e. densiti titik awan atau *point cloud*

*density*) dalam analisis data. Pendekatan ini merupakan percubaan pertama seumpamanya dalam kajian hidrologi yang berkaitan di kawasan kajian.

### **1.2.3 Penentuan Kadar Aliran Batang**

Kadar aliran batang mempunyai impak ke atas pokok secara individu kerana air hujan yang mengalir di batang sesuatu pokok akan tertumpu ke bahagian sekeliling pangkal pokok tersebut. Terdapat beberapa kaedah bagi menentukan kedalaman aliran batang yang dijana pada peringkat pokok atau plot dan kebiasaannya para pengkaji akan menggunakan satu kaedah tertentu. Oleh yang demikian perbandingan tidak dapat dijalankan untuk menentukan mana satu kaedah yang memberikan nilai kadar aliran batang yang lebih mewakili sesuatu kawasan kajian.

Sehubungan itu juga, dalam menganggar kadar aliran batang kebanyakan para penyelidik tidak mengambilkira pokok-pokok bersaiz kecil dengan diameter pada aras dada (DBH) kurang daripada 10 cm. Manakala hanya beberapa pokok akan diambil sebagai sampel bagi mewakili satu-satu kelas DBH tertentu. Dalam kajian ini dua kaedah pengukuran dan pengiraan kadar aliran batang telah diadaptasi yang akan diterangkan dengan lebih lanjut dalam Bab 2 dan Bab 3.

## **1.3 Justifikasi Kajian**

Untuk lebih jelas, perbincangan sub-topik ini adalah berdasarkan permasalahan kajian yang dinyatakan dalam sub-topik 1.2 di atas.

### **1.3.1 Kepentingan Penilaian Variasi Hujan Sub-kanopi**

Hujan sub-kanopi yang terhasil daripada proses pintasan kanopi hutan menentukan jumlah hujan bersih (*net rainfall*) atau hujan efektif yang sampai ke tanah dan boleh digunakan untuk kemandirian, tumbesaran serta produktiviti berbagai hidupan di hutan. Pemahaman mengenai hubungan atau pertalian antara struktur