

**EKOLOGI TUMBUHAN DI HUTAN PULAU PINANG DENGAN
PENEKANAN KEPADA HUTAN SIMPAN TELUK BAHANG**

Oleh

RAHMAD BIN ZAKARIA

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan
bagi Ijazah Doktor Falsafah**

Jun 2008

PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan penghargaan yang tidak terhingga kepada penyelia utama saya, Profesor Dr. Mashhor Mansor (U.S.M) dan Dr. Mohd. Yunus bin Zakaria, Pengarah Unit Antarabangsa dan Keurusetiaan, Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia, Kuala Lumpur di atas segala galakan, bimbingan, nasihat, kritikan dan bantuan tanpa mengira masa dan tempat sehingga membolehkan tesis ini disiapkan dan disempurnakan seperti mana yang diperlukan.

Ucapan penghargaan juga di atas sumbangan tenaga dan nasihat dari Profesor Abu Hassan bin Ahmad (U.S.M), dan Pembantu-pembantu makmal di Pusat Pengajian Sains Kajihayat, USM, Pulau Pinang yang banyak membantu dalam penyediaan tesis ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih kepada En. Nik Fadly, En. Zarul, En. Amir dan semua rakan-rakan yang banyak membantu memberikan nasihat dan pandangan di dalam proses analisis dan penyediaan tesis dan juga di atas sumbangan buah fikiran dan bahan rujukan.

Saya juga mengucapkan ribuan terima kasih kepada isteri, anak-anak dan keluarga yang tercinta yang memberikan sokongan di sepanjang masa penyelidikan doktor falsafah ini berjalan. Pengorbanan yang tidak terhingga dari isteri, yang membantu dalam penyediaan tesis ini sangatlah dihargai dan **ALLAH** sahaja yang dapat membalas jasanya. Kepada mereka yang tidak disebutkan di sini tetapi terlibat secara langsung ataupun tidak langsung dalam penyediaan tesis ini diucapkan berbilang terima kasih.

	ISI KANDUNGAN	MUKA	SURAT
ISI KANDUNGAN		iii	
SENARAI JADUAL		vi	
SENARAI RAJAH		xii	
SENARAI PLAT	xvi		
SINGKATAN KATA	xvii		
ABSTRAK	xviii		
ABSTRACT	xix		
BAB 1.0: PENDAHULUAN UMUM			Error! Bookmark not defined.
1.1: PENDAHULUAN			Error! Bookmark not defined.
1.1.1: Hutan Tropika secara umum			Error! Bookmark not defined.
1.1.2: Hutan hujan tropika di Malaysia			Error! Bookmark not defined.
1.1.3: Pendekatan dan objektif kajian			Error! Bookmark not defined.
BAB 2.0: TINJAUAN BAHAN BACAAN			Error! Bookmark not defined.
2.1: PENDAHULUAN			Error! Bookmark not defined.
2.2.1: Kekayaan spesies Flora			Error! Bookmark not defined.
2.2.2: Tanah dan Nutrien			Error! Bookmark not defined.
2.2.3: Hujan dan Hidrologi			Error! Bookmark not defined.
2.2.4: Kitar Hutan, Dinamik dan Pertumbuhan			Error! Bookmark not defined.
BAB 3.0: PERSEKITARAN FIZIKAL TAPAK KAJIAN			Error! Bookmark not defined.
3.1: PENDAHULUAN			Error! Bookmark not defined.
3.2: BAHAN DAN KAEDAH			Error! Bookmark not defined.
3.2.1: Bacaan Suhu dan Kelembapan			Error! Bookmark not defined.
3.2.2: Keamatan Cahaya (LUX)			Error! Bookmark not defined.
3.2.3: Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.2.3.1: pH Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.2.3.2: Kandungan Organik Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.2.3.3: Tekstur Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.2.3.4: Kecerunan Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.3: KEPUTUSAN			Error! Bookmark not defined.
3.3.1: Suhu			Error! Bookmark not defined.
3.3.2: Kelembapan Relatif			Error! Bookmark not defined.
3.3.3: Korelasi antara kelembapan relatif dan suhu kawasan terbuka (luang) dan tertutup di PKUTB			Error! Bookmark not defined.
3.3.4: Keamatan Cahaya			Error! Bookmark not defined.
3.3.5: Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.3.5.1: pH tanah			Error! Bookmark not defined.
3.3.5.2: Jenis/Tekstur Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.3.5.3: Kandungan Organik Tanah			Error! Bookmark not defined.
3.3.5.4: Kecerunan			Error! Bookmark not defined.
3.3.6: Hujan, Kelembapan Bandingan dan Suhu Purata Pulau Pinang			Error! Bookmark not defined.
3.3.6.1: Purata Hujan			Error! Bookmark not defined.
3.3.6.2: Kelembapan bandingan dan suhu bulanan			Error! Bookmark not defined.
3.4: PERBINCANGAN			Error! Bookmark not defined.

3.5: KESIMPULAN	Error! Bookmark not defined.
BAB 4.0: KOMPOSISI FLORA PLOT KAJIAN UTAMA HUTAN SIMPAN TELUK BAHANG (PKUTB)	Error! Bookmark not defined.
4.1: PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
4.2: KAEDAH DAN BAHAN	Error! Bookmark not defined.
4.2.1: Ketinggian dan diameter pada paras dada (DBH)	Error! Bookmark not defined.
4.2.2: Analisis Statistik	Error! Bookmark not defined.
4.2.3: Indeks-Indeks	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.1: Keunggulan spesies (Indeks Kepentingan, IVI)	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.2: Indeks Persamaan Morisita (Modified Morisita's Similarity)	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.3: Indeks Keheterogenan Spesies	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.4: Indeks Keseragaman (Evenness)	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.5: Indeks Kekayaan spesies (Richness)	Error! Bookmark not defined.
4.2.4: Korelasi dan Regresi (Townend, 2002)	Error! Bookmark not defined.
4.2.5: Ujian ANOVA (Analisis varian) satu hala	Error! Bookmark not defined.
4.2.6: Biojisim di atas tanah (BAT)	Error! Bookmark not defined.
4.2.7: Kelok kawasan spesies (Species-Area Curve)	Error! Bookmark not defined.
4.2.8: Sarap hutan	Error! Bookmark not defined.
4.2.9: Litupan lantai hutan dan litupan kanopi hutan	Error! Bookmark not defined.
4.2.10: Sebaran Organisma (Krebs, 1999)	Error! Bookmark not defined.
4.3: KEPUTUSAN	Error! Bookmark not defined.
4.3.1: Famili, Genera dan spesies utama	Error! Bookmark not defined.
4.3.2: Spesies-spesies tiga famili utama (Dikotiledon)	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.1: Anacardiaceae	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.2: Clusiaceae	Error! Bookmark not defined.
4.3.2.3: Dipterocarpaceae	Error! Bookmark not defined.
4.3.3: Indeks-indices Keheterogenan	Error! Bookmark not defined.
4.3.4: Indeks Kepentingan (IVI)	Error! Bookmark not defined.
4.3.5: Kelok Kawasan-Spesies	Error! Bookmark not defined.
4.3.6: Ketinggian dan diameter pada paras dada (DBH = 1.3 meter) pokok berkayu	Error! Bookmark not defined.
4.3.6.1: Ketinggian umum (DBH \geq 10 cm)	Error! Bookmark not defined.
4.3.6.2: Ketinggian pokok mengikut famili	Error! Bookmark not defined.
4.3.6.3: Ketinggian pokok mengikut spesies	Error! Bookmark not defined.
4.3.7: Diameter pada paras dada (DBH) (1.3 meter)	Error! Bookmark not defined.
4.3.8: Regresi dan Korelasi antara tinggi (T) dan DBH	Error! Bookmark not defined.
4.3.8.1: Korelasi dan regresi keseluruhan dikotiledon (DBH \geq 10 cm)	Error! Bookmark not defined.
4.3.8.2: Korelasi dan regresi famili utama dikotiledon	Error! Bookmark not defined.
4.3.8.3: Korelasi dan regresi spesies utama	Error! Bookmark not defined.

4.3.9:	Biojisim atas tanah (BAT) dan Luas pangkal (BA)	Error! Bookmark not defined.
4.3.9.1:	Biojisim atas tanah (BAT)	Error! Bookmark not defined.
4.3.9.2:	Luas pangkal (BA)	Error! Bookmark not defined.
4.3.10:	Sarap Hutan	Error! Bookmark not defined.
4.3.11:	Litupan lantai hutan dan kanopi	Error! Bookmark not defined.
4.3.11.1:	Litupan lantai hutan	Error! Bookmark not defined.
4.3.11.2:	Kanopi hutan	Error! Bookmark not defined.
4.3.12:	Sebaran tumbuhan	Error! Bookmark not defined.
4.3.12.1:	Sebaran famili-famili utama	Error! Bookmark not defined.
4.3.12.2:	Sebaran spesies-spesies utama	Error! Bookmark not defined.
4.3.13:	Tumbuhan monokotiledon utama	Error! Bookmark not defined.
4.4:	PERBINCANGAN	Error! Bookmark not defined.
4.5:	KESIMPULAN	Error! Bookmark not defined.
BAB 5.0:	PERBANDINGAN FLORA PLOT-PLOT KAJIAN HUTAN SIMPAN DI PULAU PINANG	Error! Bookmark not defined.
5.1:	PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
5.2:	KAEDAH DAN BAHAN	Error! Bookmark not defined.
5.3:	KEPUTUSAN	Error! Bookmark not defined.
5.3.1:	Parameter fizikal plot-plot bandingan	Error! Bookmark not defined.
5.3.2:	Famili dan spesies utama flora	Error! Bookmark not defined.
5.3.3:	Indeks Kepelbagaian (Shannon's Diversity Index) dan Keseragaman (Smith dan Wilson Evenness Index)	Error! Bookmark not defined.
5.3.4:	Monokotiledon dalam plot kajian bandingan	Error! Bookmark not defined.
5.3.5:	Paku Pakis di dalam plot kajian bandingan	Error! Bookmark not defined.
5.3.6:	Luas Pangkal (BA) dan Biojisim Atas Tanah (BAT)	Error! Bookmark not defined.
5.4:	PERBINCANGAN	Error! Bookmark not defined.
5.5:	KESIMPULAN	Error! Bookmark not defined.
BAB 6.0:	PERBINCANGAN UMUM	Error! Bookmark not defined.
BAB 7.0:	KESIMPULAN UMUM	Error! Bookmark not defined.
RUJUKAN		Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN		

SENARAI JADUAL MUKA SURAT

- Jadual 1. 1: Jenis kegunaan tanah dan keluasan kawasan di Malaysia dalam tahun 1992-93 (MTC, 1996). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 1. 2: Jenis dan keluasan hutan di Malaysia (Chiew, 1995; MSTEM, 1998). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 2. 1: Anggaran jumlah spesies tumbuhan dan haiwan di dalam taman negeri Endau Rompin, Pahang (Latiff and Faridah Hanum, 2004). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 1: Suhu purata kawasan terbuka (luang) dan tertutup (kanopi) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 2: Bacaan suhu ($^{\circ}\text{C}$) purata 24 jam di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 3: Bacaan suhu ($^{\circ}\text{C}$) purata bulanan di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 4: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan suhu purata di antara plot-plot kajian bandingan pada aras keyakinan 95%. Berdasarkan nilai sisihan piawai terkumpul. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 5: Purata Kelembapan Relatif di antara kawasan terbuka (luang) dan tertutup (kanopi) PKUTB pada jam 1200 H. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 6: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan purata kelembapan relatif (%) di antara plot-plot kajian bandingan pada jam 1200 H pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 7: Korelasi antara suhu dan kelembapan relatif (%) di kawasan luang dan kawasan tertutup PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 8: Keputusan ujian t satu hala tidak berpasangan, pada aras keyakinan 95% untuk keamatan cahaya kawasan terbuka (luang) berbanding kawasan tertutup (kanopi). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 9: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan purata cahaya di antara plot-plot kajian bandingan pada jam 1200 H pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 10: Perbandingan pH purata tanah pada kedalaman 15 hingga 30 cm untuk kesemua plot kajian. (Bilangan replikat (n) = 12). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 11: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan purata pH (kedalaman 15 – 30 cm) di antara plot-plot kajian pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 12: Perbandingan fizikal antara plot kajian bandingan. **Error! Bookmark not defined.**

- Jadual 3. 13: Peratusan butiran tanah PKUTB (bilangan sampel, $n = 25$). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 15: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan purata kandungan organik plot-plot bandingan pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 3. 16: Ujian Fisher's LSD menunjukkan perbezaan dan persamaan kecerunan di antara plot-plot kajian pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 1: Famili tumbuhan di dalam plot PKUTB (DBH ≥ 10 cm). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 2: Ringkasan statistik bilangan pokok di dalam per subplot (400 meter persegi) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 3: Sepuluh spesies berkayu utama (dikotiledon) (DBH ≥ 10 cm) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 4: Famili dan spesies monokotiledon di PKUTB untuk setiap subplot (400 meter persegi). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 5: Statistik asas bilangan pokok bagi 7 famili utama (DBH ≥ 10 cm) di PKUTB berdasarkan subplot (400 m²). 138
- Jadual 4. 6: Statistik asas kandungan spesies utama dari famili Anacardiaceae di PKUTB berdasarkan subplot (400 m²). 140
- Jadual 4. 7: Statistik asas kandungan spesies-spesies utama famili Clusiaceae di PKUTB (untuk setiap subplot 400 m²). 143
- Jadual 4. 8: Statistik asas kandungan spesies utama dari famili Dipterocarpaceae di PKUTB (untuk setiap subplot 400 m²). 147
- Jadual 4. 9: Indeks-indeks keheterogenan yang diperolehi untuk PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 10: Analisis perhubungan antara subplot di PKUTB menggunakan Indeks Morisita diperbaiki bagi tumbuhan dikotiledon berkayu (DBH ≥ 10 cm) sahaja. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 11: Peratusan Indeks Morisita untuk semua pasangan subplot di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 12: Analisis perhubungan antara subplot di PKUTB menggunakan Indeks Morisita diperbaiki bagi tumbuhan dikotiledon berkayu (DBH ≥ 10 cm) dan monokotiledon (Arecaceae dan Pandanaceae). **Error! Bookmark not defined.**

- Jadual 4. 13: Indeks Kepentingan (IVI) lima belas spesies individu pokok di dalam plot PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 14: Nilai IVI sepuluh famili utama di PKUTB apabila semua spesies digabungkan. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 15: Senarai pokok tertinggi di PKUTB yang melebihi 23 meter. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 16: Statistik asas untuk ketinggian (T) dan diameter pada paras dada (DBH) untuk pokok-pokok di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 17: Lima pokok tertinggi bagi 5 famili utama di dalam plot PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 18: Statistik asas ketinggian (T) lima famili utama pokok di PKUTB. 168
- Jadual 4. 19: Statistik asas ketinggian (T) tiga spesies utama famili Anacardaceae di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 20: Statistik asas ketinggian (T) empat spesies utama famili Dipterocarpaceae di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 21: Statistik asas untuk DBH lima famili yang paling biasa ditemui di PKUTB bagi DBH ≥ 10 cm 177
- Jadual 4. 22: Perbandingan statistik asas bilangan pokok untuk dua kategori DBH mengikut subplot di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 23: Statistik asas lima famili utama bilangan pokok (DBH < 10 cm) mengikut subplot di PKUTB. 185
- Jadual 4. 24: Ujian Fisher's LSD, yang menunjukkan perbandingan DBH di antara lima famili utama pokok berkayu (DBH ≥ 10 cm) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 25: Ujian Fisher's LSD menunjukkan perbezaan purata DBH di antara spesies-spesies utama pokok berkayu (DBH ≥ 10 cm) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 26: Statistik asas DBH tujuh spesies utama (DBH < 10 cm) mengikut subplot di PKUTB. 192
- Jadual 4. 27: Keputusan ujian korelasi dan regresi lima famili utama di dalam PKUTB. Keputusan adalah signifikan pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 28: Keputusan ujian korelasi dan regresi 7 spesies utama (mengikut individu) tumbuhan berkayu di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**

- Jadual 4. 29: Purata biojisim atas tanah (BAT) pokok-pokok berkayu mengikut subplot (0.04 ha) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 30: Luas Pangkal (BA) pokok-pokok berkayu mengikut saiz DBH, mengikut subplot di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 31: Purata bilangan pokok-pokok berkayu bagi 25 subplot di PKUTB mengikut DBH. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 32: Nilai BAT dan BA lima famili tertinggi (DBH \geq 10 cm) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 33: Nilai % BA dan BAT (jumlah setiap spesies) beberapa spesies utama di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 34: Sepuluh spesies individu dengan nilai BAT tertinggi di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 35: Perbandingan jumlah sarap hutan mengikut bulan dengan Ujian Fisher's LSD di PKUTB selama 12 bulan mulai Februari 2002 sehingga Januari 2003. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 36: Perbandingan sarap hutan (ranting) mengikut bulan dengan Ujian Fisher's LSD di PKUTB selama 12 bulan mulai Februari 2002 sehingga Januari 2003. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 37: Perbandingan sarap hutan (daun) mengikut bulan dengan Ujian Fisher's LSD di PKUTB selama 12 bulan mulai Februari 2002 sehingga Januari 2003. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 38: Perbandingan sarap hutan (buah dan bunga) mengikut bulan dengan Ujian Fisher's LSD di PKUTB selama 12 bulan mulai Februari 2002 sehingga Januari 2003. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 39: Senarai spesies utama dan peratusan (%) yang membentuk kanopi hutan di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 40: Ujian sebaran Piawai Morisita (diperbaiki) untuk famili tumbuhan berkayu (Dikotiledon) utama di PKUTB (pada aras keyakinan 95%). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 41: Ujian sebaran Piawai Morisita (diperbaiki) ke atas famili Pandanaceae dan Arecaceae di PKUTB (pada aras keyakinan 95%). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 4. 42: Ujian sebaran Piawai Morisita (diperbaiki) untuk spesies-spesies utama famili Pandanaceae dan Araceae di PKUTB (pada paras keyakinan 95%). 235
- Jadual 4. 43: Ujian sebaran Piawai Morisita (diperbaiki) ke atas tiga spesies utama dikotiledon di PKUTB (pada aras keyakinan 95%). **Error! Bookmark not defined.**

- Jadual 4. 44: Analisis statistik 9 spesies monokotiledon mengikut subplot di PKUTB, pada aras keyakinan 95%. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 1: Kedudukan plot-plot kajian bandingan di negeri Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 2: Famili-famili pokok berkayu berdiameter paras dada ≥ 10 cm yang direkodkan di dalam plot-plot bandingan. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 3: Famili-famili utama pokok dikotiledon yang ditemui di plot-plot kajian perbandingan (bilangan tertinggi). **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 4: Ringkasan maklumat flora berkayu di dalam plot-plot bandingan yang bersaiz 400 meter persegi di Pulau Pinang. 268
- Jadual 5. 5 : Indeks Kepelbagaian dan Indeks Keseragaman bagi semua plot bandingan berdasarkan spesies dan famili di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 6: Spesies monokotiledon di PKUTB berbanding 6 plot bandingan yang lain. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 7: Analisis statistik pokok-pokok monokotiledon mengikut subplot di dalam PKUTB. 278
- Jadual 5. 8: Senarai paku-pakis yang direkodkan di dalam plot-plot hutan bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 9: Luas pangkal (BA) dan biojisim atas tanah (BAT) plot-plot bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Jadual 5. 10: Nilai BA dan BAT tertinggi bagi pokok individu bagi plot-plot bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**

SENARAI RAJAH MUKA SURAT

Rajah 3. 1: Peta menunjukkan negeri Pulau Pinang dan kedudukan hutan simpan kekal utama negeri di mana kajian dilakukan.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 2: Suhu bulanan di PKUTB untuk tempoh 24 jam.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 3: Kelembapan Relatif (%) di PKUTB untuk tempoh 24 jam.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 4: Keamatan cahaya kawasan terbuka (luang) PKUTB setiap dua jam mengikut bulan tahun 2003.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 5: Keamatan cahaya kawasan berkanopi (tertutup) PKUTB setiap dua jam mengikut bulan tahun 2003.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 6: Peratusan butiran tanah di dalam PKUTB mengikut subplot.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 7: Kandungan bahan organik (%) purata di PKUTB mengikut subplot.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 3. 8: Jumlah hujan bulanan yang diterima di Pusat Kajicuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang bagi tahun 2000 sehingga 2004.	74
Rajah 3. 9: Jumlah hari hujan bulanan yang diterima di Pusat Kajicuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang bagi tahun 2000 sehingga 2004.	75
Rajah 3. 10: Purata kelembapan bandingan (%) bulanan di Stesyen kajicuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang bagi tahun 2000 hingga 2004.	77
Rajah 3. 11: Purata suhu (°C) bulanan di stesyen kajicuaca Bayan Lepas, Pulau Pinang bagi tahun 2000 hingga 2004.	78
Rajah 4. 1: Lokasi Plot Kajian Utama (PKUTB) di dalam Hutan Simpan Teluk Bahang dengan keluasan 1 ha di 100° 12' 55.79" U dan 5° 15' 56.88" T.	100
Rajah 4. 2: Rekabentuk plot dan subplot di PKUTB, Hutan Simpan Teluk Bahang, Pulau Pinang.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 3: Bilangan genus bagi setiap famili yang ditemui di dalam PKUTB.	131
Rajah 4. 4: Bilangan spesies bagi setiap famili yang ditemui di dalam PKUTB.	132

Rajah 4. 5: Spesies-spesies yang direkodkan untuk famili Anacardiaceae di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 6: Spesies-spesies yang direkodkan untuk famili Clusiaceae di PKUTB.	144
Rajah 4. 7: Spesies-spesies yang direkodkan untuk famili Dipterocarpaceae di PKUTB.	146
Rajah 4. 8: Analisis kelompok untuk 25 subplot di PKUTB. Pokok dikotiledon berkayu (DBH \geq 10 cm) sahaja.	151
Rajah 4. 9: Analisis kelompok untuk 25 subplot di PKUTB. Pokok dikotiledon berkayu (DBH \geq 10 cm) dan monokotiledon (Arecaceae dan Pandanaceae).	152
Rajah 4. 10: Graf menunjukkan bilangan spesies melawan keluasan kawasan plot di PKUTB.	160
Rajah 4. 11: Graf menunjukkan kecerunan perhubungan antara spesies dan keluasan kawasan di PKUTB.	161
Rajah 4. 12: Sela kelas ketinggian (T) semua pokok berkayu keras di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 13: Perbandingan sela kelas ketinggian spesies dari Famili Anacardiaceae, (a) <i>G. curtisii</i> , (b) <i>G. elegans</i> dan (c) <i>S. schwenkii</i> di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 14: Perbandingan sela kelas ketinggian spesies dari famili Dipterocarpaceae di PKUTB, di mana (a) <i>H. beccariana</i> , (b) <i>S. leprosula</i> , (c) <i>S. maxwelliana</i> dan (d) <i>S. multiflora</i> .	172
Rajah 4. 15: Sela kelas ketinggian spesies <i>Streblus elongatus</i> (Moraceae) dan <i>Pouteria malaccensis</i> (Sapotaceae) di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 16: Histogram menunjukkan sela kelas DBH semua pokok di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 17: Histogram DBH 3 famili pokok di PKUTB, di mana (a) Anacardiaceae, (b) Dipterocarpaceae dan (c) Moraceae.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 18: Histogram menunjukkan DBH famili (a) Sapotaceae dan (b) Clusiaceae di PKUTB.	Error! Bookmark not defined.
Rajah 4. 19: Perbandingan bilangan pokok di PKUTB, mengikut pecahan famili-famili utama (DBH \geq 10 cm).	Error! Bookmark not defined.

- Rajah 4. 20: Histogram menunjukkan bilangan pokok bagi setiap subplot mengikut DBH di PKUTB. 183
- Rajah 4. 21: Histogram menunjukkan peratusan (%) pokok (DBH < 10 cm) di PKUTB. 184
- Rajah 4. 22: Histogram sela kelas DBH spesies utama famili Anacardiaceae (n > 25) di PKUTB, di mana (a) *G. curtisii*, (b) *G. elegans* dan (c) *S. schwenkii*. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 23: Histogram sela kelas dbh spesies utama famili Dipterocarpaceae (n > 25) di PKUTB, di mana (a) *H. beccariana*, (b) *S. leprosula*, (c) *S. maxwelliana* dan (d) *S. Multiflora* 188
- Rajah 4. 24: Histogram sela kelas DBH *P. malaccensis* (Sapotaceae) dan *S. elongatus* (Moraceae) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 25: Graf persamaan garislurus menunjukkan nilai korelasi dan regresi semua pokok berkayu di PKUTB. Paksi X adalah DBH (cm) dan paksi Y adalah tinggi, T (meter). **Error! Bookmark not de**
- Rajah 4. 26: Persamaan garislurus famili (a) Anacardiaceae, (b) Clusiaceae dan (c) Dipterocarpaceae di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 27: Persamaan garislurus famili (a) Moraceae dan (b) Sapotaceae di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 28: Graf persamaan garislurus bagi spesies (a) *Gluta curtisii*, (b) *Gluta elegans* dan (c) *Swintonia schwenkii* di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 29: Graf persamaan garislurus famili *Dipterocarpaceae* (a) *Hopea beccariana*, (b) *Shorea leprosula*, (c) *S. maxwelliana* dan (d) *S. multiflora* di PKUTB. 202
- Rajah 4. 30: Perbandingan antara biojisim atas tanah (BAT) pokok-pokok berkayu di antara 25 subplot (0.04 hektar) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 31: Perbandingan luas pangkal (BA) pokok-pokok berkayu di antara 25 subplot (0.04 hektar) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 32: Perbandingan bilangan pokok-pokok berkayu di antara 25 subplot (0.04 ha setiapnya) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 33: Perbandingan purata sarap yang ditemui di PKUTB mengikut bulan selama 12 bulan. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 34: Perbandingan famili-famili utama yang menyumbang kepada sarap hutan di PKUTB (purata (g) setiap perangkap sebulan). **Error! Bookmark not defined.**

- Rajah 4. 35: Peratus litupan lantai hutan di PKUTB.**Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 36: Famili-famili utama yang mendominasi dirian kanopi hutan di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 37: Sebaran dua famili utama tumbuhan monokotiledon di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 38: Sebaran empat famili utama tumbuhan dikotiledon di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 39: Sebaran lima spesies utama tumbuhan monokotiledon di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 4. 40: Sebaran tiga spesies utama tumbuhan dikotiledon di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 1: Perbandingan jumlah pokok, bilangan spesies dan bilangan famili (semua DBH) plot-plot kajian perbandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 2: Perbandingan pokok (%) berdasarkan DBH di antara plot-plot bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 3: Dendrogram menunjukkan perhubungan di antara 6 plot-plot bandingan di Pulau Pinang (berdasarkan kehadiran spesies flora berkayu dengan DBH ≥ 2 cm).**Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 4: Dendrogram menunjukkan perhubungan di antara 6 plot-plot bandingan di Pulau Pinang (berdasarkan kehadiran famili flora berkayu dengan DBH ≥ 2 cm).**Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 5: Dendrogram menunjukkan persamaan spesies paku pakis yang wujud di antara plot-plot hutan bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 6: Perbandingan Luas Pangkal (BA) yang diperolehi untuk DBH ≥ 10 cm dan DBH < 10 cm bagi semua plot bandingan di Pulau Pinang. **Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 5. 7: Biojisim Atas Tanah (BAT) yang dihitung untuk pokok-pokok berdiameter paras dada ≥ 10 cm dan DBH < 10 cm bagi semua plot bandingan di Pulau Pinang.**Error! Bookmark not defined.**
- Rajah 6. 1: Faktor-faktor tempatan yang boleh mempengaruhi jenis hutan dan tumbuhan yang dapat tumbuh di PKUTB khususnya dan kawasan tropika amnya.**Error! Bookmark not defined.**

SENARAI PLAT MUKA SURAT

- Plat 4. 1: Gambarfoto menunjukkan spesimen segar daun gugur kering yang ditemui di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4. 2: Gambarfoto menunjukkan batang pokok *Lithocarpus sundaicus* yang ditandakan dengan tag aluminium.**Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.3: Ciri unik batang pokok kapur (*Dryobalanops aromatica*) di mana kulit tua mengelupas dan jatuh ke bawah.**Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.4: Ciri unik batang *Shorea leprosula* (rekahan lebar tidak dalam). **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.5 :Daun *Artocarpus scortechinii* (kiri) dan *Swintonia shwenkii* (kanan) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.6: Rupabentuk daun *Schoutenia accrescens* (bayur bukit) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.7: Buah *Dryobalanops aromatica* (kapur) dengan 5 sayap di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.8: Buah *Gluta curtisii* (rengas) yang ditemui di PKUTB.**Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.9: *Pandanus ovatus* (pandan tikus) di PKUTB.**Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.10: *Eugeissona triste* (bertam) di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**
- Plat 4.11: *Oncosperma tigillarum* (nibung), hanya satu kelompok yang ditemui di PKUTB. **Error! Bookmark not defined.**

SINGKATAN KATA

BAT	Biojisim atas tanah
BA	Luas pangkal
BKFR	Hutan Simpan Bukit Kerajaan
BMFR	Hutan Simpan Bukit Mertajam
BPFR(D)	Hutan Simpan Bukit Panchor (Bukit)
BPFR(P)	Hutan Simpan Bukit Panchor (Paya)
DBH	Diameter pada paras dada (1.3 meter)
IVI	Indeks keunggulan spesies
Mg	Megagram
PAFR	Hutan Simpan Pantai Acheh (Taman Negara Pantai Acheh)
PKUTB	Plot Kajian Utama Hutan Simpan Teluk Bahang
R	Pekali korelasi
R ²	Pekali korelasi punca kuasa-dua
R.P	Ralat Piawai
S.D	Standard Deviation
S.P	Sisihan Piawai
TBFR	Hutan Simpan Teluk Bahang
UPGMA	Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean

EKOLOGI TUMBUHAN DI HUTAN PULAU PINANG DENGAN PENEKANAN KEPADA HUTAN SIMPAN TELUK BAHANG

ABSTRAK

Persampelan dilakukan selama setahun enam bulan mulai Julai 2002 hingga Disember 2003 di Plot Kajian Utama Teluk Bahang (PKUTB) (1 ha) dan enam plot kajian bandingan (0.04 ha). Faktor-faktor fizikal dan kimia berada di dalam julat bacaan hutan di Semenanjung Malaysia, contohnya suhu purata harian di dalam lingkungan 25.35 °C hingga 29.18 °C. Komposisi spesies berbeza di antara plot terganggu dengan kurang terganggu dan di antara plot tanah besar (Seberang Perai) berbanding plot pulau (Pulau Pinang) dengan indeks persamaan Morisita (diperbaiki) yang rendah (0.30). Namun, luas pangkal (BA) dan biojisim atas tanah (BAT) plot-plot bandingan adalah setara dengan PKUTB yang berada di fasa pertumbuhan hutan dipterokarpa dengan gabungan spesies utamanya *Shorea maxwelliana*-*Eugeissona triste*. Sejumlah 34 famili dan 178 spesies pokok dikotiledon direkodkan berbanding 10 spesies monokotiledon, yang didominasi oleh *Eugeissona triste* (Arecaceae) dan *Pandanus ovatus* (Pandanaceae). Bagi pokok dengan DBH ≥ 10 cm, nilai BAT adalah 204.203 tan/ha dengan BA 30.00 m² dan bagi DBH < 10 cm BAT adalah 19.63 tan/ha dengan BA 4.69 m². Ketinggian purata ialah 13.77 \pm 3.36 (min \pm S.P) m dan DBH 17.89 \pm 10.75 (min \pm S.P) cm. Dipterocarpaceae, Anacardiaceae dan Clusiaceae adalah tiga famili utama yang direkodkan. Tiga spesies dengan indeks IVi tertinggi adalah *Shorea maxwelliana* (17.47%) *Gluta curtisii* (14.54%) dan *Hopea beccariana* (13.52%). Sarap hutan dianggarkan 7.07 tan/ha/tahun dan tidak berkorelasi dengan jumlah hujan bulanan. Indeks kepelbagaian lebih tinggi (> 0.900) jika tumbuhan monokotiledon diambilkira.

PLANT ECOLOGY IN THE FORESTS OF PULAU PINANG WITH SPECIAL EMPHASIS ON TELUK BAHANG FOREST RESERVE

ABSTRACT

Sampling was conducted for one and a half years starting from July 2002 to December 2003 at the Main Sampling Plot (PKUTB) (1 ha) and six comparison plots (0.04 ha). The physical and chemical parameters show no significant differences and are in range with other forests in Peninsular Malaysia. For example the daily mean temperatures ranging from 25.35 °C to 29.18 °C. Species composition differs between disturbed and undisturbed study plots and between the mainland (Seberang Perai) and the island (Penang Island) with low Morisita's Modified Indices (0.30). However, the above ground biomass (BAT) and basal area (BA) are comparable with PKUTB. PKUTB is a hilly coastal dipterocarp forest of the *Shorea maxwelliana*-*Eugeissona triste* segregate. A total of 34 families and 178 species of dicotyledons are recorded compared to ten species of monocotyledons with two dominant species, *Eugeissona triste* (Arecaceae) and *Pandanus ovatus* (Pandanaceae). For trees with DBH \geq 10 cm, BAT is calculated at 204.20 tonne/ha and BA of 30.00 m² while for DBH < 10 cm, the BAT is 19.63 tonne/ha and BA of 4.69 m². Mean height of the trees is 13.77 \pm 3.36 (mean \pm S.D) m and DBH 17.89 \pm 10.75 (mean \pm S.D) cm. Dipterocarpaceae, Anacardiaceae and Clusiaceae are the main families recorded. The top three species with highest IVi indices are *Shorea maxwelliana* (17.47%) *Gluta curtisii* (14.54%) dan *Hopea beccariana* (13.52%). Forest litter is estimated at 7.07 tonne/ha/year with no correlation detected with the total monthly rainfall. Diversity indices are higher (> 0.900) when the monocotyledon component is counted.

BAB 1.0: PENDAHULUAN UMUM

1.1: PENDAHULUAN

1.1.1: Hutan Tropika secara umum

Hutan hujan tropika merupakan hutan yang mengandung bilangan spesies dan dirian biojisim yang tertinggi di dunia. Ia juga merupakan formasi hutan yang tua (melebihi sejuta tahun), yang paling kompleks dan sangat produktif (Odum and Barrett, 2005; Thomas and Bazzaz, 1999; Aiken and Leigh, 1999). Sehingga hari ini hutan hujan tropika terbukti mempunyai bilangan spesies flora dan fauna yang terbanyak berbanding hutan jenis lain. Hutan hujan tropika dikategorikan berdasarkan bagaimana kompleksnya struktur kanopi tumbuhan yang didapati (Ashton and Hall, 1992). Untuk memahami dengan lebih mendalam hutan ini, ahli sains dan ahli pencinta alam telah mengkaji hutan jenis ini secara intensif dan sistematik sejak sekian lama. Walau bagaimanapun, masih banyak persoalan yang belum dapat diselesaikan dan masih banyak spesies yang menanti untuk ditemui, apatah lagi dikaji dan difahami (Thomas, 1996).

Hutan hujan terletak terutamanya di kawasan tropika berdekatan garisan lintang khatulistiwa. Walau bagaimanapun terdapat sebahagian hutan hujan yang menganjur lebih jauh ke utara dan selatan khatulistiwa, contohnya hingga ke Timur Australia di kawasan selatan khatulistiwa (Whitmore, 1985) dan di utara khatulistiwa ia sampai ke Myanmar dan Assam meliputi bahagian pendalaman Selatan China di mana terletaknya Banjaran Himalaya sebagai tembok terakhir dunia. Di sini ia menganjur sehingga 26° ke selatan dari garis khatulistiwa, yang

mana merupakan Jalur hutan tropika yang paling jauh dari garis khatulistiwa berbanding hutan hujan tropika lain di dunia (Liu and Yu, 1980).

Pada hari ini hutan hujan tropika merupakan 6% dari keseluruhan keluasan daratan dunia. Ahli sains menganggarkan lebih separuh spesies tumbuhan dan haiwan tinggal di hutan hujan tropika. Hutan hujan tropika juga membekalkan 40% keperluan oksigen dunia. Tiada hutan lain di dunia yang mempunyai spesies tumbuhan setinggi hutan hujan tropika. Dari anggaran yang dilakukan ahli sains terdapat 100 hingga 300 spesies organisma di dalam 1 hektar hutan tropika yang mana sehingga 70% daripadanya adalah tumbuhan (Michael, 2001). Hutan hujan Indo Malayan yang ekstensif mempunyai keluasan 2.5×10^8 ha (Pringle, 1969). Di sinilah terletak hutan hujan tropika Malaysia. Hutan ini adalah daerah hutan hujan yang kedua terluas di dunia selepas hutan hujan Amerika (Amerika Selatan) yang mempunyai keluasan 4.0×10^8 ha. Hutan hujan tropika di Asia Tenggara telah diperakui sebagai salah satu ekosistem yang paling kaya dengan spesies dan sangat kompleks di dunia (Seopadmo, 1995). Boleh dikatakan tiada satupun hutan hujan tempatan yang seratus peratus sama secara fizikal dan biologi, disebabkan pengaruh faktor geografi tempatan.

Di dalam zon fitogeografi Hutan Hujan Malesian, yang menganjur dari Semenanjung Thailand (Kra Isthmus) di Barat Daya hingga ke Papua New Guinea di kawasan Timur Laut yang mempunyai keluasan sehingga 3 million km^2 , de Laubenfels (1988) dan Roos (1992) melaporkan terdapat lebih daripada

40,000 spesies tumbuhan vaskular yang direkodkan (lebih sedikit dari 36,000 adalah tumbuhan berbunga dari 266 famili dan 3,075 genera). Jumlah ini adalah sangat tinggi jika dibandingkan dengan hutan jenis lain mahupun jika dibandingkan dengan kebanyakan hutan hujan yang lain. Walaupun Malesia terdiri daripada wilayah tumbuhan yang jelas, vegetasinya jauh dari seragam. Di dalam daerah jajaran tumbuhan Malesia, terdapat tiga daerah yang jelas dibezakan: Malesia Barat (Semenanjung Malaysia, Sumatra, Borneo and the Philippines), Malesia Timur (Sulawesi, Maluku and New Guinea) dan akhir sekali daerah Malesia Utara (Java and Nusa Tenggara) (van Steenis, 1979).

Walaupun terdapat banyak perbezaan di antara tiga daerah di atas, perbezaan yang paling ketara dan signifikan bagi Daerah Malesia Barat adalah kerana taburan famili pokok dipterokarpa yang sangat meluas di kawasan ini. Whitmore (1981) dan Ashton (1982) menemui dari kajian mereka sehingga 80% dari keseluruhan pokok memuncul dan sehingga 40% tumbuhan kanopi bawahan adalah terdiri dari tumbuhan famili ini. Kepelbagaian spesies di dalam hutan semulajadi di sini sangat tinggi menurut Ashton (1989), Ashton *et al.* (1988), Beaman and Beaman (1990), van Steenis (1979) dan Whitmore (1981, 1987). Peratusan spesies endemik juga tinggi. Aiken and Leigh (1992) melaporkan sehingga 59% (269 spesies) adalah endemik di Borneo sahaja, sedangkan di Maluku ada enam spesies, New Guinea terdapat 15 spesies dan Sulawesi hanya ada tujuh spesies endemik. Sementara itu pula Seopadmo (1995), melaporkan, daripada 218 genera yang endemik yang melibatkan 386 spesies, 61 genera

terdapat di Borneo, 82 di Papua New Guinea, 24 di Semenanjung Malaysia, 23 di Filipina, 13 di Sumatera, 5 di Sulawesi dan Java, 4 di Maluku dan hanya satu di Kepulauan Sunda.

Perbezaan vegetasi antara daerah dan di dalam daerah ketiga-tiga jajahan tadi, dipengaruhi oleh faktor-faktor fizikal dan sejarah migrasi flora Malesia. Salah satu faktor fizikal yang utama adalah altitud, ia sangat pelbagai dan tidak mengikut corak yang tetap. Di sesetengah kawasan di daerah Malesia, puncak tertinggi boleh melebihi 4000 meter, contohnya, Gunung Jawa (4884 m), Mandala (4680 m), Wilhelm (4510 m) and Kinabalu (4101 m) di Sabah (Aiken and Leigh, 1992). Di sini zonasi vegetasi berlaku mengikut ketinggian, bermula dari hutan hujan berdaun lebar di kawasan tanah pamah dan berbukit diikuti oleh hutan Montana dan berakhir dengan tumbuhan jenis renek di kawasan lebih tinggi (Johns, 1982). Variasi di dalam vegetasi juga berkait rapat dengan jumlah hujan tahunan dan musim.

Sebahagian besar daerah Malesia menerima hujan tahunan melebihi 2000 mm dan agak sekata di sepanjang tahun, maka itu di kawasan tanah pamah di sini, jenis hutan semulajadinya adalah dari jenis hutan hujan kekal. Walau bagaimanapun, sebahagian kecil dari daerah Malesia, termasuk Jawa, Nusa Tenggara, Selatan Papua New Guinea dan sebahagian dari Sulawesi, adalah lebih kering, menerima hujan di antara 1000 mm sehingga 2000 mm sepanjang tahun (Koteswaram, 1974). Di sini, terdapat hutan jenis monsun yang dicirikan

oleh struktur hutan yang lebih terbuka dan banyak spesies desiduous. Tempat-tempat lain Malesia, faktor tempatan kadangkala mempengaruhi kandungan flora sesuatu kawasan. Contohnya, gerakan udara kering di bahagian tengah Semenanjung Malaysia dan di lembah tengah Sumatera menyebabkan vegetasi di kawasan ini lebih menyerupai tumbuhan monsun, yang sama sekali berbeza daripada tumbuhan hutan hujan di sekitar kawasan terbabit (Dale, 1960).

1.1.2: Hutan hujan tropika di Malaysia

Hutan hujan Malaysia, secara eksklusif terletak di dalam kawasan tumbuhan berbunga Malesia yang dikenali sebagai kawasan Archipelagik Tenggara Benua Asia (Aiken and Leigh, 1992). Jumlah keluasan Malaysia adalah 328,600 km² yang mana Semenanjung Malaysia, berkeluasan 131,600 km² , Sabah 73700 km² dan Sarawak 123,300 km². Semenanjung Malaysia dipisahkan dari Sabah dan Sarawak oleh Laut China Selatan sejauh 720 km dari Johor ke Sabah. Sehingga 59% dari keseluruhan Semenanjung Malaysia dan 75% kawasan Sabah dan Sarawak adalah didominasi oleh formasi hutan hujan tropika (Mar Iman, 1998). Jadual 1.1 menunjukkan jenis penggunaan tanah di Malaysia pada tahun 1992-93 (MTC, 1996). Hutan merupakan kegunaan tanah yang paling dominan di Malaysia merangkumi sehingga 47.98% dari keseluruhan keluasan tanah. Hutan hujan di Semenanjung Malaysia adalah dari jenis daun lebar tanpa musim kering dan basah yang nyata. Keadaan iklim mikro tempatan seperti jenis tanah dan ketinggian sangat mempengaruhi jenis vegetasi yang boleh ditemui.

Walaupun demikian jumlah hujan yang diterima sepanjang tahun menentukan jenis hutan asas di Malaysia (Whitmore, 1990 dan 1985).

Jadual 1. 1: Jenis kegunaan tanah dan keluasan kawasan di Malaysia dalam tahun 1992-93 (MTC, 1996).

Jenis	Luas (ha)		Jumlah Luas (ha)	Keluasan (%)
	Semenanjung	Sarawak/Sabah		
Hutan	5800540	10050900	15851440	47.98
Pertanian	5225930	5156420	10382350	31.43
Tasik dan Sungai	83793.7	30334.8	114128.5	0.34
Tiada maklumat	2058540	4630530	6689070	20.25

Berbanding di Semenanjung Malaysia, kawasan hutan di Sabah dan Sarawak adalah lebih tinggi peratusannya. Selain daripada mempunyai hutan yang luas, Malaysia juga mempunyai jaringan hutan yang dilindungi yang terdiri daripada pelbagai jenis ekosistem untuk tujuan pemuliharaan kepelbagaian biologi (MTC, 1996). Sehingga ke hari ini, Malaysia mempunyai 1.39 juta ha kawasan yang dikhaskan untuk tujuan pemuliharaan seperti Jadual 1.2.

Selain itu hutan-hutan Malaysia mengandungi biota yang sangat tinggi dan kebanyakan belum pernah dikaji secara terperinci dan mendalam. Kiew *et al.* (1987) percaya hutan Malaysia mempunyai banyak spesies endemik, kerana kebanyakan hutan di sini adalah merupakan hutan tanah pamah yang terletak di kawasan paling selatan benua Asia. Kekayaan dan keseragaman mencapai tahap maksima di kawasan hutan tanah pamah dan berbukit yang didominasi oleh pokok jenis dipterokarpa. Kebanyakan spesies tertumpu pada ketinggian di bawah 300 meter (Aiken and Leigh, 1992). Semenanjung Malaysia yang terletak di antara garis latitud $6^{\circ} 45'$ dan $1^{\circ} 20'$ Utara dan longitud $99^{\circ} 40'$ dan $104^{\circ} 20'$ Timur dengan keluasan lebih kurang $131,600 \text{ km}^2$ adalah salah satu negara di Asia Tenggara yang mempunyai keluasan hutan semulajadi tertinggi iaitu merangkumi sehingga 47% keluasan negara (6.2 juta hektar) Mar Iman (1998). Secara topografi, Semenanjung Malaysia dicirikan oleh lembangan pantai di timur dan barat, berbukit bukau dan bergunung ganang yang bertebing curam di kawasan tengah dan permukaan tanah beralun di kawasan yang selebihnya (Malaysia, 2001).

Jadual 1. 2: Jenis dan keluasan hutan di Malaysia (Chiew, 1995; MSTEM, 1998).

Jenis hutan	Semenanjung Malaysia	Sabah	Sarawak
Luas tanah	13.16	7.37	12.33
Jumlah hutan	5.85	4.45	8.61
Hutan produktif	2.78	3.07	5.00
Hutan perlindungan	1.90	0.53	1.00
Taman Negara dan hidupan liar	0.74	0.38	1.00
Hutan Simpanan Negeri	0.43	0.47	1.61
Hutan Dipterokarpa	5.38	3.83	7.20
Paya	0.30	0.19	1.20
Paya Bakau	0.10	0.32	0.20
Peratusan	44.50	60.40	69.80

Nota: Keluasan dalam juta hektar.

Secara keseluruhannya ciri ekologi jenis hutan utama di Malaysia boleh dikategorikan seperti berikut:

1. Hutan dipterokarpa

Famili dipterokarpa adalah spesies dominan di dalam hutan jenis ini. Dipterokarpa adalah salah satu daripada spesies balak utama di Malaysia dan negara-negara lain di Asia Tenggara. Di antara genus utama balak hutan ini adalah *Anisoptera*, *Dipterocarpus*, *Dryobalanops*, *Hopea*, *Shorea* dan *Parashorea*.

2. Hutan Paya Gambut

Hutan paya gambut terbentuk berhampiran pantai di tanah pamah Semenanjung Malaysia di bahagian timur dan barat. Spesies balak utama di kawasan paya gambut termasuklah, *Gonystylus bancanus*, *Durio carinatus*, *Shorea platycarpa*, *Shorea teysmaniana* dan *Shorea uliginosa*.

3. Hutan Paya Bakau

Hutan paya bakau terdapat di kawasan pantai berlumpur, lagun dan muara sungai yang mengalami pasang surut air. Antara genus pokok yang biasa ditemui di sini adalah *Rhizophora*, *Avicennia*, *Bruguiera*, *Sonneratia*, *Xylocarpus* dan *Nypa*.

Jenis hutan lain seperti hutan pantai dan paya air tawar juga boleh ditemui.

Variasi di dalam komposisi spesies juga adalah berkaitan dengan faktor –faktor seperti litologi, topografi, jenis tanah, saliran, banjir yang berlaku dan juga tanah

runtuh. Di Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur (Sabah dan Sarawak) jenis tumbuhan yang tumbuh banyak dipengaruhi oleh jenis batuan asas kawasan tersebut. Contohnya, hutan *Dipterocarpus* dan *Shorea* di Sabah biasanya ditemui di kawasan di mana terkumpulnya tanah jenis pasir berbatu (Fox, 1978). Tersebar di seluruh Malaysia adalah bukit batu kapur dengan rupa dan bentuk yang tersendiri, samada seperti menara yang tersergam atau bukit kecil yang terlonjong dari kawasan landai dengan komposisi floranya yang unik. Sebelas peratus daripada keseluruhan flora kawasan bukit batu kapur adalah endemik (Chin 1977 dan 1979). Taburan spesies pada paras mikro adalah dipengaruhi oleh faktor edafik dan topografi. Sesetengah spesies seperti cengal (*Neobalanocarpus heimii*) lebih menyukai kawasan rata, sementara seraya (*Shorea curtisii*) yang dominan di kawasan hutan dipterokarpa berbukit menyukai kawasan puncak bukit berjurang, di mana ia beradaptasi dengan baik di kawasan persekitaran yang lebih kering (Burgess, 1968).

Variasi jenis dan ciri tanah di kawasan hutan dipterokarpa bercampur juga boleh membentuk jenis hutan yang jelas berbeza. Kandungan kimia tanah didapati mempunyai korelasi dengan variasi tumbuhan. Ashton (1977) dan Baillie *et al.* (1987) menemui perkaitan di antara taburan spesies dengan kepekatan fosforus dan magnesium. Variasi di dalam sesuatu jenis hutan juga adalah berkaitan dengan tanah runtuh dan banjir. Ho *et al.* (1987) menyatakan variasi tumbuhan di kawasan Hutan Simpanan Jengka, Pahang adalah akibat daripada gabungan faktor tanah dan banjir teruk yang sering melanda kawasan terbabit.

Hutan hujan tropika primer yang terdapat di Semenanjung Malaysia adalah dinamik yang terdiri daripada fasa-fasa pertumbuhan yang berbeza mengikut kawasan, fasa matang, fasa terbuka (luang) dan fasa pertumbuhan yang membentuk kitar pertumbuhan hutan (Whitmore, 1978). Ketiga-tiga fasa ini saling berkait, fasa terbuka terdiri dari anak-anak pokok (anak benih dan biji benih), diikuti oleh fasa pembinaan (hutan kayu pancang) yang akhir akan menjadi hutan tropika matang satu hari nanti (Whitmore, 1985). Pembentukan ruang terbuka kebiasaannya akan memulakan satu kitar hutan. Pembentukan ruang akibat kejadian semulajadi adalah fenomena biasa, pokok tua mati dan tumbang, kejadian angin kencang dan kebakaran hutan kadangkala terjadi (Gavin *et al.*, 1996). Walaupun begitu, kebanyakan kitar hutan adalah melibatkan faktor manusia. Pembalakan dan pertanian pindah adalah antara faktor utama yang menyumbang kepada kitar hutan. Di Kalimantan Indonesia kesan pertanian pindah sangat jelas mengubahsuai struktur hutan (Lawrence and Moge, 1996; Cannon *et al.* 1994).

Hutan hujan tanah pamah kekal adalah yang paling ekstensif di Malaysia. Ia ditemui pada ketinggian paras laut sehinggalah had maksimum 750 meter dan terdiri daripada hutan dipterokarpa tanah pamah dan berbukit (Fox, 1978; Syminton, 1974; Whitmore 1984; Wyatt-Smith, 1964). Ini adalah kerana cuaca di Malaysia yang lembab kesan daripada suhu yang tinggi dan hujan lebat bermusim sepanjang tahun. Julat suhu purata di Semenanjung Malaysia adalah

di antara 26⁰ C hingga 32⁰ C dengan jumlah hujan di antara 2000 mm hingga 4000 mm setahun (Malaysia, 2001). Terdapat banyak pokok tinggi di hutan jenis ini, dengan pokok-pokok di kanopi utama ada yang mencecah ketinggian 21 hingga 35 meter (Wyatt-Smith 1964). Pokok memuncul pula ada yang tumbuh sehingga 40 meter dan ada pokok gergasi yang direkodkan tumbuh sehingga 70 meter (Ashton, 1964; Wyatt-Smith, 1964; Robbins and Wyatt-Smith, 1964). Menurut penetapan oleh FAO/UNEP (1981) tentang lapisan kanopi hutan, terdapat tiga lapisan utama pokok di dalam hutan tanah pamah: samada lapisan kanopi utama, lapisan memuncul atau lapisan kanopi bawahan yang terdiri dari pokok terbantut dan anak pokok. Walaupun dari pemerhatian adalah jelas pokok memuncul memang tumbuh melampaui lapisan kanopi utama, Halle *et al.* (1978) mempersoalkan realiti penstrataan sedemikian dan sehingga kini perdebatan mengenainya masih tidak mendapat keputusan yang memuaskan.

Di kawasan hutan tropika Semenanjung Malaysia, lantai hutan hujan yang matang biasanya lapang dan tidak dipenuhi tumbuhan yang padat, sementara itu sarap hutan (ranting, daun dan dahan) adalah nipis dan tidak merata akibat dari proses pereputan yang cepat dan larian air permukaan (Leigh, 1982). Terdapat juga perbezaan yang nyata antara hutan tanah pamah dan hutan bukit walaupun kedua-duanya merupakan hutan hujan tropika. Kanopi hutan berbukit adalah rendah dan terputus-putus, sedangkan kanopi utama hutan tanah pamah lebih tinggi dan berterusan (Robins and Wyatt-Smith 1964). Taburan spesies sentiasa berubah dan kerap kali spesies baru muncul. Banyak hutan berbukit di

Semenanjung Malaysia dicirikan oleh kehadiran pokok seraya (*Shorea curtisii*) yang tumbuh di sepanjang tebing berbukit dan banyak spesies *Shorea* lain juga boleh ditemui di sekitarnya. Palma (*Eugeissona triste*) biasanya hadir sebagai satu lapisan shrub yang tebal samada di hutan dipterokarpa tanah pamah atau berbukit (Wyatt-Smith,1964 dan Burgess,1968).

Wyatt-Smith (1964) mengenalpasti sembilan jenis hutan tanah pamah dan enam jenis hutan berbukit di Semenanjung Malaysia dan taburan sebahagian dari mereka adalah dipengaruhi oleh faktor topografi dan litologi. Seperti hutan batu kapur di Taman Negara Mulu, Sarawak. Hutan ini sahaja mempunyai 3,500 spesies tumbuhan yang tinggi kadar endemiknya, 262 spesies burung, 67 spesies mamalia dan banyak lagi (MSTEM, 1997). Ini menunjukkan betapa pentingnya kandungan biologi hutan-hutan di Malaysia.

1.1.3: Pendekatan dan objektif kajian

Untuk mendapatkan satu keputusan kajian yang bermakna, pendekatan umum yang dipraktikkan adalah mendapatkan sebanyak mungkin maklumat yang terdapat di dalam plot-plot kajian yang terhad saiznya. Matlamat utama adalah menghimpunkan semua maklumat yang terkandung di dalam hutan hujan di Pulau Pinang khasnya dan Semenanjung Malaysia amnya. Untuk membolehkan kajian ini mewakili sebaik mungkin komposisi flora dan fauna hutan hujan, plot kajian utama PKUTB dipilih. Ini adalah kerana, kedudukan dan ciri PKUTB yang hampir meyerupai sebahagian besar hutan-hutan simpanan lain di Pulau Pinang.

Plot yang lebih besar (lebih daripada satu hektar) tidak dapat dibentuk kerana faktor had pembiayaan dan masa. Oleh kerana saiz minima satu hektar banyak diguna pakai oleh pengkaji lain di dalam kajian ekologi hutan, saiz ini telah dipilih untuk mewakili hutan simpan berkenaan. Kaedah pembentukan plot dan kaedah-kaedah lain dibincangkan dengan mendalam di dalam bab-bab yang seterusnya. Walaupun demikian, untuk membandingkan dengan hutan-hutan simpanan lain yang terdapat di Pulau Pinang, sejumlah 6 plot bandingan bersaiz 0.04 hektar setiap satu telah juga dibentuk di lokasi-lokasi yang dikenalpasti.

Kajian yang dilakukan ini bertujuan untuk cuba menjawab persoalan: Apakah jenis fasa kitaran hutan yang sedang dialami oleh hutan-hutan di Pulau Pinang. Adakah kesan pembalakan masa lampau memberi impak terhadap kandungan flora yang boleh ditemui. Disamping itu plot kajian ini dipilih kerana kajian ekologi yang mendalam masih belum pernah dilakukan di Hutan Simpanan Teluk Bahang di mana terletaknya plot kajian ini (Mashhor and Yunus, 2005). Dengan adanya kajian ini diharap dapatlah maklumat dan rahsia yang selama ini tersimpan dikongsi bersama untuk rujukan para naturalis dan ekologis pada masa hadapan. Adalah juga menjadi harapan agar kajian ini sekurang-kurangnya akan menjadi permulaan kepada kajian-kajian hutan di Pulau Pinang yang lebih ekstensif dan komprehensif pada masa akan datang.

Kajian ini dilakukan secara mendalam dengan tujuan untuk melihat kewujudan perhubungan di antara komponen biotik (tumbuhan) dan abiotik di hutan ini. Di antara objektif-objektif umum kajian ini adalah

1. Membandingkan faktor-faktor fizikal dan kimia plot-plot kajian.
2. Mengklasifikasikan fasa atau jenis hutan yang diwakili oleh plot kajian.
3. Menghuraikan isi hutan dari segi kandungan spesies, famili, biojisim dan juga kekayaan spesies tumbuhan.
4. Membandingkan hutan-hutan di Pulau Pinang dari segi kandungan spesies dan fizikokimia.

BAB 2.0: TINJAUAN BAHAN BACAAN

2.1: PENDAHULUAN

2.2.1: Kekayaan spesies Flora

Malaysia telah dikenali sebagai salah satu daripada 12 daerah kepelbagaian mega dunia. Hutan tropika, iaitu jenis hutan yang paling pelbagai di dunia, merentasi seluruh Malaysia. Terdapat sehingga 15,000 tumbuhan berbunga, 286 spesies mamalia, 150,000 spesies invertebrata, lebih 1,000 spesies rama-rama dan 12,000 kupu-kupu, dan lebih 4,000 spesies ikan air laut dan sebenarnya senarai ini akan lebih panjang di Malaysia (EPU, 1993). Kepelbagaian biologi, memainkan peranan yang penting di dalam kehidupan seharian manusia. Interaksi antara spesies di dalam satu ekosistem yang pelbagai melaksanakan fungsi-fungsi ekologi yang sangat penting kepada rangkuman aktiviti manusia (MSTEM, 1997).

Hutan tropika mengandungi kekayaan spesies yang amat tinggi dan pelbagai. Dari anggaran yang dilakukan, untuk tumbuhan berbunga sahaja terdapat sekurang-kurangnya 25,000 spesies di daerah Malesia, ataupun mewakili 10 peratus dari keseluruhan tumbuhan yang dikenalpasti di seluruh dunia (Aiken and Leigh, 1992). Di Semenanjung Malaysia terdapat sekurang-kurangnya 8,000 spesies tumbuhan berbunga, 2,580 daripadanya adalah tumbuhan herba berbunga dari 551 genera dan 94 famili. Walaupun demikian, berkemungkinan angka ini adalah nilai yang rendah kerana beberapa famili masih lagi di dalam kajian (Kiew 1988).

Mengikut Ashton (1989), daerah Asia membekalkan separuh daripada semua bekalan balak di dunia. Ng dan Low (1982) melaporkan, di Semenanjung Malaysia sahaja terdapat 2,830 spesies balak dari 532 genera dan 100 famili. Daripada jumlah ini, 20% (677) mencapai saiz balak (DBH 40 cm atau lebih) dan 402 daripadanya telah disenaraikan sebagai spesies komersial yang digredkan di dalam 53 kumpulan balak dan 4 kelas utama (Kochummen, 1973). Sementara itu pada tahun 1982, Ng and Low dalam penyelidikan mereka ke atas spesies pokok menyatakan terdapat 99 famili pokok di Semenanjung Malaysia kesemuanya, di mana 2,398 spesies ditemui daripada 82 famili dan 654 (27.3%) daripadanya adalah endemik. Untuk palma, terdapat 420 spesies semuanya di Malaysia dan 91 spesies adalah endemik di Semenanjung Malaysia, 70 di Sarawak dan 14 di Sabah (Lim, 2000).

Kajiselidik mendapati banyak spesies terwujud di dalam satu kawasan yang secara relatifnya kecil. Di Pulau Pinang, Turner (1989) melaporkan terdapat 70 spesies pokok berkayu (DBH ≥ 10 cm) di dalam satu hektar hutan, di mana 34% daripada keseluruhan spesies adalah dari famili Dipterocarpaceae. Di Singapura (Selatan Semenanjung Malaysia) pula di dalam satu kawasan seluas 3.24 ha, Kwan (1987) menemui 44 famili pokok dengan 212 spesies. Sebanyak 35 spesies orkid dari 22 genera ditemui di Perlis, iaitu negeri yang paling utara di Semenanjung Malaysia (Jutta and Faridah, 2005). Satu lagi kajian yang menunjukkan betapa tingginya tahap kepelbagaian tumbuhan di hutan-hutan Semenanjung Malaysia ditunjukkan oleh Kamis *et al.* (2004). Mereka melaporkan kehadiran 28 spesies Rubiaceae, 26 spesies Euphorbiaceae, 17 spesies Annonaceae, 16 spesies Lauraceae dan 13

spesies Zingiberaceae dari keseluruhan 351 spesies berasal dari 186 genera dan 75 famili di Hutan Negeri Endau Rompin sahaja. Satu lagi kajian oleh Latiff and Faridah Hanum (2004) di dalam Taman Negeri Endau Rompin, Pahang menunjukkan fakta yang sama, iaitu ada 92 spesies Lumut, 352 spesies Angiosperma dan Gimnosperma dengan 80 spesies pteridofit dan 30 spesies Annonaceae.

Walaupun kepadatan pokok keseluruhan adalah tinggi mengikut banyak kajian (Wyatt-Smith, 1949; Proctor *et al.*, 1983; Poore, 1968; Wong and Whitmore, 1970), kebanyakan spesies individu hadir dalam kepadatan yang rendah, contohnya di Hutan Simpan Jengka, Pahang. Poore (1968) merekodkan 375 spesies di dalam plot seluas 23 hektar. Dari jumlah itu, 143 (38%) diwakili oleh cuma satu pokok matang dan 307 (81%) lagi hanya diwakili di antara 1 hingga 10 individu spesies. Jelasnya, spesies-spesies biasa adalah jarang dan spesies-spesies jarang pula adalah biasa ditemui (Ng and Low, 1982) iaitu seringkali kajian menemui bilangan pokok setiap spesies adalah rendah.

Untuk pokok tidak berkayu, ada beberapa rekod yang menarik untuk diteliti. Satu kajian yang dilakukan di Hutan Negeri Endau Rompin, ditemui 92 spesies lumut. Jumlah ini mewakili 19.8% daripada keseluruhan rekod 481 spesies, 29.9% daripada 134 genera dan 54.3% daripada 35 famili lumut yang direkodkan di Semenanjung Malaysia (Damanhuri *et al.*, 2004). Di dalam kawasan yang sama, Maideen *et al.* (2004) melaporkan terdapat 80 genera pteridofit, 69 spesies paku pakis dan sebelas spesies seakan paku pakis.

Nilai ini mewakili 12.4% daripada 647 genera pteridofit yang dilaporkan di Semenanjung Malaysia (Parris and Latiff, 1997).

Demi kemajuan, walaupun mempunyai kandungan spesies yang tinggi banyak hutan di Malaysia terpaksa memberi jalan kepada pembangunan. Contoh yang paling nyata, Hutan Simpan Sungai Buloh, Selangor. Hutan ini digazetkan sebagai hutan simpan pada tahun 1898 dengan keluasan 4,000 ha tetapi pada hari ini luasannya telah merosot kepada 343 ha (EPU, 1993). Begitupun, kandungan spesies tumbuhan di sini masih mengagumkan. Terdapat 258 spesies tumbuhan dari 205 genera dan 69 famili. Tiga puluh enam daripadanya adalah endemik (Sarah, 2005). Kajian oleh Latiff and Faridah Hanum (2004) pula di Taman Negeri Endau Rompin, Pahang sahaja, merekodkan satu senarai flora dan fauna yang panjang dari kawasan yang berkeluasan lebih kurang 31,797 ha. Kawasan ini sangat kaya dengan biodiversiti dan tidak terbanding oleh kawasan hutan simpan lain di dunia. Antara fakta yang menarik mengenai flora dan fauna Taman Negeri Endau Rompin ini ditunjukkan di dalam Jadual 2.1.

Jadual 2. 1: Anggaran jumlah spesies tumbuhan dan haiwan di dalam taman negeri Endau Rompin, Pahang (Latiff and Faridah Hanum, 2004).

	Bilangan Spesies	Nota
Flora		
Lumut	92	Dua spesies adalah rekod baru Semenanjung Malaysia.
Pteridofit	80	Mewakili 12.4% daripada keseluruhan spesies yang ditemui di Semenanjung Malaysia.
Angiosperma dan Gimnosperma	352	186 genera dan 74 famili. <i>Livistona endauensis</i> dan <i>Johannesteijsmannia altifrons</i> adalah sangat kaya untuk satu kawasan yang secara relatifnya kecil.
Annonaceae	30	Spesies-spesiesnya berasal dari 18 genera.
Komposisi	176/ha	Sejumlah 531 individu ditemui di dalam kawasan seluas 0.4 ha, memberikan purata 1327 individu /ha.
Biojisim	457 ton/ha	Biojisim atas tanah pokok yang mempunyai DBH melebihi 5 cm.
Fauna		
Burung	127	Dari 32 famili direkodkan, famili yang paling dominan adalah Timallidae, Pycnonotidae and Picidae. Sejumlah 119 spesies adalah disenaraikan di bawah unggas yang dilindungi sepenuhnya.
Mamalia	7	Spesies primat ditemui dan direkodkan.
	18	Mamalia besar direkodkan di dalam taman.
	27	Dari 12 famili mamalia kecil, termasuk 4 volan dan 23 tidak volan.

2.2.2: Tanah dan Nutrien

Komponen fizikal hutan hujan utama yang berfungsi adalah tanah, nutrien, hidrologi dan jumlah hujan. Hutan hujan Malaysia tidak dapat berfungsi dengan baik jika kehilangan faktor fizikal atau faktor fizikal tersebut terubahsuai. Banyak kajian yang menunjukkan bagaimana faktor kimia dan fizikal memainkan peranan penting dalam menentukan jenis vegetasi sesuatu kawasan (Blackstock *et al.*, 1998; Critchley *et al.*, 2002). Di Sarawak contohnya, Itoh *et al.*, (1995) telah menunjukkan bagaimana taburan dua tumbuhan memuncuk balak (*Dryobalanops aromatica* and *D. lanceolata*) dipengaruhi oleh faktor topografi dan juga faktor fizikal dan kimia di mana tumbuhan tersebut tumbuh.

Tanah temperat dan tropika pada asasnya adalah tidak berbeza dari segi batuan asas, hakisan dan proses longgokan yang berlaku. Perbezaan utama antara dua kawasan ini adalah kandungan tanah muda adalah lebih tinggi di kawasan temperat berbanding di kawasan tropika yang mana di kawasan tropika, proses pembentukan tanah dari batuan asas mengambil masa berjuta tahun lamanya (Aiken and Leigh, 1992). Tanah telahpun dikelaskan dan dinamakan, namun pengkelasan tersebut agak kabur dan mengelirukan (Burnham, 1984). Salah satu fakta yang sering disalahtafsirkan adalah bahawa kebanyakan tanah tropika bertukar kepada jenis laterit apabila hutan dibersihkan untuk tujuan lain. Sedangkan dari anggaran, tanah jenis laterit dekat permukaan hanyalah di sekitar 7% dari keseluruhan hutan tropika (Sanchez and Buol, 1975).

Tanah berbeza mengikut faktor litologi, altitud, saliran dan keadaan lain yang biasanya adalah heterogenus dari yang disangkakan. Di kawasan tropika, Sanchez (1989) menganggarkan, 35% tanah adalah jenis oxisols (berasid dan rendah nutrien), 28% ultisols (rendah kandungan baja), 15% inceptisols (kawasan bersaliran buruk), dan 14% entisols (kaya lumpur). Di Malaysia, ultisols (tanah podzolik merah-kuning) adalah paling luas taburannya di kawasan yang bersaliran baik tanah pamah, di mana secara relatifnya ia tebal tetapi atas permukaan tanah terdapat lapisan humus dan sarap hutan yang nipis tetapi agak kaya kandungan lumpurnya (Burnham, 1984). Ketebalan lapisan tanah sehingga batuan asas tidak menentu, dari berpuluh meter hinggalah ke kurang dari satu meter. Contoh untuk kes kurang dari satu meter boleh ditemui di Pasoh Negeri Sembilan dan beberapa lokasi di tengah Sarawak (Bailie *et al.*, 1987; Leigh, 1982). Tanah ultisols dicirikan oleh keadaan kaya lumpur, tekstur horizon sub permukaan yang berketul-ketul dan horizon permukaan yang lebih berpasir. Ianya adalah miskin nutrien dan sangat terdedah kepada hakisan sebaik sahaja lapisan hutan dibersihkan (Burnham, 1984). Kadangkala lumpur yang mengeras, membentuk padatan ultisols dan oxisols dipanggil laterit dan tanah laterit.

Di Semenanjung Malaysia, tanah laterit wujud terutamanya di kawasan bermusim kering seperti Kedah dan Melaka (Eyles, 1967). Di kawasan-kawasan yang mendapat hujan yang lebat, ultisols digantikan oleh spodosols. Tanah jenis ini secara relatifnya ditemui di kawasan pantai tua berbatu di seluruh Malaysia. Dengan meningkatnya ketinggian, pengaruh cuaca semakin berkurangan. Di kawasan yang ditenggelami air, kadangkala

terbentuk keadaan anaerobik yang menyebabkan pengumpulan kayu reput yang membentuk keadaan paya gambut. Paya gambut yang terbentuk ini boleh ditemui di Semenanjung Malaysia dan juga di Sarawak (Baillie *et al.*, 1987).

Kajian yang dijalankan di Malaysia di Hutan Simpanan Pasoh menunjukkan aliran air menuruni cerun dan melalui tanah membawa nutrien di dalam bentuk larutan dan juga apungan (Manokaran, 1980; Leigh, 1982). Kehilangan nutrien di kawasan hutan tropika yang tidak terganggu tidaklah sebanyak yang dijangkakan, walaupun ia menghadapi potensi hakisan yang tinggi. Kehilangan nutrien diminimakan oleh struktur tumbuhan yang spesifik, iaitu biojisim akar yang besar, pengumpulan akar dekat permukaan tanah, daun yang sentiasa ada dan kekal lama, serta kulit pokok yang tebal. Walaupun demikian, sebahagian atau semua mekanisma ini akan hilang jika hutan itu diganggu (Jordan, 1985). Adalah semakin jelas bahawa terdapat banyak variasi kitaran nutrien di dalam hutan hujan tropika, dan jika suatu gambaran umum perlu dilakukan, ia mestilah dibuat dengan teliti dan berhati-hati. Kajian yang lebih mendalam dan lengkap perlu dilakukan untuk mengenalpasti bentuk sebenar kitaran nutrien di dalam setiap bentuk hutan hujan. Kesan operasi pembalakan ke atas kitar nutrien juga perlu diberi perhatian (Whitmore, 1985).

2.2.3: Hujan dan Hidrologi

Hutan-hutan di Malaysia memang terkenal dengan kekayaan punca air seperti paya air tawar, mata air, sungai, air terjun dan kolam. Titisan hujan

merupakan punca utama air untuk hutan-hutan di sini. Malaysia menerima jumlah hujan lebih kurang 990 bilion meter padu setahun, dengan 57% daripadanya hilang melalui larian air permukaan dan 6.5% menyerap ke dalam tanah sebagai bekalan air bawah tanah (MSTEM, 1997). Jumlah hujan di seluruh Malaysia lazimnya adalah tinggi, dengan kebanyakan kawasan menerima sekurang-kurangnya 2,000 mm hujan setahun dan sesetengah kawasan menerima sehingga 3,500 mm (Dale, 1959). Walaupun begitu, tidak semua hujan yang turun sampai ke permukaan tanah dan punca air kerana sebahagiannya terperangkap pada daun dan seterusnya disejatkan.

Titisan hujan yang tidak jatuh terus ke permukaan tanah akan mengalir menegak ke bawah, mengalir secara lateral melalui horizon tanah ataupun mengalir di atas permukaan. Aliran permukaan dan subpermukaan akhirnya sampai kepada punca air. Laluan air melalui ekosistem hutan berkaitan dengan banyak faktor. Kekuatan ribut, jenis litupan vegetasi, lapisan sarap hutan, kecuraman, jenis dan kandungan tanah memainkan peranan penting (Bruijnzeel, 1990). Chia (1977) dan Dale (1959) mengenalpasti 5 daerah hujan di Semenanjung Malaysia.

Walaupun jumlah hujan agak seragam sepanjang tahun, terdapat variasi musim yang mana kekuatan dan kekerapan hujan tidak menentu untuk tempat-tempat berbeza (Chia, 1977; Jackson, 1968; Lee, 1965). Hujan yang terbanyak dan paling kerap di Semenanjung Malaysia berlaku di kawasan Pantai Timur yang terletak betul-betul di laluan Monsun Timur Laut. Hujan ribut yang kerap, lebat serta panjang tempohnya adalah salah satu ciri cuaca

Malaysia. Ribut yang kuat dan berpanjangan kadangkala menyebabkan berlakunya banjir yang meluas. Hujan sebanyak 610 mm dalam sehari pernah direkodkan di Semenanjung Malaysia (WRCM, 1971).

Hutan hujan Malaysia yang secara umumnya padat dengan tumbuhan, dapat memintas kuantiti hujan yang tinggi. Anggaran dan ukuran yang dilakukan mendapati kehilangan air hujan dari pintasan untuk hutan hujan tanah pamah di Semenanjung Malaysia secara purata berada di dalam julat 21.8% sehingga 36.0% berbanding titisan hujan di atas kanopi tumbuhan (Brunig, 1971; Kenworthy, 1971; Low, 1972). Kadar pintasan juga berbeza mengikut kekuatan dan tempoh ribut, contohnya di Sungai Lui, Selangor kadarnya di antara 10 hingga 100%, dan di Pasoh, Negeri Sembilan, julatnya antara 0 hingga 100% (Manokaran, 1977).

Kebanyakan air yang sampai ke lantai hutan akan menyerap ke dalam tanah kerana tekstur sarap hutan yang secara relatifnya terbuka dengan lapisan humus mempercepatkan proses ini. Walaupun begitu, air akan bergerak di permukaan tanah apabila titisan hujan yang turun sampai ke tahap keupayan menyerap maksimum di mana paras air dalam tanah sampai ke permukaan (Leigh, 1978a,b, 1982). Air yang tidak dipintas atau hilang melalui proses evapotranspirasi akan hilang melalui aliran mata air. Di dalam kes kawasan hutan tadahan di Semenanjung Malaysia, bukti-bukti yang didapati menunjukkan nisbah larian air berbanding jumlah hujan adalah di antara 40% hingga 50% (Aiken *et al.*, 1982). Nilai ini adalah rendah jika dibandingkan dengan kawasan tadahan separa hutan. Toebes and Goh (1975) melaporkan,

semasa ribut yang kuat dan panjang, larian air adalah sama di kawasan yang mempunyai jenis litupan yang serupa, menyebabkan banjir akan berlaku samada di kawasan tadahan berhutan ataupun tidak.

Tanah runtuh, akibat dari tebing bukit yang terhakis dan sungai yang berarus deras adalah fenomena biasa di Malaysia. Jelasnya, tanah runtuh dapat diperhatikan di kawasan cerun yang ditanam dengan tumbuhan agrikultur dan di cerun yang dibersihkan untuk pertanian atau projek pembangunan. Tanah runtuh yang besar kadangkala berlaku di cerun yang dibersihkan. Maka jelaslah vegetasi dan litupan sarap hutan melindungi cerun sedemikian daripada kesan penuh kebanyakan ribut. Lapisan sarap hutan jika ada boleh mencegah aliran permukaan tanah. Kesan tanah runtuh besar pada tahap pertumbuhan berbeza vegetasi kadangkala dapat dilihat pada sesetengah kawasan berbukit dan pergunungan di Malaysia. Tanah runtuh pada sesetengah bahagian kawasan tropika yang lembab berpunca dari gempa bumi (Garwood, *et al.*, 1979; John, 1986; Simonett, 1967), tetapi ini bukanlah kesnya di Malaysia yang terletak di kawasan yang stabil secara seismik. Sebaliknya, dari bukti yang dikumpul tanah runtuh yang besar adalah akibat dari ribut besar yang melanda sekali sekala (Burgess, 1975; Day, 1980). Contohnya, terdapat tanah runtuh di Banjaran Pantai Timur dan Banjaran Pantai Utama di Semenanjung Malaysia dalam tahun 1926 dan 1971 dan yang terbaru adalah tanah runtuh yang berlaku di Bukit Lanjan, Selangor dan Gunung Raya, Langkawi, Kedah pada tahun 2003 (Heng, 2004). Tanah runtuh di Malaysia adalah fenomena biasa terutamanya ke atas batuan asas granit, di mana struktur regolith batuan ini terdedah kepada pergerakan

gelinciran di cerun (Fitch, 1952). Cerun yang dilapisi jenis batuan tertentu lebih tinggi risikonya untuk tergelincir berbanding batuan lain. Burgess (1975) dan Burgess and Tang (1972) mendapati, ketidakhadiran pokok besar di kawasan cerun hutan bukit di Semenanjung Malaysia menambahkan risiko berulangnya tanah runtuh di kawasan berkenaan.

Kadar pengangkutan sedimen oleh aliran air permukaan telah diukur oleh Peh (1976) dan Leigh (1982a) di Hutan Pasoh, Negeri Sembilan dan di Kepong, Selangor. Sedimen terapung yang diperangkap menggunakan perangkap sedimen, menunjukkan korelasi yang positif dengan ketebalan dan lapisan sarap hutan yang penuh. Kadar pengangkutan sedimen per isipadu air adalah rendah di kedua-dua kawasan tersebut. Di Pasoh, Negeri Sembilan, sedimen terapung merupakan 70.3% dari keseluruhan pengangkutan sedimen. Kandungan sedimen terapung di dalam anak sungai dan sungai yang mengalir dari kawasan tadahan hujan di Malaysia secara relatifnya adalah rendah. Kandungan sedimen terapung yang terdapat di dalam air sungai akan menentukan tahap kejernihan air. Contohnya, satu sungai kecil iaitu Sungai Maram, Pasoh, Negeri Sembilan yang sepanjang lebih kurang 6.5 km didapati mengangkut sedimen terapung pada purata 18.6 mg/liter, iaitu di dalam julat 2.8 mg/liter sehingga 78.0 mg/liter (Leigh, 1978a) menyebabkan air sungai itu lebih jernih. Sebaliknya, anak sungai yang mengalir di kawasan semi bandar yang sedang membangun di Kuala Lumpur membawa sehingga beberapa ribu miligram sedimen per liter (Douglas, 1972; Leigh, 1982a) yang menyebabkan air sungai menjadi keruh.

2.2.4: Kitar Hutan, Dinamik dan Pertumbuhan

Hutan adalah dinamik. Perubahan komposisi dan struktur berlaku secara berterusan dan menyebabkan kesan “domino” iaitu saling berkaitan. Perubahan satu parameter biasanya memberi kesan kepada parameter-parameter yang lain. Perubahan sangatlah kompleks di dalam hutan hujan kerana proses yang menyebabkan ia berlaku beroperasi pada skala temporal dan spatial yang berbeza (Aiken and Leigh, 1992). Perubahan serta merta, bermusim dan evolusi contohnya, boleh berlaku di kawasan yang berkeluasan berbeza, dari beberapa meter persegi sehinggalah kepada jutaan hektar. Dari tumbangnya satu pokok tua sehinggalah kepada letusan gunung berapi yang memusnahkan seluruh kawasan hutan.

Biji benih luruh, pokok tumbuh dan tumbang terjadi di dalam hutan. Peredaran masa menggantikan mereka dengan pertumbuhan atau kitar regenerasi yang biasanya terbahagi kepada tiga fasa, iaitu; fasa luang, fasa pembinaan dan fasa matang. Kitaran fasa-fasa ini berlaku dalam bentuk jaluran mosaik yang berbeza umur, saiz, bentuk dan kandungan spesies. Pokok tumbang dalam fasa luang akan diikuti proses pengkolonian dan pertumbuhan di dalam fasa pembinaan yang seterusnya akan menjadi matang dalam fasa seterusnya. Pokok tumbang akan memulakan lagi kitaran tersebut. Gangguan dalam bentuk pokok tumbang memainkan peranan penting di dalam fungsi komuniti hutan kerana kebanyakan pokok kanopi tumbuh dengan pantas dan mencapai kematangan di kawasan luang (Brokaw, 1985). Gangguan dan tekanan berlaku. Grime (1977) membahagikan tumbuhan mengikut strategi yang mereka gunakan untuk tumbuh;

1. Tumbuhan produktif: tumbuh di dalam fasa matang dan mereka menyukai keadaan yang tidak terganggu di mana mereka mempunyai kelebihan kompetitif untuk mengoptimalkan perolehan sumber.
2. Tumbuhan yang berterusan tidak produktif: tumbuhan jenis bawahan yang tumbuh perlahan dan tahan tekanan kekurangan sumber.
3. Tumbuhan terganggu kronik: Tumbuhan ruderal yang tumbuh dengan pantas, jangka hayat pendek dan menghasilkan biji benih yang banyak dan cepat.

Walau bagaimanapun, mengikut Sagar *et al.* (2003), jumlah pokok, indeks kekayaan spesies, keseragaman dan kepelbagaian berkurangan dengan gangguan. Luang berbeza saiz dan bentuk, bermula dari bukaan yang kecil akibat dari dahan reput yang patah sehinggalah kemusnahan pokok yang bersaiz besar. Saiz purata luang dan peratusan mereka berbeza (Brokaw, 1985). Dua punca umum pembentukan luang kecil adalah kematian pokok individu dan panahan petir selain dari umur yang tua. Pereputan (serangan kulat dan anai-anai) dan penyakit adalah juga punca biasa kematian pokok. Begitupun, banyaknya epifit yang tumbuh boleh juga menjadi punca kematian pokok (Deshmukh, 1986). Di Sarawak, satu punca unik mortaliti pokok dilaporkan oleh Anderson (1964), di mana sejumlah besar pokok Meranti (*Shorea albida*) di dalam hutan paya gambut mati diserang ulat daun dalam tahun 1940an dan 1950an. Sehingga 12,140 hektar hutan dijangkiti. Selain daripada itu, kilat dan petir berlaku hampir setiap saat. Banyak pokok dipanah petir secara individu atau berkumpulan (Anderson, 1964; Brunig, 1964; Johns, 1986). Di dalam kebanyakan hutan hujan, petir dijangka menjadi punca utama mortaliti pokok. Di dalam hutan paya gambut *Shorea albida* di Sarawak,

panahan petir tunggal membunuh banyak pokok dan menyebabkan terbentuknya luang yang besar. Anderson (1964) melaporkan kematian 70 pokok yang membentuk luang seluas 0.61 ha akibat panahan petir.

Terdapat juga faktor lain yang boleh membentuk luang kecil atau besar. Hentaman angin, puting beliung, tanah runtuh dan aktiviti gunung berapi adalah punca umum pembentukan luang yang besar (Dittus, 1985). Gangguan akibat hentaman angin tidak keseluruhannya rawak kerana ribut perolakan wujud lebih kerap di sesetengah bahagian Semenanjung Malaysia berbanding kawasan lain. Walaupun begitu, di Malaysia, kemusnahan akibat ribut taufan jarang berlaku tetapi keadaan ini boleh berlaku dari semasa ke semasa di tempat lain hutan Malesia. Di dalam banyak kawasan di hutan Malesia, luang hutan adalah berkaitan dengan aktiviti gunung berapi dan tanah runtuh akibat pergerakan kerak bumi (John, 1986). Luang akibat sedemikian tidak wujud di Malaysia, tetapi tanah runtuh akibat hujan lebat adalah perkara biasa di kawasan berbukit dan pergunungan (Burgess, 1975; Day, 1980) di Malaysia.

Keadaan di bawah luang dan kanopi adalah berbeza. Secara umumnya, luang dicirikan oleh keadaan cahaya yang lebih terik dan berpanjangan, suhu tanah dan udara yang lebih tinggi, kelembapan yang rendah, kadar evaporasi permukaan tanah yang lebih tinggi, kekurangan nutrien kerana proses pereputan bahan, dan berkurangnya persaingan oleh akar. Luang itu sendiri adalah kompleks, dan terdapat bukti kekayaan spesies pokok adalah berkaitan dengan faktor keheterogenan (Brandani *et al.*, 1988; Orians, 1982).

Saiz ruang membezakan tempoh masa dan jumlah cahaya yang diterima. Anak benih yang sedia ada sebelum ruang terbentuk akan bertumbuh, jika ia boleh menghadapi perubahan cuaca mikro yang baru. Pengkelasan yang jelas dapat dibuat bagi spesies yang berjaya di kawasan ruang, iaitu samada ianya tumbuhan kawasan teduh ('light tolerance') atau tumbuhan yang menyukai cahaya ('light demanding') (Whitmore, 1990). Jenis yang pertama tumbuh perlahan dan membentuk isi pokok yang padat dan gelap, sementara yang kedua (kebanyakannya spesies perintis) tumbuh pantas dan membentuk isi pokok yang kurang padat dan lebih cerah (Whitmore, 1984).

Terdapat juga spesies tumbuhan dan haiwan lain yang bergantung kepada ruang untuk berjaya contohnya, palma memanjat, liana, herba, dan pokok herba memanjat dan spesies-spesies haiwan seperti arthropod, burung, katak dan kodok (Brokaw, 1985; Mabberley, 1983). Mabberley (1994) melaporkan bahawa badak Sumatera (*Dicerorhinus sumatrensis*), mencari makanan secara selektif di kawasan berluang kecil, begitu juga babi hutan yang mengorek tanah dan mencabut anak benih. Satu kajian yang dilakukan oleh Levey (1988) terhadap burung dengan pokok berbuah di 13 kawasan ruang dan tertutup selama 1 tahun di hutan La Selva, Costa Rica, telah mendapati 40% burung dan 30% spesies tumbuhan berbuah ditemui lebih kerap di kawasan ruang berbanding hanya 5% burung dan tiada tumbuhan berbuah di kawasan tertutup.

Kejayaan spesies di kawasan ruang ditentukan oleh beberapa faktor, tetapi dua faktor yang paling utama adalah kehadiran biji benih dan sejauh mana

keberkesanan kaedah sebarannya. Terdapat banyak kajian di hutan tropika yang menunjukkan biji benih tumbuhan hutan disebarkan oleh haiwan dan angin jauh dari tempat asalnya sementara spesies-spesies perintis pula mempunyai biji benih yang dorman sehingga berbulan atau bertahun lamanya. Sedangkan, bagi kebanyakan spesies dipterokarpa (spesies balak), benih akan bercambah selepas beberapa hari atau langsung tidak bercambah. Tidak seperti kebanyakan spesies pokok hutan hujan yang lain, biji benih dipterokarpa yang biasanya berat tidak disebarkan oleh angin atau haiwan, dan biasanya haiwan-haiwan mendapati biji benih dipterokarpa tidak boleh dimakan (Ashton, 1969). Bukti-bukti yang dikumpulkan menunjukkan dipterokarpa dan banyak spesies tumbuhan hutan lain pupus selama-lamanya apabila keseluruhan sesuatu kawasan hutan yang luas dibersihkan (Unesco, 1978).

Pertumbuhan dan produktiviti maksima berlaku ketika fasa pembinaan semasa kitar hutan berlaku, bukan semasa fasa matang (Whitmore, 1984). Kadar masa sesuatu spesies untuk matang atau mencapai saiz boleh dagang, menjadi minat pengurus hutan. Maklumat sedemikian adalah terhad bagi spesies-spesies hutan hujan berbanding spesies-spesies di kawasan temperat. Cincin pertumbuhan di batang pokok jika ada, tidak jelas untuk penganggaran umur pokok (Unesco, 1978). Walaupun begitu, terdapat beberapa maklumat pertumbuhan pokok di Malaysia. Salah satu hutan Malaysia (Hutan ribut Kelantan) diketahui umur sebenarnya. Di sini, secara purata biji benih mengambil masa di antara 70 sehingga 80 tahun untuk mencapai ukurlilit 1.2 meter. Ukuran-ukuran yang dijalankan di negeri-negeri

Semenanjung Malaysia selama 14 tahun mendapati, tempoh masa untuk mencapai saiz ukurlilit 1.2 meter adalah 38 tahun untuk pokok kapur (*Dryobalanops aromatica*), 63 tahun untuk merbau (*Intsia palembanica*) dan 118 tahun untuk resak (*Vatica sp.*) (Edwards, 1930).

Manusia juga kadangkala bergantung kepada fasa-fasa kitar hutan. Luang adalah tempat kegemaran untuk memburu kerana kepadatan tumbuhan di kawasan-kawasan ini menarik minat binatang seperti rusa dan babi hutan untuk meragut dan mengorek. Bekalan daging binatang-binatang ini menjadi sumber protein utama penduduk tempatan dan orang asli (Whitmore, 1990). Walaupun pada fasa matang produktiviti menjadi perlahan, ia mengandungi spesies dan bahan yang melengkapkan statusnya untuk dipanggil hutan hujan primer. Inilah jenis hutan yang sangat disukai oleh pemburu, petani pertanian pindah, pembalok dan pemuliharaan. Oleh itu, pengetahuan mengenai kitar hutan adalah penting untuk memahami ekologi hutan secara keseluruhan agar hutan-hutan yang masih ada boleh diurus dengan berkesan dan baik untuk tujuan pemuliharaan dan ekonomi masa hadapan.

BAB 3.0: PERSEKITARAN FIZIKAL TAPAK KAJIAN

3.1: PENDAHULUAN

Persekitaran fizikal adalah komponen penting yang menentukan keupayaan atau kejayaan sesuatu tumbuhan untuk hidup dan bersaing. Persekitaran fizikal yang optimum adalah berbeza untuk setiap spesies organisma. Pada kebiasaannya organisma akan mengadaptasi kepada persekitaran di mana ia tinggal (flora) atau berpindah ke tempat lain (fauna) bagi mendapatkan tempat tinggal yang terbaik. Ada spesies yang sesuai hidup di kawasan teduh, contohnya paku pakis (Piggott, 1988) tetapi ada juga spesies lain paku pakis yang menyukai habitat yang terdedah kepada terik matahari. Dengan erti kata lain, setiap spesies mempunyai keadaan fizikal optimum yang berbeza.

Ciri terpenting cuaca tropika adalah kepanasan yang berterusan, suhu tinggi dan ketiadaan keadaan sejuk beku (Whitmore, 1985). Bekalan air yang tetap juga adalah kunci kehidupan di kawasan tropika. Banyak spesies tumbuhan dan haiwan tidak boleh hidup apabila menghadapi kekurangan air yang keterlaluan. Oleh itu, kajian tentang faktor fizikal, contohnya bekalan air seperti yang dilakukan oleh Stokstad (2005) di hutan Tropika Amazon, mempunyai kesan yang menarik untuk dikaji dan diberi perhatian.

Seperti Malaysia yang mempunyai cuaca yang panas dan lembab, Pulau Pinang di mana kajian ini dilakukan juga mengalami cuaca yang sama. Jumlah hujan tahunan yang diterima adalah tinggi tetapi pada setiap musim variasi jumlah hujan adalah tidak menentu. Secara umumnya, cuaca Semenanjung Malaysia dipengaruhi oleh monsun Timuran dan Barat Daya. Hujan tahunan Semenanjung Malaysia lebih kurang 2,500 mm di mana

kebanyakannya turun ketika monsun Barat Daya pada bulan Oktober sehingga Februari (MSTEM, 1997). Suhu purata tahunan Semenanjung Malaysia adalah 27 °C dengan julat harian setinggi 9 °C. Sementara itu kelembapan relatif juga adalah tinggi, iaitu di antara 85-95%, terutamanya di kawasan pinggir pantai.

Walaupun begitu, perubahan cuaca di seluruh dunia juga memberi kesan kepada cuaca di Malaysia amnya dan Pulau Pinang khususnya. Selepas Al-Nino 1997-98, yang menyebabkan pemanasan global, kebanyakan pertumbuhan diameter pokok berkurangan atau tidak berubah pada waktu tersebut (Aiba and Kitayama, 2002). Secara teori perubahan cuaca akan mempengaruhi turun naik suhu dan jumlah hujan yang turun di Malaysia. Pengurangan litupan pokok ataupun penukaran kepada jenis tumbuhan rendah akan mempengaruhi kenaikan suhu. Di Malaysia, purata kenaikan di antara 0.5 °C hingga 0.7 °C telah dialami akibat dari fenomena Al-Nino ini (MSTEM, 1997). Kenaikan suhu menyebabkan banyak spesies tumbuhan berkayu mempunyai pertumbuhan yang berkurangan seperti yang berlaku di hutan Pasoh, di mana 58% hingga 95% spesies menunjukkan kadar pertumbuhan yang berkurangan (Butler, 2007). Perubahan di dalam suhu dan hujan jika berterusan, akan memberi kesan kepada kandungan flora dan fauna terutamanya kepada spesies yang sensitif terhadap sedikit perbezaan yang berlaku, seperti tumbuh-tumbuhan kawasan tinggi. Oleh itu kajian tentang hubungkait faktor persekitaran fizikal dengan flora dan fauna adalah bidang kajian yang penting untuk diberi perhatian. Osada *et al.* (2002) mendapati masa di mana daun tumbuhan mula meluruh adalah berkorelasi

positif dengan keamatan cahaya bersih, nilai maksimum dan minimum suhu, tetapi berkorelasi negatif dengan kelembapan bandingan bulan yang baru lalu. Kebanyakan pokok kanopi utama hutan tropika pula akan rosak atau dimusnahkan jika kemarau melebihi tempoh 2 tahun (Stokstad, 2005).

Sifat fizikal tanah adalah bahagian penilaian kualiti tanah yang penting dan didapati akan mempengaruhi fungsi tanah di dalam sesuatu ekosistem kerana ciri fizikal tanah tidak mudah berubah (Karlen and Cambardella, 1996). Terdapat pelbagai warna dan rupa tanah. Warna tanah dapat ditentukan dengan membandingkannya dengan carta warna Munsell. Warna dapat menentukan maklumat kualitatif mengenai status terkini tahap kelembapan tanah. Warna tanah yang terang menunjukkan tanah tersebut mempunyai sistem saluran yang baik dan mempunyai kandungan oksigen yang tinggi (Brady and Weil, 1999).

Pengetahuan tekstur tanah adalah penting untuk menguruskan tanah dengan cekap. Tekstur tanah tidak mudah terdedah kepada perubahan dan ia dianggap sebagai ciri asas untuk tanah. Mengikut pengelasan oleh Jabatan Pertanian Amerika Syarikat, tanah terbahagi kepada 4 jenis partikel yang utama, iaitu liat (< 0.002 mm), kelodak ($0.002 - 0.05$ mm), pasir ($0.05 - 2.0$ mm) dan kelikir (> 2.0 mm) (Brady and Weil, 1999). Pengelasan tanah bergantung kepada peratusan partikel-partikel ini.

Selain daripada tekstur tanah, satu lagi nilai fizikal tanah yang penting adalah pH. Nilai pH adalah perlu bagi memahami proses kimia dalam tanah seperti

penyejatan, pergerakan, tindakbalas kimia dan jenis tumbuhan yang dapat tumbuh. Nilai pH juga boleh digunakan untuk menentukan kehadiran nutrien tanah untuk tumbuhan. Keasidan tinggi contohnya, merupakan rangsangan negatif terhadap keasidan (McBride, 1994). Tanah di Pulau Pinang terbahagi kepada 2 kumpulan asas. Aluvial pantai adalah jenis tanah yang didapati di kawasan landai pada ketinggian tidak melebihi 10 meter dari paras laut. Jenis kedua adalah tanah curam, biasanya dengan kecerunan melebihi 25 darjah dan ketinggian melebihi 100 meter. Jenis yang pertama merangkumi sebahagian besar Seberang Perai sementara jenis yang kedua merangkumi sebahagian besar Pulau Pinang (Robbins and Wyatt-Smith, 1964).

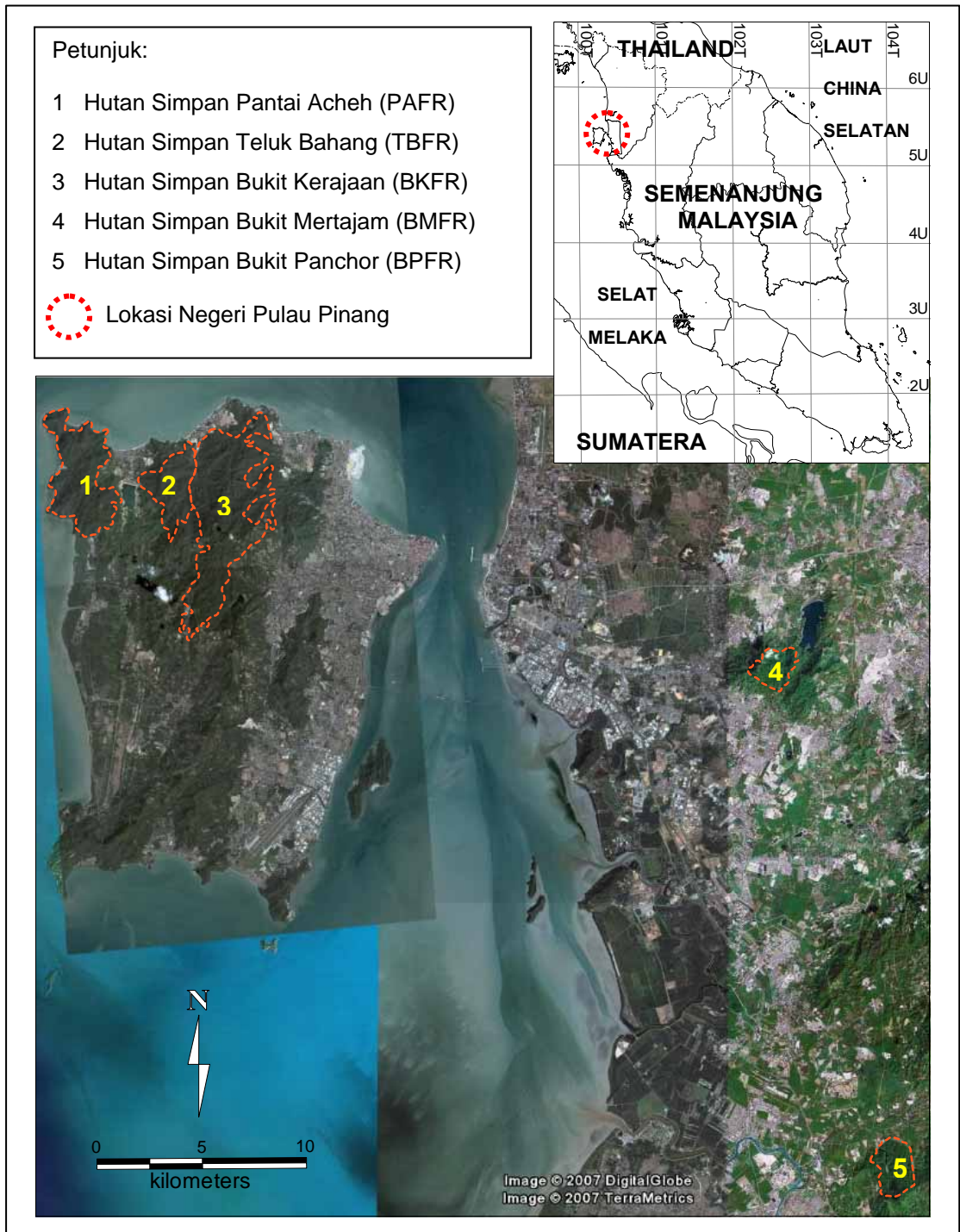
Hampir separuh permukaan tanah di Malaysia adalah dari jenis granit yang berasal dari era Triassik. Jenis tanah di kawasan barat semenanjung adalah dataran pantai sedimentasi alluvial sementara di timur pula adalah kawasan tanah pamah rendah berbukit-bukau (MSTEM, 1997). Secara geologi, formasi batuan granit adalah yang biasa ditemui di Pulau Pinang, yang merupakan sambungan dari formasi granit di Kulim, Kedah. Kehadiran batuan jenis ini menunjukkan kemampuan tanah untuk berada di dalam keadaan yang stabil daripada hakisan oleh air. Walaupun begitu, keadaan ini menyebabkan pembentukan tanah di Pulau Pinang menjadi perlahan, menyebabkan tanah tidak tebal (Yahya, 2004).

3.2: BAHAN DAN KAEDAH

Kedudukan enam plot kajian adalah seperti yang ditunjukkan di dalam peta kedudukan Hutan Simpanan Negeri Pulau Pinang (Rajah 3.1). Lokasi (latitud dan longitud) diberikan di dalam Jadual 5.1 (Bab 5). Kajian flora yang menyeluruh dilakukan di tempat persampelan utama PKUTB. Plot kajian ini terletak di Hutan Simpan Teluk Bahang yang bersempadan dengan persisiran pantai di utara dan Hutan Bukit Bendera di timur, merangkumi 10,000 meter persegi (100 x 100 meter) atau satu ha. Keenam-enam plot yang lain bersaiz 20 x 20 meter. Oleh itu, pengutipan data suhu dan kelembapan kawasan terbuka dan tertutup tidak dilakukan memandangkan saiz plot yang kecil.

3.2.1: Bacaan Suhu dan Kelembapan

Bacaan suhu dan kelembapan direkodkan dengan menggunakan peralatan HOBO H8 Pro series Logger keluaran tahun 2002. Pengukuran data dilakukan setiap bulan selama 12 bulan sepanjang tahun 2003, bermula dari Januari sehingga Disember. Sebelum pengukuran suhu dan kelembapan relatif dilakukan, hari tersebut dipastikan tiada mendung atau litupan awan yang melebihi 10% di langit. Data yang direkodkan kemudiannya dimuat turun ke komputer dengan menggunakan perisian Boxcar 3.7 dari Onset Computer Corporation, USA. Untuk PKUTB, bacaan dikutip dari 6 replikat bagi kawasan terbuka (luang) dan kanopi untuk bacaan suhu dan kelembapan bandingan.



Rajah 3. 1: Peta menunjukkan negeri Pulau Pinang dan kedudukan hutan simpan kekal utama negeri di mana kajian dilakukan. Imej satelit dipetik dari Google earth, Image @ 2007 DigitalGlobe.

3.2.2: Keamatan Cahaya (LUX)

Keamatan cahaya plot kajian diukur dengan menggunakan Lux meter. Keamatan cahaya setiap plot kajian bandingan dilakukan pada jam 1200H. Untuk plot kajian utama PKUTB, keamatan cahaya diukur setiap dua jam, bermula dari jam 0800 H hingga jam 1800 H, untuk mendapatkan corak keamatan cahaya harian mengikut bulan. Data cahaya kawasan terbuka dan tertutup juga direkodkan bagi PKUTB untuk mendapatkan keamatan cahaya penuh dan keamatan cahaya di bawah kanopi hutan pada satu hari yang terang. Bacaan cahaya tidak dilakukan jika litupan awan pada hari persampelan melebihi 10 peratus.

3.2.3: Tanah

3.2.3.1: pH Tanah

Penentuan pH tanah dilakukan dengan mengutip sampel tanah dan kemudian, sebanyak 20 mg sampel tanah kering dimasukkan ke dalam bikar 100 ml. Sebanyak 50 ml air suling ditambah ke dalam bikar dan dikacau sehingga rata selama 10 minit. pH ampaian ditentukan dengan menggunakan elektrod penentuan pH dengan memasukkannya ke dalam ampaian yang terhasil. (Meter pH perlu dipiawaikan dengan larutan tampan pada pH tertentu yang telah ditetapkan antara pH 4.0 dan 7.0). Purata bacaan direkodkan.

3.2.3.2: Kandungan Organik Tanah

Penentuan kandungan organik tanah adalah berdasarkan kaedah yang diberikan oleh Brady (1986). Sampel tanah kering yang ditentukan jisimnya dibakar pada suhu 105 °C selama 30 minit di dalam makmal sehingga semua

bahan organik di dalamnya terbakar. Kemudian, ia ditimbang semula untuk mendapatkan jisim bahan organik di dalamnya. Tiga kedalaman tanah yang dikaji adalah 0 hingga 15 cm, 15 hingga 30 cm dan 30 hingga 45 cm.

3.2.3.3: Tekstur Tanah

Tekstur tanah boleh dihuraikan berdasarkan tiga pisahan utama tanah iaitu kelodak, pasir dan liat. Peratusan setiap pisahan tanah ini ditentukan melalui analisis saiz butiran. Kaedah yang digunakan adalah berdasarkan Bouyucos (1962). Nilai peratusan liat, pasir dan kelodak yang diperolehi dibandingkan dengan Carta segitiga kelas tekstur tanah (The Soil textural classification triangle) oleh Brady (1986).

3.2.3.4: Kecerunan Tanah

Kecerunan tanah ditentukan dengan menggunakan kaedah seperti mengukur ketinggian pokok iaitu dengan menggunakan prinsip trigonometri (Mar Iman (1998). Penganggaran sudut kecerunan dengan mudah boleh diperolehi merujuk kepada jadual sifir kalkulus menggunakan formula trigonometri berikut:

$$\text{Tinggi tegak (X)} = \text{Jarak mendatar (Y)} (\tan \alpha)$$

3.3: KEPUTUSAN

3.3.1: Suhu

Jadual 3.1 menunjukkan purata suhu untuk plot PKUTB, bagi data yang dikutip selama 24 jam berterusan. Suhu purata tertinggi untuk bukaan hutan (luang) adalah 28.72°C dan suhu purata terendah adalah 24.43°C . Julat bacaan suhu harian adalah 3.5 hingga 4.5 dan tidak menentu mengikut bulan. Suhu adalah tertinggi di sekitar jam 1400 hingga 1500 H dan terendah di sekitar jam 0200 hingga 0400 H seperti ditunjukkan oleh Jadual 3.2 dan Rajah 3.3. Suhu purata bulanan untuk tempoh dua belas bulan ditunjukkan oleh Jadual 3.3 di mana ia tidak menunjukkan satu corak yang tetap. Ujian yang dilakukan bagi PKUTB tidak menunjukkan perbezaan suhu purata yang signifikan di antara kawasan terbuka dan tertutup (ujian-t = 0.186, darjah kebebasan (df) = 11, $p > 0.05$).

Perbandingan suhu purata yang dilakukan di antara plot-plot kajian bandingan ditunjukkan di dalam Jadual 3.4. Plot BKFR mempunyai purata suhu terendah (27.58°C) dan berbeza secara signifikan dengan semua plot yang lain pada aras keyakinan 95%. Suhu purata plot-plot lain tidak menunjukkan perbezaan yang ketara. Walaupun begitu suhu purata tertinggi adalah bagi plot BMFR (28.8°C).

Jadual 3. 1: Suhu purata kawasan terbuka (luang) dan tertutup (kanopi) di PKUTB.

Parameter	Suhu Purata (°C)	S.P	Minima	Maksima
Luang 1	24.43	0.70	23.24	25.56
Luang 2	25.45	1.61	24.01	31.52
Luang 3	28.73	1.37	25.95	31.12
Luang 4	26.49	2.41	23.24	31.93
Luang 5	26.76	1.50	24.79	29.50
Luang 6	28.08	2.15	24.91	32.17
Kanopi 1	25.53	1.60	23.24	28.70
Kanopi 2	25.44	1.69	23.63	30.71
Kanopi 3	27.79	2.30	23.63	30.71
Kanopi 4	26.52	2.28	23.24	31.12
Kanopi 5	26.76	1.34	24.79	29.10
Kanopi 6	27.06	2.79	23.24	32.34

Kekunci:

Purata = Suhu purata harian untuk setiap bulan

Maksima = Suhu maksima harian untuk setiap bulan

Minima = Suhu minima harian untuk setiap bulan

S. P = Sisihan Piawai

Jadual 3. 2: Bacaan suhu ($^{\circ}\text{C}$) purata 24 jam di PKUTB.

Masa (H)	Purata ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Min ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Mak ($^{\circ}\text{C}$)	S. P	Julat
100	25.92	25.70	26.10	0.15	0.40
200	25.62	25.00	26.10	0.33	1.10
300	25.35	24.90	25.80	0.32	0.90
400	25.59	25.10	26.00	0.30	0.90
500	25.87	25.40	26.10	0.21	0.70
600	26.00	25.70	26.20	0.15	0.50
700	26.07	25.80	26.40	0.16	0.60
800	26.13	25.80	26.50	0.27	0.70
900	26.46	26.00	27.40	0.40	1.40
1000	26.98	26.50	27.70	0.45	1.20
1100	27.55	27.00	28.40	0.45	1.40
1200	28.15	27.80	28.90	0.32	1.10
1300	28.50	28.10	29.10	0.29	1.00
1400	28.87	28.40	29.30	0.29	0.90
1500	29.18	28.60	29.50	0.26	0.90
1600	29.07	28.60	29.50	0.25	0.90
1700	28.72	27.90	29.20	0.43	1.30
1800	28.34	27.40	29.10	0.53	1.70
1900	27.99	26.80	28.80	0.60	2.00
2000	27.47	26.20	28.20	0.66	2.00
2100	27.26	26.00	27.90	0.64	1.90
2200	26.84	26.00	27.40	0.41	1.40
2300	26.42	26.00	26.80	0.24	0.80
2400	26.13	25.90	26.40	0.14	0.50

Kekunci:

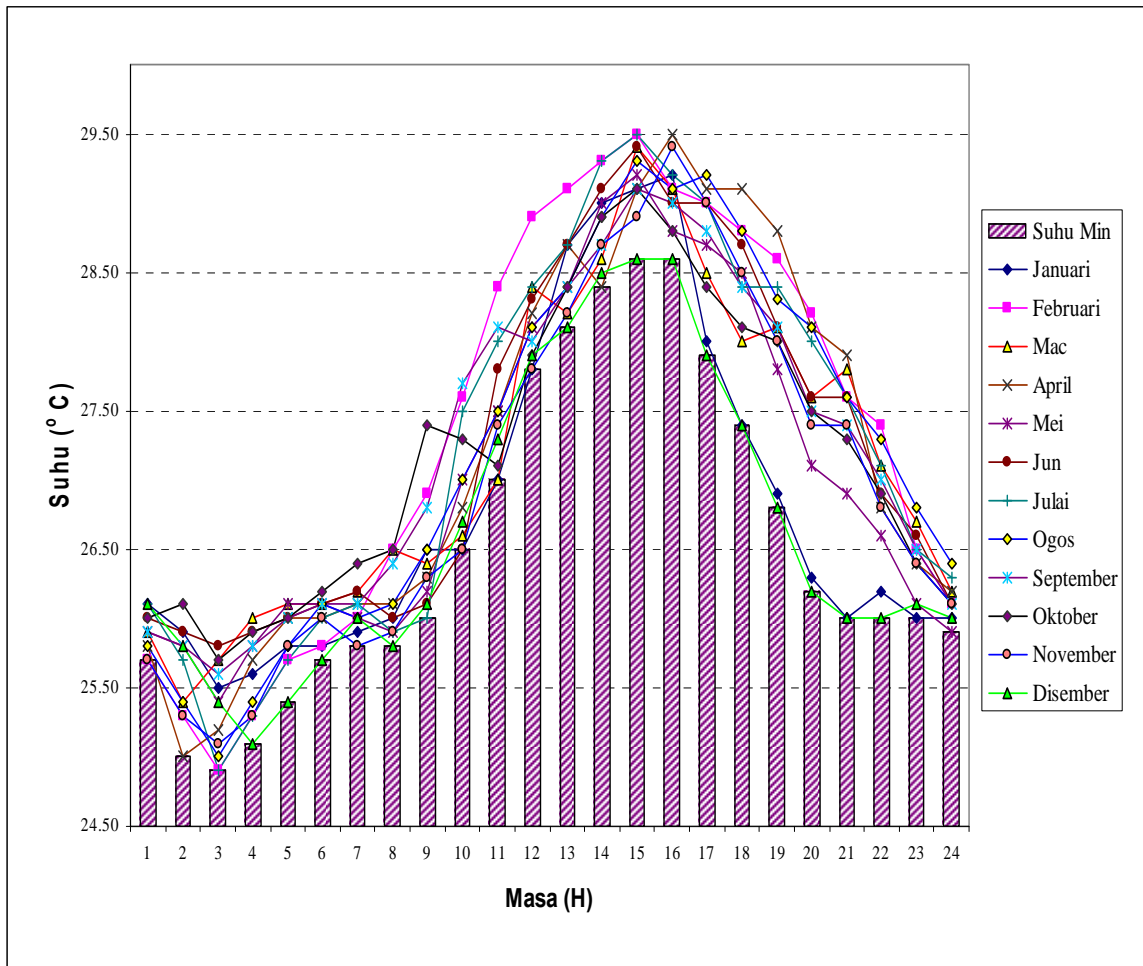
Purata = Suhu purata dalam $^{\circ}\text{C}$ pada masa tertentu

Suhu Min = Suhu minima pada masa tertentu

Suhu Mak = Suhu maksima pada masa tertentu

Julat = Suhu minima ditolak dari suhu maksima

S.P = Sisihan Piawai



Rajah 3. 2: Suhu bulanan di PKUTB untuk tempoh 24 jam. (Perekodan dilakukan pada hari yang tiada litupan awan, mendung atau hujan, jika ada litupan awan, ia tidak melebihi 10 peratus)

Jadual 3. 3: Bacaan suhu ($^{\circ}\text{C}$) purata bulanan di PKUTB.

Bulan	Purata ($^{\circ}\text{C}$)	Max ($^{\circ}\text{C}$)	Min ($^{\circ}\text{C}$)	Julat
Januari	26.80	29.20	25.50	3.70
Februari	27.34	29.50	24.90	4.60
Mac	27.15	29.40	25.40	4.00
April	27.20	29.50	25.00	4.50
Mei	27.03	29.20	25.40	3.80
Jun	27.23	29.40	25.80	3.60
Julai	27.23	29.50	24.90	4.60
Ogos	27.20	29.30	25.00	4.30
September	27.22	29.10	25.60	3.50
Oktober	27.18	29.10	25.70	3.40
November	26.99	29.40	25.10	4.30
Disember	26.65	28.60	25.10	3.50

Kekunci:

Max = Suhu maksima harian

Min = Suhu minima harian.

Jadual 3. 4: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan suhu purata di antara plot-plot kajian bandingan pada aras keyakinan 95%. Berdasarkan nilai sisihan piawai terkumpul. Diekstrak dari MINITAB 14.1(2002).

Plot	N	Purata	S.P	
BKFR	12	27.575	0.449	---+-----+-----+-----+----- (---*---)
BMFR	12	28.883	0.441	(---*---)
BPBKT	12	28.625	0.311	(---*---)
BPPYA	12	28.425	0.372	(---*---)
PAFR	12	28.750	0.353	(---*---)
PKUTB	12	28.167	0.363	(---*---)
TBFR	12	28.000	0.433	(---*---)
				---+-----+-----+-----+----- 27.50 28.00 28.50 29.00

Sisihan piawai terkumpul = 0.392

Kekunci:

N = Bilangan ulangan bacaan

S. P = Sisihan Piawai

BKFR = Hutan Simpan Bukit Kerajaan

BMFR = Hutan Simpan Bukit Mertajam

BPBKT = Hutan Simpan Bukit Panchor (Darat)

BPPYA = Hutan Simpan Bukit Panchor (Paya)

PAFR = Hutan Simpan Pantai Acheh (Taman Negara Pantai Acheh)

PKUTB = Plot Kajian Utama di Hutan Simpan Teluk Bahang

TBFR = Hutan Simpan Teluk Bahang

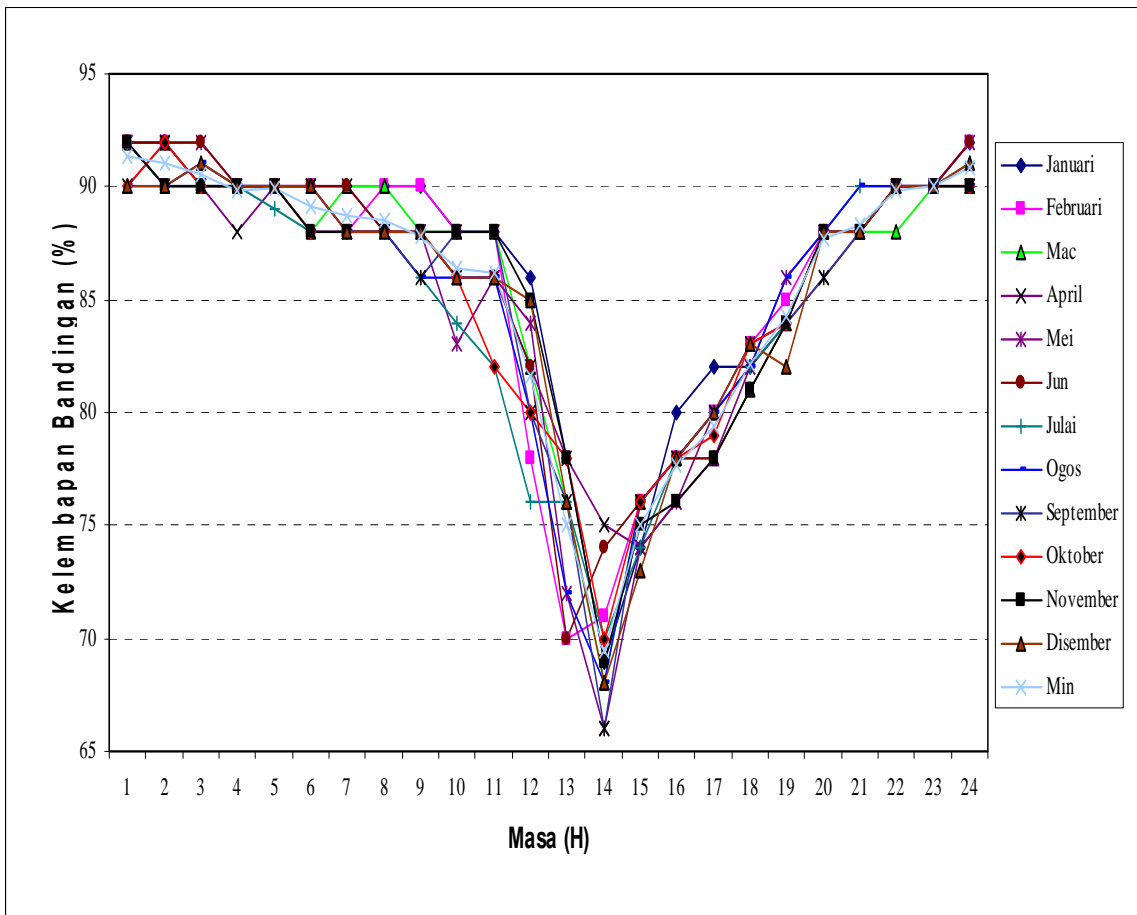
3.3.2: Kelembapan Relatif

Jadual 3.5 menunjukkan peratusan kelembapan bandingan antara kawasan terbuka dan tertutup (jam 1200 H) yang diperolehi bagi plot PKUTB. Kawasan kanopi 2 menunjukkan kelembapan bandingan tertinggi (93.47%) dan kawasan terbuka 6 menunjukkan kelembapan bandingan terendah (73.81%). Kelembapan bandingan adalah tertinggi pada waktu awal pagi dan terendah pada sekitar waktu 1400 hingga 1500 H (Rajah 3.3). Dari keputusan ujian yang dilakukan, didapati tidak terdapat perbezaan yang signifikan bagi kelembapan bandingan di antara kawasan terbuka dan kawasan tertutup (ujian-t =0.258, Pada darjah kebebasan (df=11), $p>0.05$).

Perbandingan di antara plot-plot kajian bandingan yang dilakukan menunjukkan bahawa kelembapan relatif adalah terendah bagi plot BMFR dan tertinggi bagi BKFR pada jam 1200 H. Jadual 3.6 menunjukkan keputusan penuh purata kelembapan relatif yang diperolehi melalui ujian Anova menggunakan kaedah Fisher's.

Jadual 3. 5: Purata Kelembapan Relatif di antara kawasan terbuka (luang) dan tertutup (kanopi) PKUTB pada jam 1200 H.

Parameter	Purata Kelembapan Relatif (%)	Sisihan Piawai	Minima	Maksima
Luang 1	84.11	2.03	80.20	88.30
Luang 2	83.96	6.10	66.00	87.80
Luang 3	79.50	10.74	48.70	90.80
Luang 4	77.60	8.56	59.80	93.70
Luang 5	87.46	6.80	67.00	96.70
Luang 6	73.82	11.26	47.40	85.70
Kanopi 1	75.90	8.55	54.40	86.10
Kanopi 2	83.47	7.75	64.80	88.10
Kanopi 3	77.88	11.34	50.50	90.00
Kanopi 4	81.84	10.94	62.20	99.20
Kanopi 5	87.85	6.92	68.90	99.20
Kanopi 6	72.76	12.25	49.70	87.40



Rajah 3. 3: Kelembapan Relatif (%) di PKUTB untuk tempoh 24 jam. (Bacaan di ambil serentak dengan bacaan suhu)

Jadual 3. 6: Ujian LSD Fisher's menunjukkan bacaan purata kelembapan relatif (%) di antara plot-plot kajian bandingan pada jam 1200 H pada aras keyakinan 95%. Berdasarkan nilai sisihan piawai terkumpul. Diekstrak dari MINITAB 14.1 (2002).

Plot	N	Purata	S. P	-----+-----+-----+-----+
BKFR	12	87.325	3.018	(--*---)
BMFR	12	74.492	3.135	(--*---)
BPBKT	12	78.117	1.808	(--*---)
BPPYA	12	81.025	1.276	(---*--)
PAFR	12	77.450	3.086	(---*--)
PKUTB	12	85.392	2.849	(--*---)
TBFR	12	84.725	2.333	(---*---)
				-----+-----+-----+-----+
				76.0 80.0 84.0 88.0

Sishan piawai terkumpul = 2.589

Kekunci:

N = Bilangan ulangan bacaan

S. P = Sisihan Piawai

BKFR = Hutan Simpan Bukit Kerajaan

BMFR = Hutan Simpan Bukit Mertajam

BPBKT = Hutan Simpan Bukit Panchor (Darat)

BPPYA = Hutan Simpan Bukit Panchor (Paya)

PAFR = Hutan Simpan Pantai Aceh (Taman Negara Pantai Aceh)

PKUTB = Plot Kajian Utama di Hutan Simpan Teluk Bahang

TBFR = Hutan Simpan Teluk Bahang

3.3.3: Korelasi antara kelembapan relatif dan suhu kawasan terbuka (luang) dan tertutup di PKUTB

Dengan menggunakan data suhu dan kelembapan (setiap jam), korelasi antara suhu dan kelembapan relatif diuji menggunakan kaedah Pearson Product Moment Correlation. Jadual 3.7 menunjukkan keputusan penuh ujian korelasi antara kawasan luang dan juga berkanopi. Selain dari satu kawasan terbuka dan dua kawasan tertutup yang tidak mempunyai korelasi signifikan, terdapat pertalian korelasi yang signifikan antara semua kawasan terbabit. Semua perhitungan ditunjukkan di dalam Lampiran 3.1.

Mengikut nilai koefisien Pearson, data yang diperolehi menunjukkan terdapatnya pertalian negatif antara suhu dan kelembapan relatif, iaitu semakin meningkat suhu semakin rendah kelembapan relatif. Untuk kawasan terbuka (luang), pertalian korelasi adalah tidak menentu, dari sederhana kepada pertalian yang kuat. Manakala untuk kawasan tertutup (close canopy), pertalian yang wujud adalah samada kuat atau sangat kuat. Secara keseluruhannya, data yang didapati tidak menunjukkan dengan jelas samada kawasan terbuka atau tertutup memberikan kesan kepada hubungan antara suhu dan kelembapan relatif. Hanya boleh ditekankan bahawa, satu pertalian korelasi yang kuat wujud di kawasan tertutup walaupun dua daripada kawasan yang dikaji tidak menunjukkan pertalian yang signifikan.

Jadual 3. 7: Korelasi antara suhu dan kelembapan relatif (%) di kawasan luang dan kawasan tertutup PKUTB.

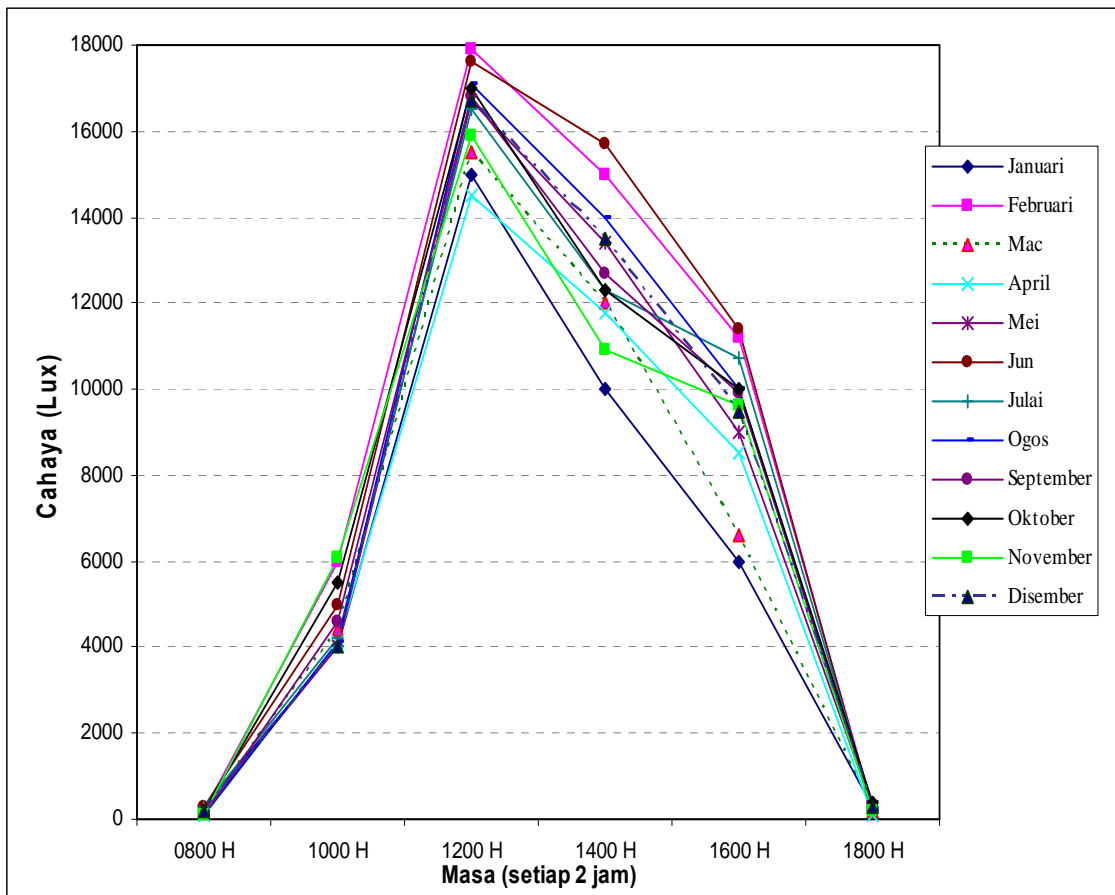
	Aras Signifikasi	Pekali Pearson (R)	Kekuatan Korelasi
Luang 1	TS	TS	TS
Luang 2	Signifikan pada 99%	-0.875	Kuat
Luang 3	Signifikan pada 99%	-0.647	Sederhana
Luang 4	Signifikan pada 99%	-0.565	Sederhana
Luang 5	Signifikan pada 99%	-0.794	Kuat
Luang 6	Signifikan pada 99%	-0.859	Kuat
Kanopi 1	Signifikan pada 99%	-0.839	Kuat
Kanopi 2	Signifikan pada 99%	-0.907	Sangat Kuat
Kanopi 3	TS	TS	TS
Kanopi 4	TS	TS	TS
Kanopi 5	Signifikan pada 99%	-0.763	Kuat
Kanopi 6	Signifikan pada 99%	-0.942	Sangat Kuat

Kekunci: TS = tidak signifikan

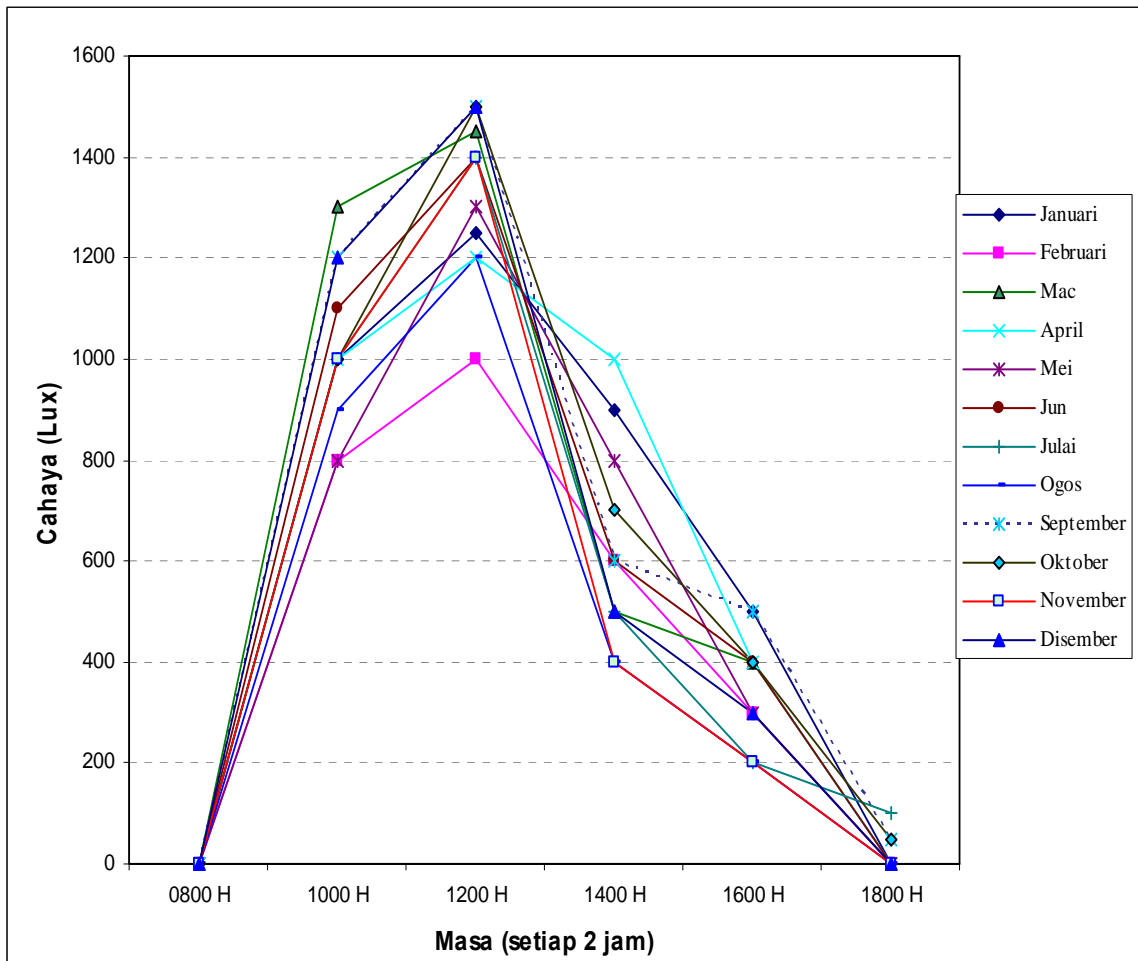
3.3.4: Keamatan Cahaya

Kajian corak keamatan cahaya harian yang dilakukan untuk PKUTB menunjukkan bahawa keamatan cahaya adalah sangat rendah (tidak dikesan) sebelum pukul 0800 H. Keamatan cahaya dikesan mulai jam 0800 H dan mencapai nilai tertinggi pada jam 1400 H, lalu merosot semula apabila hari menjelang petang. Di sekitar jam 1800 H, keamatan cahaya yang dikesan (jika ada) adalah sangat rendah. Rajah 3.4 dan 3.5 menunjukkan turun naik keamatan cahaya mengikut masa, bagi dua kawasan yang berbeza di PKUTB iaitu kawasan berkanopi dan kawasan terbuka (luang). Bagi kedua-dua kawasan, keamatan cahaya adalah tertinggi di sekitar jam 1200 H sehingga 1300 H. Berbanding kawasan kanopi, keamatan cahaya kawasan terbuka masih agak tinggi walaupun setelah melepasi jam 1600 H sedangkan bagi kawasan tertutup keamatan cahaya melepasi masa 1600 H adalah rendah.

Perbandingan keamatan cahaya purata bulanan yang direkodkan di bawah kanopi (kawasan tertutup) menunjukkan keamatan cahaya pada awal pagi, (0800 H) dan petang (1800 H) bagi kebanyakan bulan adalah bernilai sifar. Sementara itu keamatan cahaya kawasan terbuka (luang) pada jam 0800 H juga bernilai sifar, tetapi pada jam 1800 H keamatan cahaya tidak bernilai sifar di mana terdapat tujuh bulan yang menunjukkan bacaan keamatan cahaya melebihi 300 Lux.



Rajah 3. 4: Keamatan cahaya kawasan terbuka (luang) PKUTB setiap dua jam mengikut bulan tahun 2003.



Rajah 3. 5: Keamatan cahaya kawasan berkanopi (tertutup) PKUTB setiap dua jam mengikut bulan tahun 2003.

Ujian t yang dilakukan menunjukkan terdapat perbezaan yang signifikan bagi keamatan cahaya antara kawasan tertutup dan terbuka pada aras keyakinan 95% (Nilai t kiraan (2.39×10^{-14}) adalah lebih kecil dari nilai t jadual = 1.80) pada jam 1200 H. Perbezaan keamatan cahaya pada jam 1800 H adalah signifikan, pada aras keyakinan 95% ($df = 11$), dengan nilai kiraan ujian t (0.00) < nilai t jadual (1.80). Ini menunjukkan bahawa di kawasan berkanopi keamatan cahaya merosot dengan cepat apabila matahari hampir terbenam. Untuk masa-masa yang lain perbezaan keamatan cahaya adalah signifikan pada aras keyakinan 95%. Keputusan ujian-ujian t yang dilakukan adalah seperti Jadual 3.8.

Ujian Kolmorov-Smirnov yang dilakukan menunjukkan taburan data cahaya adalah normal (Lampiran 3.2) untuk semua plot kajian bandingan. Keputusan ujian statistik keamatan cahaya di antara plot kajian bandingan pada jam 1200 H ditunjukkan di dalam Jadual 3.9. Dapat diperhatikan bahawa, purata keamatan cahaya plot BPPYA adalah tertinggi dan paling berbeza berbanding plot-plot lain. Plot BMFR pula mempunyai keamatan cahaya yang rendah dan berbeza dengan semua plot kajian lain kecuali plot PAFR yang mempunyai nilai keamatan cahaya yang sama dengannya.