

**ALGORITMA PENURASAN DATA LIDAR UNTUK PENJANAAN MODEL  
KETINGGIAN DIGITAL BAGI KAWASAN TROPIKA**

**ZAMRI BIN ISMAIL**

**Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi  
syarat penganugerahan ijazah  
Doktor Falsafah (Remote Sensing)**

**Fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah  
Universiti Teknologi Malaysia**

**DISEMBER 2016**



## PENGHARGAAN

Bismillah hirrahman nirrahim...

Alhamdulillah, ku panjatkan setinggi-tinggi kesyukuran ke hadratMu ya Allah, dengan limpah kurnia, rahmat dan izin Mu dapat aku melaksanakan dan menyiapkan penulisan tesis ini. Penulis ingin mengambil kesempatan ini untuk merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada mereka yang terlibat dalam menjayakan penyelidikan kedoktoran ini dari awal sehingga siapnya tesis ini.

Dr Muhammad Zulkarnain bin Abdul Rahman selaku penyelia utama dan Prof. Dr Ibrahim bin Busu (Universiti Malaysia Kelantan) sebagai penyelia bersama tesis ini, yang tidak jemu-jemu memberi bimbingan dan khidmat nasihat sepanjang tempoh penyelidikan ini. Hanya Allah sahaja yang dapat membalasnya.

Penulis ingin merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada Mohd Radhie Mohd Salleh yang banyak membantu dalam kerja-kerja teknikal khususnya pemprosesan data dan lain-lain. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) dan pihak Jurukur Teraju yang telah membantu membekalkan data untuk kajian ini.

Penghargaan juga ditujukan Wan Ibrisam Fikri Wan Ismail dan rakan-rakan di fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah (FGHT) serta sahabat-sahabat yang terus membantu memberi idea dan dorongan sehingga siapnya projek penyelidikan ini. Semoga mendapat ganjaran di dunia dan di akhirat kelak.

## ABSTRAK

Teknik penurasan dan faktor persekitaran adalah antara faktor-faktor utama yang mempengaruhi ketepatan model ketinggian berdigit (DEM) yang terhasil dari data pengesanan dan penentuan jangkauan cahaya (lidar) khususnya bagi kawasan bercerun dan diliputi oleh tumbuhan. Kajian menyeluruh berkaitan penurasan data lidar di kawasan tropika amat terhad serta pembaikan teknik penurasan menggunakan faktor persekitaran adalah amat diperlukan. Kajian ini bertujuan untuk menambah baik teknik penurasan sedia ada seperti morfologi progresif (PM) bagi penghasilan DEM di kawasan yang diliputi oleh tumbuhan tropika. Ujian awal telah dilakukan dengan menguji teknik-teknik PM, rangkaian segitiga tidak sekata mudah suai (ATIN) dan ambang ketinggian dengan tettingkap boleh perluas (ETEW) dengan menggunakan set data lidar kawasan cerun di antara  $0^{\circ}$  hingga  $10^{\circ}$  di kawasan Pekan, Pahang. Hasil ketepatan DEM lidar yang dikira merujuk kepada titik rujukan di bumi bagi kawasan hutan campur mendapati bahawa teknik PM dan ETEW berjaya menghasilkan ketepatan dengan ralat punca min kuasa dua (RMSE) yang kecil iaitu 0.226m (PM) dan 0.192m (ETEW) berbanding teknik ATIN iaitu 0.235m. Ujian seterusnya juga dilakukan untuk kawasan liputan getah yang mempunyai cerun di antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$ . Didapati hasil ketepatan yang diperolehi adalah rendah dengan ralat RMSE 0.660m (PM), 0.699m (ETEW) dan 0.717m (ATIN). Ini menunjukkan parameter cerun telah memberi kesan terhadap ketepatan DEM. Hasil ini juga menunjukkan teknik PM memberikan ketepatan tertinggi. Walau bagaimanapun, nilai cerun dalam teknik PM adalah berdasarkan nilai pemalar dan digunakan pada keseluruhan data lidar. Berbanding dengan teknik penurasan lain, teknik PM menyediakan ruang yang lebih mudah bagi penambahbaikan nilai cerun. Penambahbaikan teknik penurasan PM telah dibuat dengan mengambil kira parameter nilai cerun sebenar yang dinamakan sebagai algoritma *AdapMorf*. Kaedah penurasan *AdapMorf* ini dinilai berdasarkan kecerunan muka bumi dengan nilai ketepatan ralat DEM yang dihasilkan bagi setiap kawasan liputan (hutan campur, getah dan kelapa sawit) yang bercerun di antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$ . Tiga kategori penilaian dilakukan bagi setiap kawasan liputan dan setiap satu kategori mempunyai beberapa siri ujian. Hasil DEM dianalisis menggunakan ralat RMSE dan pengiraan ralat jenis I dan jenis II. Hasil ketepatan terbaik DEM dari *AdapMorf* mengikut jenis kawasan liputan adalah masing-masing 0.650m, 0.520m dan 0.604m untuk hutan campur, getah dan kelapa sawit. Hasil ralat jenis I yang terendah adalah 29.17% (getah), 31.76% (hutan campur) dan 35.13% (kelapa sawit). Bacaan ralat jenis II pula adalah 0.05% (getah), 0.06% (hutan campur) dan 0.21% (kelapa sawit). Merujuk kepada hasil ralat jenis I yang agak tinggi, teknik penurasan *AdapMorf* dipertingkatkan dengan memperkenalkan teknik penurasan *TyMof*. Pengujian telah dilakukan dan hasil ketepatan diperolehi bertambah baik, ralat RMSE masing-masing adalah 0.582m (hutan campur) dan 0.472m (getah) serta ralat jenis I adalah 28.90% (hutan campur) dan 19.29% (getah). Kajian ini mendapati penurasan *AdapMorf* dan *TyMof* mampu untuk menghasilkan DEM dengan nilai ralat yang lebih kecil berbanding dengan teknik sebelumnya bagi kawasan cerun di antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$ . Kesimpulannya, teknik penurasan *AdapMorf* dan *TyMof* ini telah menunjukkan ianya boleh menghasilkan kualiti DEM yang lebih baik serta boleh digunakan di kawasan bercerun dan diliputi tumbuhan di hutan tropika.

## ABSTRACT

Filtering technique and the environmental factors are among the main factors, which affect Digital Elevation Model (DEM) accuracy obtained from the Light Detection and Ranging (LiDAR) data especially for steep area and covered by vegetation. Intensive research of LiDAR data filtering in tropical area is very limited and the improvement of the filtering technique using the environmental factor is very much needed. The purpose of this research is to improve the existing filtering techniques such as Progressive Morphology (PM) for DEM generation in the area covered by tropical vegetation. Initial test has been done by evaluating the filtering techniques such as PM, Adaptive Triangular Irregular Network (ATIN) and Elevation Threshold with Expand Window (ETEW) on the LiDAR data over Pekan, Pahang with slope between  $0^{\circ}$  and  $10^{\circ}$ . LiDAR DEM accuracy that was calculated based on ground reference point in mixed forest area shows that PM and ETEW filtering methods have produced minor RSME errors of 0.226m and 0.192m compared to ATIN with 0.235m. Subsequent test was conducted for rubber area with slope value between  $0^{\circ}$  to  $15^{\circ}$ . The results show low RMSE error of 0.660m, 0.699m and 0.717m for PM, ETEW and ATIN respectively. This shows that the slope parameter has an impact on the accuracy of the DEM. These results also demonstrate that the PM technique provides the highest accuracy. However the slope value in PM technique was based on constant value and applied to the entire LiDAR data. Compared to other filtering techniques, PM techniques provide more convenient way of improving the slope value. Improvement of PM filtering technique has been made by taking into account the actual slope value parameter and the revised method named AdapMorf algorithm. AdapMorf filtering technique was evaluated based on the slope gradient of the earth surface with the accuracy of the DEM error was evaluated for each area (i.e. mixed forest, rubber and oil palm) with slope between  $0^{\circ}$  and  $15^{\circ}$ . Three categories of assessments were carried out for each landcover and each category has a series of tests. DEM results were analyzed using RMSE error and the calculation of Type I and Type II errors. The best DEM's accuracy for AdapMorf by the types of landcover are 0.650m, 0.520m and 0.604m for mixed forests, rubber and oil palm respectively. The lowest results for Type I error are 29.17%, 31.76% and 35.13% for rubber, mixed forest and oil palm respectively. The results for Type II error are 0.05%, 0.06% and 0.21% for rubber, mix forest and oil palm respectively. Due to the Type I error for AdapMorf was relatively high, the filtering technique was improved by introducing TyMof filtering technique. The tests were carried out and the results obtained show improvement in DEM's accuracy with RMSE for rubber and mixed forest are 0.472m and 0.582m respectively. The Type I error for mixed forest and rubber are 28.90% and 19.29% respectively. This study shows that AdapMorf and TyMof filtering techniques were able to generate DEM with error smaller than the previous techniques for area with slope between  $0^{\circ}$  and  $15^{\circ}$ . As a conclusion, AdapMorf and TyMof filtering techniques have shown that it can produce better quality of DEM for steep area and vegetated cover of tropical forest.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKASURAT</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	<b>ii</b>
	<b>DEDIKASI</b>	<b>iii</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	<b>iv</b>
	<b>ABSTRAK</b>	<b>v</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
	<b>KANDUNGAN</b>	<b>vii</b>
	<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>xiv</b>
	<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>xix</b>
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	<b>xxvi</b>
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar Belakang Kajian	1
	1.2 Penyataan Masalah	4
	1.3 Tujuan dan Objektif	8
	1.4 Kawasan Kajian	9
	1.5 Skop Kajian	11
	1.5.1 Sistem LiDAR	11
	1.5.2 Litupan Bumi Tertentu	11
	1.5.3 Teknik Penurasan yang Digunakan	11
	1.5.4 Pembaikan Teknik Penurasan	12
	1.5.5 Limitasi Kajian	12
	1.6 Kepentingan Kajian	12
	1.7 Aliran Bab	13

<b>2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>16</b>
2.1	Teknologi LiDAR	16
2.2	Jenis -Jenis Sistem LiDAR	21
2.2.1	Laser <i>Profiler</i>	21
2.2.2	Pengimbas Laser <i>Small Footprint</i>	23
2.2.3	Pengimbas Laser <i>Large Footprint (Full Waveform)</i>	26
2.3	Kategori Litupan Bumi ( <i>Land Cover</i> ) di Malaysia	29
2.4	Cerun dan Kelas Cerun	34
2.5	Faktor Ketepatan DEM dari Data LiDAR	37
2.6	Teknik Interpolasi Terhadap Ketepatan DEM Data LiDAR	38
2.7	Kajian Ketepatan DEM dari Data LiDAR untuk Faktor Persekitaran– Litupan Bumi dan Kecerunan Permukaan Bumi	44
2.7.1	Litupan Bumi	44
2.7.2	Faktor Ketepatan Kawasan Cerun	49
2.8	Penurasan ( <i>Filtering</i> ) Data LiDAR	53
2.8.1	Teknik Penurasan Berasaskan Cerun ( <i>Slope Based Filter</i> )	54
2.8.2	Teknik Berasaskan TIN	55
2.8.3	Teknik Berasaskan Segmentasi ( <i>Segmentation</i> )	57
2.8.4	Teknik Berasaskan <i>Threshold</i> dan tetingkap (ETEW)	58
2.9	Penurasan Berasaskan Teknik Morfologi	59
2.10	Kepentingan Parameter Tetingkap dan Saiz Sel terhadap Teknik Penurasan	65
2.11	Teknik Penurasan sedia ada Progresif Morfologi (PM dan PMo)	66
2.12	Kesimpulan Kajian Literatur	67
<b>3</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN</b>	<b>70</b>
3.1	Metodologi Umum	70

3.2	Kajian Literatur	72
3.3	Kutipan data LiDAR, Pra-Pemrosesan Data, Pembahagian Kawasan Kajian dan Pengukuran di Lapangan	72
3.3.1	Kutipan Data LiDAR dan Pra-Pemrosesan	72
3.3.1.1	Data <i>Airborne</i> LiDAR kawasan Kajian 1: Daerah Pekan, Pahang	73
3.3.1.2	Data <i>Airborne</i> LiDAR kawasan Kajian 2: Daerah Bentong, Pahang	74
3.3.1.3	Data <i>Airborne</i> LiDAR kawasan Kajian 3: Kawasan Machang, Kelantan	74
3.3.2	Pembahagian Kawasan Mengikut Kategori Hutan dan Litupan	76
3.3.3	Pengukuran Lapangan	81
3.4	Penurasan data LiDAR dan Penilaian Pelbagai Teknik Penurasan serta Mengkaji Kesan Faktor Persekitaran	86
3.4.1	Penurasan dan Penjanaan DEM dan Penilaian Data LiDAR dari Pelbagai Teknik Penurasan	86
3.4.1.1	Penurasan dari Pelbagai Teknik	88
3.4.1.1.1	Penurasan Teknik Morfologi Progresif (PM)	88
3.4.1.1.2	Penurasan Teknik <i>Elevation Threshold with Expanding Window</i> (ETEW)	94
3.4.1.1.3	Penurasan Teknik Adaptive TIN (ATIN) dalam TerraScan	96
3.4.1.1.4	Penurasan Kawasan Litupan di Bentong	98
3.4.1.2	Penjanaan DEM LiDAR	101
3.4.1.3	Pengesahan (verifikasi) dan Penilaian DEM	102
3.4.2	Faktor Persekitaran yang Memberi Kesan kepada Hasil Penurasan	103

3.4.2.1	Penjanaan Peta Cerun Data Ukur di Padang	104
3.4.2.2	Penjanaan DEM dari Penurasan ATIN dan PM	108
3.4.2.3	Penjanaan Kepadatan Kanopi	110
3.5	Pembinaan dan Pembaikan Teknik Morfologi Progresif serta Penjanaan Peta Cerun	112
3.5.1	Pembinaan Teknik Morfologi Progresif (PMo)	114
3.5.2	Penurasan Teknik PMo dan Penjanaan Peta Cerun	123
3.5.3	Pembaikan Teknik PMo dan Menghasilkan teknik <i>AdapMorf</i>	127
3.5.3.1	Asas Teori kepada Teknik <i>Adapmorf</i>	127
3.5.4	Pembaikan Teknik PMo Menghasilkan <i>TyMof</i> Untuk Pengurangan Ralat <i>Type I</i>	131
3.5.5	Penjanaan DEM Data LiDAR dari <i>Adapmorf</i> Menggunakan Resolusi (Saiz Sel) Data LiDAR yang Berbeza	134
3.6	Kaedah Pengesahan dan Penilaian Hasil-Hasil Kajian	134
3.6.1	Kaedah Penilaian Secara Kuantitatif	136
3.6.2	Kaedah Penilaian Kualitatif	141
3.6.3	Jenis Penilaian Mengikut Kaedah Teknik Penilaian	141
<b>4</b>	<b>HASIL DAN PENILAIAN KAJIAN</b>	<b>143</b>
4.1	Pengenalan	143
4.2	Hasil penurasan, DEM dan Analisis Penggunaan Pelbagai Metod Penurasan Sedia ada	144
4.2.1	Hasil Penurasan dan DEM bagi setiap Kawasan Hutan dan Litupan	144
4.2.1.1	Hasil Teknik PM	145
4.2.1.2	Hasil Penurasan ETEW	148
4.2.1.3	Hasil ATIN	150
4.2.2	Perbandingan Hasil Penurasan kawasan litupan Pekan	153



4.2.3	Hasil DEM	154
4.2.4	Hasil Perbandingan Teknik Penurasan	162
4.2.5	Hasil Pengujian Teknik PM, ETEW dan ATIN Kawasan Bentong	165
4.3	Hasil DEM dan Hasil Penilaian Ketepatan -Kesan Faktor Persekitaran Cerun dan Kepadatan Kanopi Terhadap DEM	170
4.3.1	Hasil DEM dan Peta Cerun dari Data Kaedah Ukur di Padang-Tekimetri	170
4.3.2	Hasil DEM dari Penurasan ATIN dan PM	174
4.3.3	Hasil dan Penilaian Ketepatan DEM Mengikut Kelas Cerun	178
4.3.4	Hasil Peta kanopi dan Penilaian Ketepatan DEM Mengikut Peratusan Kepadatan Kanopi	181
4.4	Hasil Penurasan Teknik Morfologi (PMo) dan Analisis Hasil Peta Cerun	188
4.4.1	Hasil Penurasan Teknik Morfologi (PMo) Dalam penghasilan Peta Cerun	189
4.4.2	Hasil Penilaian Ketepatan DEM dari PMo	193
4.5	Hasil dan Penilaian Ketepatan DEM dari Penurasan <i>AdapMorf</i>	195
4.5.1	Hasil dan Penilaian DEM LiDAR dari AdapMorf Kawasan Hutan Campur- Bentong (B1)	197
4.5.1.1	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR daripada AdapMorf (AM) dengan mengambil kira nilai cerun dari PMo sebagai ujian pertama	197
4.5.1.2	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR dari AdapMorf dengan mengambil kira nilai cerun dari nilai ukur tekimetri sebagai ujian pertama	203
4.5.1.3	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR dari AdapMorf dengan mengambil kira nilai cerun dari PMO dan ukur tekimetri sebagai ujian pertama	207
4.5.2	Hasil dan Ujian Penurasan AdapMorf Kawasan Getah- Bentong (B2)	211
4.5.2.1	Hasil dan Analisis Ketepatan DEM	

	<i>AdapMorf</i> dengan Menilai dan mengambilkira nilai cerun dari PMo sebagai ujian pertama	211
4.5.2.1	Hasil dan Penilaian ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> dengan mengambilkira nilai cerun dari nilai ukur di padang (TRB) sebagai ujian pertama	215
4.5.2.3	Hasil ketepatan DEM LiDAR dari <i>Adapmorf</i> dengan mengambilkira nilai cerun dari PMo dan ukur tekimetri sebagai nilai pertama	218
4.5.3	Hasil dan Ujian Penurasan <i>AdapMorf</i> Kawasan Sawit-Machang (M)	221
4.5.3.1	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR daripada <i>AdapMorf</i> dengan mengambilkira nilai cerun dari PMo sebagai ujian pertama (U1)	221
4.5.3.2	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> dengan mengambilkira nilai cerun dari nilai ukur tekimetri sebagai ujian pertama	225
4.5.3.3	Hasil Penilaian ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> dengan mengambilkira nilai cerun dari PMo dan ukur tekimetri sebagai nilai pertama	228
4.6	Hasil dan Analisa <i>TyMof</i> untuk Pengurangan Ralat <i>Type I</i>	230
4.7	Hasil Perbandingan Keupayaan Teknik Penurasan	233
4.8	Hasil Ketepatan DEM dari <i>AdapMorf</i> Menggunakan Resolusi data LiDAR yang berbeza	236
<b>5</b>	<b>PENEMUAN, KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>239</b>
5.1	Pengenalan	239
5.2	Perbincangan dan penemuan	239
5.2.1	Memperbaiki teknik penurasan dengan merujuk kepada faktor persekitaran cerun	240
5.2.2	Membuat Penilaian terhadap teknik yang telah dihasilkan	241

5.3	Sumbangan Kajian	243
5.4	Cadangan	245
5.5	Kesimpulan	246
<b>RUJUKAN</b>		<b>248-271</b>

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Perincian kawasan kajian dan persekitaran persekitaran kawasan litupan	10
2.1	Spesifikasi sistem <i>airbone</i> laser LiDAR	19
2.2	Beberapa sistem pengimbas laser <i>small-footprint</i>	25
2.3	Kategori gunatanah atau litupan bumi	30
2.4	Klasifikasi cerun merujuk kepada potensi pembangunan	35
2.5	Klasifikasi cerun mengikut julat cerun dan maklumat pemberat bagi penilaian tanah runtuh	36
2.6	Skema piawai klasifikasi cerun, Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar Malaysia	36
2.7	Kelas cerun dan nilai cerun	37
2.8	Teknik interpolasi, litupan bumi dan ralat mengikut kajian lepas	41
3.1	Spesifikasi system LiDAR dan data bagi setiap kawasan kajian	75
3.2	Jumlah titik data LiDAR mengikut kawasan	80
3.2	Keluasan kawasan dan jumlah titik rujukan mengikut jenis litupan di Pekan	82
3.4	Keluasan kawasan mengikut jenis litupan-kawasan di Simpang Pelangai, Bentong, Pahang (B1, B2) dan kawasan Sawit di Machang, Kelantan (M).	85
3.5	Parameter-parameter dalam algoritma	

	Morphologi Progresif (PM)	89
3.6	Nilai parameter sel grid untuk teknik PM	92
3.7	Nilai parameter cerun untuk teknik PM Pekan	93
3.8	Parameter-parameter dalam penurasan teknik ETEW	94
3.9	Nilai-nilai Parameter untuk penurasan teknik ETEW di kawasan Pekan	96
3.10	Nilai-nilai Parameter untuk penurasan teknik ATIN Pekan	98
3.11	Nilai parameter untuk teknik PM dan kawasan litupan Bentong	99
3.12	Nilai-nilai parameter untuk penurasan teknik ETEW	100
3.13	Nilai-nilai Parameter untuk penurasan teknik ATIN	100
3.14	Klasifikasi cerun	108
3.15	Kelas dan peratusan kepadatan kanopi	112
3.16	Prosidur dan ringkasan algoritma	119
3.16	Parameter dan nilai parameter	124
3.18	Peratusan TRB berbanding dengan TLB	135
3.19	Pengiraan secara matrik persilangan untuk ralat <i>Type I</i> and <i>Type II</i> dan jumlah ralat	139
3.20	Ujian-ujian dan teknik penilaian	141
4.1a	Hasil penurasan PM (Morph2D) bagi kawasan bakau dan hutan campuran	146
4.1b	Hasil penurasan teknik PM bagi kawasan pakis dan sawit	147
4.2	Nilai ralat (RMSE) terendah bagi setiap litupan bumi daripada teknik PM	148
4.3a	Hasil penurasan ETEW bagi kawasan bakau dan hutan campuran	149

4.3b	Hasil penurasan teknik ETEW bagi kawasan Pakis dan Sawit	149
4.4	Nilai ralat RMSE terendah bagi setiap litupan bumi daripada teknik ETEW	150
4.5a	Hasil penurasan teknik ATIN bagi kawasan bakau dan hutan	151
4.5b	Hasil penurasan teknik ATIN bagi kawasan pakis dan sawit	152
4.6	Nilai RMSE terendah bagi setiap litupan bumi daripada teknik ATIN	152
4.7	Kadar penurasan bagi setiap teknik penurasan	153
4.8	Ralat ketepatan DEM yang terendah bagi setiap litupan bumi mengikut teknik-teknik penurasan	154
4.9	Ketinggian maksimum dan minimum TLB serta nilai cerun permukaan	162
4.10	Parameter dan nilai parameter untuk teknik PM bagi setiap litupan	163
4.11	Parameter dan nilai parameter untuk teknik ETEW	164
4.12	Parameter dan nilai parameter untuk teknik ATIN bagi setiap litupan	165
4.13	Hasil ralat (RMSE) DEM LiDAR bagi kawasan getah menggunakan parameter dari teknik PM, ETEW dan ATIN	165
4.14	Parameter dan nilai parameter teknik PM	166
4.15	Parameter dan nilai parameter teknik ETEW	167
4.16	Parameter dan nilai parameter teknik ATIN	167
4.17	Ralat (RMSE) DEM LiDAR dari teknik PM bagi kawasan getah	168
4.18	Ralat (RMSE) DEM LiDAR dari teknik PM bagi kawasan hutan	169

4.19	Ralat DEM dari Teknik penurasan ATIN	178
4.20	Ralat DEM dari Teknik penurasan PM-Morph2D	179
4.21	Statistik kepadatan kanopi mengikut kelas bagi kawasan getah dari Teknik ATIN	183
4.22	Statistik kepadatan kanopi mengikut kelas bagi hutan dari Teknik ATIN	184
4.23	Statistik kepadatan kanopi mengikut kelas bagi kawasan sawit dari teknik ATIN	184
4.24	Statistik ralat DEM LiDAR mengikut kelas kanopi bagi setiap kawasan menggunakan teknik ATIN	185
4.25	Statistik ralat DEM LiDAR mengikut kelas kanopi bagi setiap kawasan menggunakan teknik PM	186
4.26	Hasil penurasan menggunakan PMo	190
4.27	Jumlah TLB mengikut kelas cerun bagi setiap litupan	193
4.28	TLB dari PMo yang mempunyai nilai kordinat x,y dan z b) TLB dengan gabungan nilai cerun <i>rise</i> dan <i>run</i>	194
4.29	Ketepatan RMSE untuk TLB dari MPo	195
4.30	Ralat ketepatan DEM data LiDAR bagi setiap ujian selepas menggunakan peta cerun yang dijana daripada titik bumi LiDAR menggunakan PMo	201
4.31	Hasil pengiraan secara matrik persilangan untuk ralat <i>Type I</i> dan <i>Type II</i> dan jumlah ralat bagi Ujian 1 (PMoH1)	202
4.32	Ralat ketepatan DEM LiDAR Adapmof menggunakan peta cerun yang dijana daripada ukur tekimetri	206
4.33	Ralat ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> menggunakan cerun dari tekimetri dan PMo	210
4.34	Ralat ketepatan DEM data LiDAR bagi setiap ujian selepas menggunakan peta cerun yang	

	dijana daripada titik bumi LiDAR menggunakan PMo	214
4.35	Ralat ketepatan DEM LiDAR <i>Adapmof</i> menggunakan peta dijana daripada ukur tekimetri	217
4.36	Ralat ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> menggunakan cerun dari PMo dan tekimetri	220
4.37	Ralat ketepatan DEM data LiDAR bagi setiap ujian selepas menggunakan peta cerun yang dijana daripada titik bumi LiDAR menggunakan PMo	224
4.38	Ralat ketepatan DEM LiDAR dari <i>Adapmof</i> menggunakan peta cerun yang dijana daripada ukur tekimetri	227
4.39	Ralat ketepatan DEM LiDAR dari <i>AdapMorf</i> menggunakan cerun dari tekimetri dan PMo	229
4.40	Ralat (RMSE) dari Gabungan <i>TyMof</i> dan <i>AdapMorf</i>	233
4.41	Perbandingan hasil ralat (RMSE) mengikut teknik-teknik penurasan	234



## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Kawasan kajian	9
2.1	Komponen sistem <i>airborne laser scanner</i> (Wehr dan Lohr, 1999)	17
2.2	Sampel titik LiDAR (titik berwarna merah) di kawasan Simpang Pelangai, Bentung, Pahang	18
2.3	Imej intensiti data LiDAR kawasan Pekan, Pahang	21
2.4	Profil rupabumi di sepanjang garisan penerbangan dengan menggunakan laser <i>altimeter</i> (Shan dan Toth, 2009)	22
2.5	a) Oscalating mirror b) Rotating polygon (Sumber: Wehr & Lohr 1999)	24
2.6	Penghantaran dan penerimaan isyarat di kawasan hutan a) Pengimbas laser <i>small footprint (discrete return)</i> , b) Pengimbas laser <i>large footprint (full waveform)</i> (Sumber: Mallet dan Bretar, 2009)	27
2.7	Jenis gunatanah i) Hutan ( <i>forest</i> ); ii) Hutan tanah lembap ( <i>wetland forest</i> ); iii) Hutan perladangan ( <i>plantation forest</i> ): pokok Sentang	30
2.8	Jenis gunatanah pertanian i) Getah; ii) Kelapa Sawit dan iii) Pad	31
2.9	Jenis Gunatanah i) Belukar dan ii) Padang rumput	31
2.10	Permukaan cerun	34
2.11	Gambaran kesan cerun terhadap ralat	35

2.12	Kawasan litupan bumi dan titik cerapan LiDAR di bumi i) kawasan rumput, ii) hutan sederhana tebal, dan iii) kawasan hutan tebal	45
2.13	Struktur persekitaran berasaskan cerun	54
2.14	Gambaran persekitaran berasaskan TIN	56
2.15 a)	Titik Cerapan LiDAR	60
2.15 b)	Hasil selepas proses pembukaan	60
3.1	Fasa-fasa metodologi kajian	71
3.2	Sampel data LiDAR (titik warna hijau) di Pekan	73
3.3	Foto udara (salah satu kawasan kajian) di Pekan, Pahang	77
3.4	Paparan imej foto udara dan imej foto kamera kompak	78
3.5	Paparan imej foto udara dan Imej foto kamera kompak kawasan hutan dan getah	79
3.6	Paparan imej foto udara dan Imej foto kamera kompak kawasan sawit	80
3.7	Pengukuran kaedah tekimetri di kawasan hutan campur; b) Hasil Pengukuran- garisan terabas dan titik rujukan c) Foto udara dan titik kawalan (warna kuning) kawasan yang diukur	81
3.8	Paparan titik rujukan dan foto udara di setiap kawasan litupan; a) Hutan bakau ; b) Hutan kelapa sawit; c) Kawasan paku-pakis	83
3.9	Taburan titik yang rujukan yang diukur (warna kuning) di Bentong a) Kawasan hutan campur dan b) Kawasan getah	84
3.10	Taburan titik rujukan yang diukur di kawasan kelapa sawit Kelantan	84
3.11	Contoh foto udara kawasan getah yang digunakan (Simpang Pelangai, Bentong, Pahang)	85
3.12	Carta Alir proses penurasan dan penjanaan DEM	87

3.13	Paparan antaramuka teknik Morfologi Progresif (PM) (Morph2D)	89
3.14	Antaramuka parameter untuk penurasan teknik ETEW	94
3.15	Antaramuka parameter untuk penurasan teknik ATIN	97
3.16	Kawasan hutan campur di Pekan a) Titik dibumi LiDAR (TLB) b) Titik Rujukan dibumi (TRB) dan c) Gabungan TLB dan TRB	102
3.17	Carta alir bagi penghasilan peta cerun dan DEM dari data LiDAR	103
3.18	Sel 3x3	106
3.19	a) Kotak ditanda warna hitam sel-sel DEM dan dot hitam titik ketinggian tekimetri. b) Nilai ketinggian bagi setiap sel dan bulatan merah adalah nilai cerun yang perlu dikira	106
3.20	Paparan kanopi pokok-pokok dan titik di bumi	109
3.21	Proses penghasilan titik bukan dibumi	111
3.22	Cartalir proses penurasan data dan penjanaan peta cerun serta penilaian	114
3.23	Algoritma kaedah penurasan morfologi yang progresif	115
3.24	Cartalir algoritma penurasan PMo	116
3.25	Nilai peratusan cerun dan <i>rise_run</i> bagi sel a dan sel b	125
3.26	Proses Pengektrakan a) Input feature data LiDAR b) Output dari pengektrakan kedua-dua data dan c) Input data cerun <i>rise</i> dan <i>run</i>	126
3.27	Sampel data ASCII mempunyai nilai koordinat (x, y) dan	126
3.28	Paparan 3D lokasi titik LiDAR di bumi	128
3.29	Cartalir proses perbaikan algoritma teknik <i>AdapMorf</i>	129

3.30 a)	Sebelum penurasan	131
3.30 b)	Paparan TLBB Selepas penurasan	132
3.31	(a)Gambaran titik LiDAR mentah (sebelum penurasan) (b) Titik Lidar bukan dibumi yang dihasilkan (selepas penurasan	132
3.32	(a)Paparan TLBB dan sel grid (b) Garisan putus-putus Threshold ketinggian	133
3.33	(a)Jadual pengesahan ralat , b) Contoh lokasi TGB (Segitiga) dan titik (dot biru) yang diinterposi	136
3.34	Paparan titik LiDAR dan foto udara	140
4.1a	Paparan DEM kawasan hutan bakau: 1a) data tekimetri, 1b) penurasan PM, 1c) penurasan ETEW	155
4.1b	Paparan DEM kawasan Hutan Bakau: 1d) penurasan ATIN	156
4.2a	Paparan 3D DEM bagi kawasan Hutan Campur 1a) data tekimetri	156
4.2b	Paparan 3D DEM bagi kawasan Hutan Campur, 1b) penurasan PM, 1c) penurasan ETEW	157
4.3a	Paparan 3D DEM bagi kawasan Pakis, 1a) data tekimetri dan 1b) penurasan PM	158
4.3b	Paparan 3D DEM bagi kawasan Pakis, 1c) penurasan ETEW dan 1d) penurasan ATIN	159
4.4a	Paparan 3D DEM bagi kawasan Sawit 1a) data tekimetri, 1b) penurasan PM, dan 1c) penurasan ETEW	160
4.4b	Paparan 3D DEM bagi kawasan sawit: 1d) Penurasan ATIN	161
4.5b	Nilai ralat RMSE mengikut setiap teknik penurasan dan kawasan litupan	162
4.6	Paparan 3D bagi DEM data ukur (TRB) Kawasan Hutan Campur dengan menggunakan teknik <i>Kriging</i>	171

4.7	Paparan 3D bagi DEM data ukur (TRB) bagi kawasan getah dengan menggunakan teknik <i>Kriging</i>	171
4.8	Paparan 3D bagi DEM data ukur (TRB) bagi kawasan Sawit dengan menggunakan teknik <i>Kriging</i>	172
4.9	Peta cerun kawasan litupan hutan campur (B1)	173
4.10	Peta cerun kawasan litupan getah (B2)	173
4.11	Peta cerun kawasan litupan sawit (M)	174
4.12a	Paparan 3D DEM dari data LiDAR dari teknik penurasan ATIN a)Getah	175
4.12b	Paparan 3D DEM dari data LiDAR dari teknik penurasan ATIN a) Sawit	176
4.13	Paparan 3D DEM dari data LiDAR dari teknik penurasan PM a)Getah, c)Hutan campur c) Sawit	177
4.14	Graf nilai ketepatan RMSE mengikut kelas cerun bagi setiap kawasan menggunakan penurasan ATIN dan PM-Morph2D	180
4.15	Paparan kepadatan kanopi kawasan getah berserta TLB dari penurasan ATIN	182
4.16	Paparan kepadatan kanopi hutan berserta TLB dari penurasan ATIN	182
4.17	Paparan kepadatan kanopi sawit berserta TLB dari penurasan ATIN	183
4.18	Graf statistik ralat (RMSE) dari teknik penurasan ATIN dan PM	187
4.19	Antaramuka teknik penurasan data LiDAR PMo	189
4.20	Peta cerun kawasan hutan	191
4.21	Peta cerun kawasan getah	191
4.22	Peta cerun kawasan sawit	192
4.23	Antaramuka teknik penurasan data LiDAR <i>AdapMorf</i>	196

4.24a	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> ujian PMo-H1	199
4.24b	Paparan visual 3D ujian AM-H2 dan AM-H3	200
4.25	Graf ralat DEM	201
4.26a	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-HT1	204
4.26b	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-HT2 dan AM-HT3	205
4.27	Graf ralat DEM	206
4.28a	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> Ujian AM-HPT1 dan AM-HPT2)	208
4.28b	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> Ujian 3a AM-HPT3 dan 4a AM-HPT4	209
4.29	Graf ralat DEM ujian AM-HPT	210
4.30a	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> ujian PMo-G1, AM-G2 dan AM-G3	212
4.30b	Paparan visual 3D a) DEM secara 3D dan b) Grid <i>shaded relief</i> ujian PMo-G1, AM-G4 dan AM-G5	213
4.31	Graf ralat DEM ujian AM-HPT	214
4.32a	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-GT1, AMGT2 dan AM-GT3	216
4.32b	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-GT4	217
4.33	Graf ralat DEM ujian AM- GT	217
4.34a	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-GPT1, AM-GPT2	218
4.34b	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-GPT3, AM-GPT4 dan AM-GPT5	219

4.35	Graf ralat DEM ujian AM- GPT	220
4.36a	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian PMo-S1, AM-S2, AM-S3	222
4.36b	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-S4 dan AM-S5	223
4.37	Graf ralat (RMSE) mengikut ujian AM- AMS	224
4.38a	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-ST1 dan AM-ST2	225
4.38b	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-ST3, AM-ST4 dan AM-ST5	226
4.39	Graf ralat (RMSE) mengikut ujian AM- ST	227
4.40a	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-SPT1	228
4.40b	Paparan visual a) DEM secara 3D, b) Grid <i>shaded relief</i> ujian AM-SPT2 dan AM-SPT3	229
4.41	Graf ralat (RMSE) mengikut ujian AM- SPT	223
4.42	Paparan DEM secara 3D kawasan hutan campur	231
4.43	Paparan DEM secara 3D kawasan getah	232
4.44	Graf RMSE bagi setiap teknik penurasan	235
4.45	Graf Ralat Type I bagi setiap teknik penurasan	235
4.46	Graf Ralat Type II bagi setiap teknik penurasan	236
4.47	Paparan Visual DEM secara 3D 1a) Saiz sel 0.5m, 1b) Saiz sel 1m dan 1c) Saiz sel 1.5m	238

**SENARAI SINGKATAN**

ALS	-	Airborne Laser Scanner
ASCII	-	American Standard Code for Information Interchange
ASPRS	-	American Society of Photo and Remote Sensing
ATIN	-	Adaptive Terra Irregular Network
DEM	-	Digital Elevation Model (Model Ketinggian Digital)
DGM	-	Model Bumi Digital
DGPS	-	Differential Global Positioning System
DHM	-	Model Ketinggian Digital
DMA	-	Defence Mapping Agency
DTEM	-	Model Ketinggian Rupabumi Digital
DTM	-	Model Rupabumi Digital
ETEW	-	Elevation Threshold with Expand
FOV	-	Field of View
FW	-	Full Waveform
GIS	-	Sistem Maklumat Geografi
GPS	-	Sistem Kedudukan Sejagat
IDW	-	Inverse Distance Weighted
IMU	-	Inertial Measurement Unit
INS	-	Inertial Navigation System
JUPEM	-	Jabatan Ukur & Pemetaan Malaysia



LaDAR	-	Laser detection & Ranging
LAS	-	LASer File Format Exchange
LASER	-	Light Amplification by Stimulated of Radiator
LiDAR	-	Light Detection and Ranging
LViS	-	Laser Vegetation Imaging Sensing
MBE	-	Mean Bias Error
MSE	-	Mean Square Error
OK	-	Ordinary Kriging
PM	-	Progressive Morphology
RMSE	-	Root Mean Square Error
SFDR	-	Small Footprint Return
SLICER	-	Scanning LiDAR Imager of Canopies by Echo Recovery
TB	-	Titik Bumi
TIN	-	Triangulated Irregular Network
TLB	-	Titik LiDAR Bumi
TLBB	-	Titik LiDAR Bukan Bumi
TLO	-	Titik LiDAR Objek
TO	-	Titik Objek
TRB	-	Titik Rujukan Bumi
Type I	-	Ralat Type I
Type II	-	Ralat Type II
UK	-	Universal Kriging

# BAB 1

## PENGENALAN

### 1.1 Latar Belakang Kajian

Model ketinggian digital atau dalam bahasa Inggerisnya ‘Digital Elevation Model’ (DEM) adalah perwakilan digital bagi permukaan topografi yang juga merujuk kepada model yang mengandungi data ketinggian (Baharin, 2008). Ianya juga boleh dinyatakan dengan pelbagai istilah seperti model rupabumi digital (DTM) (Maune, 2010), model ketinggian digital (DHM), model bumi digital (DGM) dan model ketinggian rupabumi digital (DTEM) (Li *et al.*, 2005). Pelbagai istilah ini merujuk kepada penggunaan di beberapa buah negara. Istilah DEM digunakan di Amerika; DHM digunakan di Jerman; DGM telah digunakan di UK dan DTEM di perkenalkan dan digunakan oleh USGS dan *Defense Mapping Agency* (DMA) (Li *et al.*, 2005). Walaupun terma-terma yang berbeza digunakan, tetapi ianya menggambarkan dan mempersembahkan fenomena yang sama iaitu topografi bagi permukaan bumi (USGS National Map, 2015; Alias, 1994). Menurut Burrough (1986), DEM adalah model kuantitatif bagi bentuk permukaan bumi (*landform*) dalam format digital. DEM adalah perwakilan digital yang boleh digunakan untuk menggambarkan dan memberikan maklumat mengenai ketinggian di permukaan bumi (Erdogan, 2010; Chen *et al.*, 2014).

DEM secara matematiknya mentakrifkan permukaan-permukaan atau melalui titik atau garisan imej yang menggunakan data imej (Borrough, 1986 ; Maune, 2010). Siri *fourier* dan *multiquadratic polynomial* merupakan dua contoh untuk

mempersiapkan DEM. Dalam teknik imej ianya terdiri daripada model-model titik dan model-model garisan. Model garisan yang selalu dan kebiasaannya diberikan dalam bentuk garisan kontur. Pelbagai teknik pengukuran boleh digunakan untuk mendapatkan model ketinggian digital (DEM). Menurut Hu (2003) dan Wang *et al.*, (2015), DEM boleh dihasilkan dengan pendekatan secara tradisional iaitu melalui pengukuran dilapangan dengan menggunakan alat *total station*. Kaedah lain yang dikategorikan sebagai salah satu kaedah utama untuk mendapatkan DEM adalah fotogrametri (Polat *et al.*, 2015a). Teknik terkini yang lebih cepat dan efektif bagi mendapatkan DEM adalah melalui data *Airborne Light Detection and Ranging* (LiDAR) (Yan *et al.*, 2015).

LiDAR merupakan teknologi yang direkabentuk bagi tujuan perolehan maklumat ketinggian samada ketinggian permukaan bumi ataupun ketinggian objek di permukaan bumi (Song *et al.*, 2015). Mengikut Liu (2008), Raber *et al.* (2007) dan Tarolli (2014), teknologi ini adalah amat sesuai bagi mendapatkan data DEM yang berketepatan tinggi serta bagi kawasan yang luas. Teknologi ini adalah satu teknik penderiaan jauh yang menyediakan kaedah pengukuran jarak secara terus di antara alat pengimbas laser dengan permukaan bumi dan objek-objek di atasnya. Sistem LiDAR terdiri daripada tiga (3) komponen utama iaitu pengimbas laser yang berkejituan tinggi (*high precision*), sistem kedudukan sejagat (GPS) dan *Inertial Navigation System* (INS) (Devereux dan Amable, 2009; Wehr, 2009 ; Chang, 2010). Sistem *airborne* LiDAR akan menjanakan data *point cloud* secara tiga-dimensi (3D) sama ada di permukaan bumi ataupun objek-objek bukan di bumi seperti tumbuh-tumbuhan (*vegetations*), bangunan dan sebagainya.

Lebih sedekad yang lalu, terdapat dua jenis sistem *airborne* LiDAR yang utama yang telah digunakan dalam menghasilkan pemetaan topografi dan DEM. Penggunaan sistem LiDAR ini boleh dikelaskan kepada teknologi *small-footprint discrete-return* (SFDR) dan *full waveform* (FW). Teknologi penderia SFDR ataupun sistem berasaskan denyutan (*pulse*) yang membolehkan pengukuran dibuat dalam ketumpatan titik-titik LiDAR daripada 0.4 titik (bersamaan dengan 2 titik bagi keluasan lima meter persegi) sehingga kepada tujuh (7) titik bagi setiap meter persegi (Wang dan Glenn, 2009; Gomes Pereira dan Wicherson, 1999a) yang boleh diperolehi dengan mengikut

spesifikasi penerbangan yang tertentu. Penggunaannya membolehkan denyutan *laser* dipancarkan ke objek dan permukaan bumi secara berterusan dari satu (1) denyutan sehingga kepada lima (5) denyutan bagi setiap pancaran dengan kadar ulangan (*repetition*) denyutan yang tinggi sehingga kepada 200 Khz (Toth, 2010). Teknologi SFDR banyak digunakan untuk mendapatkan DEM dalam beberapa kajian penyelidikan-penyelidikan di luar negara (Klang dan Burman, 2005; Evans dan Hudak, 2007; Bater dan Coops, 2009; Guo *et al.*, 2010; Gallay *et al.*, 2013 ; Langridge *et al.*, 2014) serta banyak digunakan dalam pelbagai aplikasi seperti pemetaan tanaman-tanaman (*vegetation*) dan penyelidikan berkaitan perhutanan (Hopkinson *et al.*, 2005; Means *et al.*, 2000; Palace *et al.*, 2015) serta penentuan kawasan banjir (Abdullah *et al.*, 2011).

Sistem FW pula telah menggabungkan sistem *multi-pulse* dengan teknologi berasaskan gelombang iaitu penggunaan pengesan yang lebih moden yang mempunyai penambahan elemen pengukuran pendigitalan dan merekod keseluruhan pantulan objek. Penggunaannya membolehkan perekodan data dibuat daripada 10 titik sehingga kepada 100 titik bagi setiap meter persegi (Mellet dan Brettar, 2009 ; Rutzinger *et al.*, 2008 ; Reitberger *et al.*, 2009 ; Höfle *et al.*, 2012). Tidak dinafikan teknologi FW juga telah banyak digunakan dalam aplikasi yang melibatkan penghasilan DEM, antaranya adalah kajian yang dibuat oleh Doneus dan Briese (2006), Ullrich *et al.* (2008) dan Chhatkuli *et al.*, (2012) yang telah mengkaji tentang penjanaan DEM untuk kawasan hutan. Kajian yang hampir sama juga dilakukan oleh Gonçalves dan Pareire (2012) bagi kawasan hutan tetapi yang berbezanya adalah ianya memfokuskan kepada kawasan pokok rendah.

Walaupun teknik FW ini boleh memberikan ketepatan dan resolusi data yang lebih baik berbanding dengan SFDR tetapi terdapat kekurangannya seperti terdapat penambahan kerja-kerja pemprosesan data serta pengurusan datanya agak sukar yang disebabkan oleh isipadu data yang besar (Hug *et al.*, 2004; Mellet dan Brettar, 2009; Toth 2010; Ussyshkin dan Theriault, 2011). Oleh sebab itu teknologi SFDR telah banyak digunakan bagi tujuan untuk pemetaan dan mendapatkan DEM.

Ketepatan DEM yang dihasilkan dari data LiDAR juga dipengaruhi oleh teknik pemrosesan khususnya teknik penurutan data yang digunakan dalam menghasilkan titik di permukaan bumi. Walaupun terdapat banyak teknik-teknik yang digunakan seperti teknik berasaskan cerun (Vosselman, 2000; Sithole, 2001, Shan dan Sampath, 2005; Wang dan Tseng, 2010; Maguya *et al.*, 2013), TIN (Axelsson (1999, 2000; Zhang dan Lin, 2013), berasaskan linear (Brovelli *et al.*, 2004; Kraus dan Pfeifer, 1998, Pfeifer *et al.*, 1999; Lee dan Younan, 2003), segmentasi (Rabbani *et al.*, 2006; Jacobsen dan Lohmann, 2003) dan morfologi (Zhang *et al.*, 2003; Zhang dan Whitman, 2005; Chen *et al.*, 2007; Mongus dan Zalik, 2012; Pingel *et al.*, 2013), tetapi tidak ada satu teknik yang universal yang sesuai, yang boleh digunakan untuk memproses data untuk satu-satu kawasan yang boleh memberikan ketepatan yang dikehendaki terutama melibatkan kawasan pelbagai litupan khususnya kawasan hutan yang padat.

Keadaan kanopi hutan di kawasan hutan tropikal yang tebal juga boleh memberi kesan kepada pancaran *laser* untuk menembusi dan sampai ke permukaan bumi. Ini adalah salah satu kelemahan yang terdapat dalam sistem LiDAR. Menurut Cowen *et al.*, (2000), penembusan pancaran laser ke bumi hanya dalam sekitar 10-40% sahaja jika ketebalan kanopinya adalah lebih daripada 80%. Kajian yang lain di kawasan hutan Sitka Sprus, hanya 10% sahaja pancaran laser sampai ke permukaan bumi (Chasmer *et al.*, 2004 ; Watt *et al.*, 2004). Kadar yang rendah ini sudah tentu memberi kesan kepada penghasilan titik di bumi seterusnya DEM yang dihasilkan (Maguya *et al.*, 2014).

## **1.2 Penyataan Masalah**

Kajian ini dilakukan berdasarkan kepada dua isu atau pemasalahan seperti di bawah:

**Isu 1: Ketepatan data DEM yang di hasilkan oleh data *airborne* LiDAR yang di pengaruhi oleh faktor persekitaran**

Ketepatan DEM dari data LiDAR adalah penting dan boleh digunakan dalam pelbagai aplikasi (Flood, 2004). Teknologi ini telah banyak digunakan di negara-negara luar bagi penghasilan DEM berketepatan tinggi khususnya di kawasan hutan (Shrenk, 2001; Turner, 2007; Hodgson dan Bresnan, 2004; Craven dan Wing, 2014). Walaubagaimanapun penggunaan serta kajiannya di Malaysia adalah amat terbatas. Hal ini disebabkan oleh pelbagai faktor antaranya kos penerbitan data LiDAR serta permukaan bumi di kawasan tropika yang sering dilitupi oleh tumbuh-tumbuhan berkanopi padat.

Ketepatan data LiDAR khususnya data ketinggian adalah dinilai dengan membandingkan nilai ketinggian LiDAR dengan nilai yang dicerap menggunakan kaedah ukur aras dan alat *total station*. Perbezaan nilai ketinggian secara umumnya dinyatakan melalui nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Telah diketahui daripada kajian yang lepas, bahawa ketepatan data LiDAR banyak dipengaruhi oleh pelbagai faktor sebagaimana dinyatakan di bahagian 2.10 (kesimpulan kajian literatur), bahagian 2.3 (litupan bumi) dan bahagian 2.7 (kajian ketepatan DEM terhadap faktor persekitaran). Salah satu faktornya adalah faktor persekitaran geografi. Untuk faktor persekitaran, impak elemen-elemen seperti jenis litupan bumi dan cerun terhadap ketepatan DEM telah banyak dibincangkan oleh penyelidik luar negara (Lewis dan Hancock, 2007); Hodgson *et al.*, 2003; Su dan Bork (2006). Purata ketepatan ketinggian data LiDAR yang terhasil dari kajian tersebut adalah antara 0.05m hingga 0.93m yang menggunakan teknologi LiDAR SFDR yang meliputi pelbagai kawasan litupan bumi dan pelbagai kategori cerun (Raber *et al.*, 2002; Hodgson dan Bresnahan, 2004; Hodgson *et al.*, 2005; Reutebuch *et al.*, 2003; Su dan Bork (2006); Gomes Pareira dan Janssen, 1999b; Pfeifer *et al.*, 2001; Kraus dan Pfeifer, 1998; Hyypa *et al.*, 2000; Gonçalves-Seco *et al.*, 2006; Bilskie dan Hagen, 2013).

Persoalannya adakah Malaysia yang sebahagian besar kawasan yang dilitupi oleh hutan dan kawasan pertanian khususnya di kawasan yang bercerun memperoleh nilai ketepatan yang sama atau sebaliknya. Salleh *et al.*, (2015), telah mengkaji ketepatan DEM dari LiDAR yang menggunakan teknologi SFDR bagi kawasan pertanian getah

yang mempunyai kanopi yang padat di kawasan yang bercerun antara 0 hingga 20 darjah di hutan tropika di Malaysia, telah memperolehi nilai ketepatan antara 0.60m-0.80m. (Salleh *et al.*, 2015 ; Ismail *et al.*, 2015) juga telah mengkelaskan kawasan mengikut peratusan litupan kanopi dan memperolehi ketepatan ketinggian diantara 0.57m -0.63m. Ini menunjukkan kawasan cerun memberi nilai ralat yang lebih besar berbanding dengan litupan kanopi. Untuk menghasilkan data DEM dari data LiDAR yang tepat pelbagai teknik penurasan yang telah dikaji dan dihasilkan untuk menuras (*filter*) data LiDAR (Kraus dan Pfeifer, 1998; Brovelli *et al.*, 2004; Lee dan Younan, 2003; Vosselman, 2000; Sithole, 2001, Shan dan Sampath, 2005; Wang dan Tseng, 2010; Rabbani *et al.*, 2006; Jacobsen dan Lohmann, 2003; Zhang dan Whitman, 2005; Chen *et al.*, 2007; Mongus dan Zalik, 2012; Pingel *et al.*, 2013) supaya pemilihan titik di bumi dapat dihasilkan dengan baik, tetapi pemilihan dan penggunaan teknik yang sesuai dengan data yang pelbagai litupan khususnya yang padat dengan hutan di hutan tropika umumnya dan di Malaysia khususnya perlulah dikaji dengan lebih mendalam (Razak *et al.*, 2013).

## **Isu 2: Pembinaan Teknik Penurasan Data LiDAR- yang tidak mengambilkira maklumat persekitaran yang sebenar**

Dari kajian yang lepas, melalui teknik penurasan sedia ada bagi menentukan serta mendapatkan titik-titik permukaan bumi dari data *airborne* LiDAR adalah agak sukar khususnya jika melibatkan persekitaran permukaan bumi yang tak sekata (Mongus dan Zalik, 2012; Johromi *et al.*, 2011; Silván-Cárdenas dan Wang 2006). Walaupun terdapat pelbagai teknik penurasan yang dihasilkan, tidak ada satupun yang betul-betul sesuai untuk digunakan bagi satu-satu kawasan (Vosselman, 2000; Sithole dan Vosselman 2001; Chen *et al.*, 2007). Lebih-lebih lagi jika data yang dicerap itu merangkumi kawasan-kawasan yang mempunyai pelbagai bentuk permukaan bumi seperti kawasan permukaan yang tinggi (Li *et al.*, 2013), bercerun tinggi dan padat dengan hutan (Pingel *et al.*, 2013; Li dan Wu, 2009; Zhang *et al.*, 2003).

Rasionalnya teknik penurasan secara morfologi (*morphology*) telah banyak dikaji dan digunakan oleh penyelidik-penyelidik yang lepas di luar negara (Li *et al.*, 2013; Killian *et al.*, 1996; Zhang *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2007; Arefi dan Hahn 2005; Pingel *et al.*, 2013). Hasil kajian dan rumusan mereka telah menyatakan bahawa teknik penurasan morfologi yang dihasilkan itu masih lagi kurang tepat kerana hasil penurasan data LiDAR menggunakan teknik ini masih lagi mempunyai ralat seperti ralat *Type I* (wujudnya kesilapan objek di bumi di kelaskan sebagai objek bukan di bumi ) dan *Type II* ( wujudnya objek bukan titik di bumi yang telah di kelaskan sebagai titik di bumi) yang tinggi (Pingel *et al.*, 2013 ; Zhang *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2007).

Namunpun begitu jumlah peratus ralat penurasan teknik morfologi ini agak rendah berbanding dengan teknik-teknik penurasan lain seperti teknik berasaskan cerun, TIN serta segmentasi, yang memberikan jumlah purata ralatnya antara 10% hingga 16 % (Zhang dan Lin, 2013; Sithole dan Vosselman, 2004). Selain daripada itu ketepatan DEM yang dihasilkan melalui teknik morfologi ini adalah tinggi berbanding dengan beberapa teknik penurasan lain (Rashid *et al.*, 2013). Kajian Rashid *et al.*, (2013) yang menggunakan teknik ini di hutan tropikal di Malaysia telah memberikan keputusan hasil turasan yang baik di salah satu kawasan dengan memberikan hasil ketepatan RMSE sebanyak 0.28m untuk kawasan hutan bakau dan 0.20m bagi kawasan sawit yang agak rata.

Cerun adalah salah satu parameter yang utama yang digunakan dalam teknik penurasan morfologi progresif. Ianya telah menjadi salah satu parameter penting yang perlu diambilkira di dalam pembinaan teknik penurasan data LiDAR. Kebanyakan kajian-kajian teknik penurasan morfologi yang telah dilakukan tidak mengambilkira elemen cerun permukaan secara khusus (Kim dan Shan, 2011; Li *et al.*, 2013) kecuali kajian Zhang *et al.* (2003) dan Li *et al.*, (2013). Dalam kajian Zhang *et al.* (2003) cerun (nilai  $s$ ) yang digunakan adalah nilai pemalar (*constant*) dan tidak menggunakan nilai sebenar ataupun nilai yang hampir kepada nilai sebenar. Sepatutnya nilai ini mestilah dinamik di mana cerun mestilah ditentukan berdasarkan kepada nilai minima dan maksima ketinggian data LiDAR pada satu-satu titik. Parameter cerun ini akan dikaji



dengan lebih terperinci dalam kajian ini. Satu pendekatan dengan menjana peta cerun akan dilaksanakan supaya peta cerun boleh digunakan sebagai salah satu parameter penting di dalam penurasan data LiDAR.

Melihat kepada masalah-masalah dan isu-isu yang dinyatakan di atas, maka dapat disimpulkan bahawa perlunya kepada kajian tentang ketepatan DEM terhadap data LiDAR sedia ada bagi pelbagai jenis litupan bumi di hutan tropikal di Malaysia. Hasil kajian ini boleh menjadi asas kepada proses penghasilan teknik penurasan data *airborne* LiDAR yang baru yang bersesuaian dengan keadaan geografi hutan tropikal di Malaysia. Di samping itu, teknik penurasan baru ini dapat digunakan untuk menghasilkan data LiDAR di bumi yang sebenar dan penting dalam menghasilkan DEM yang lebih tepat.

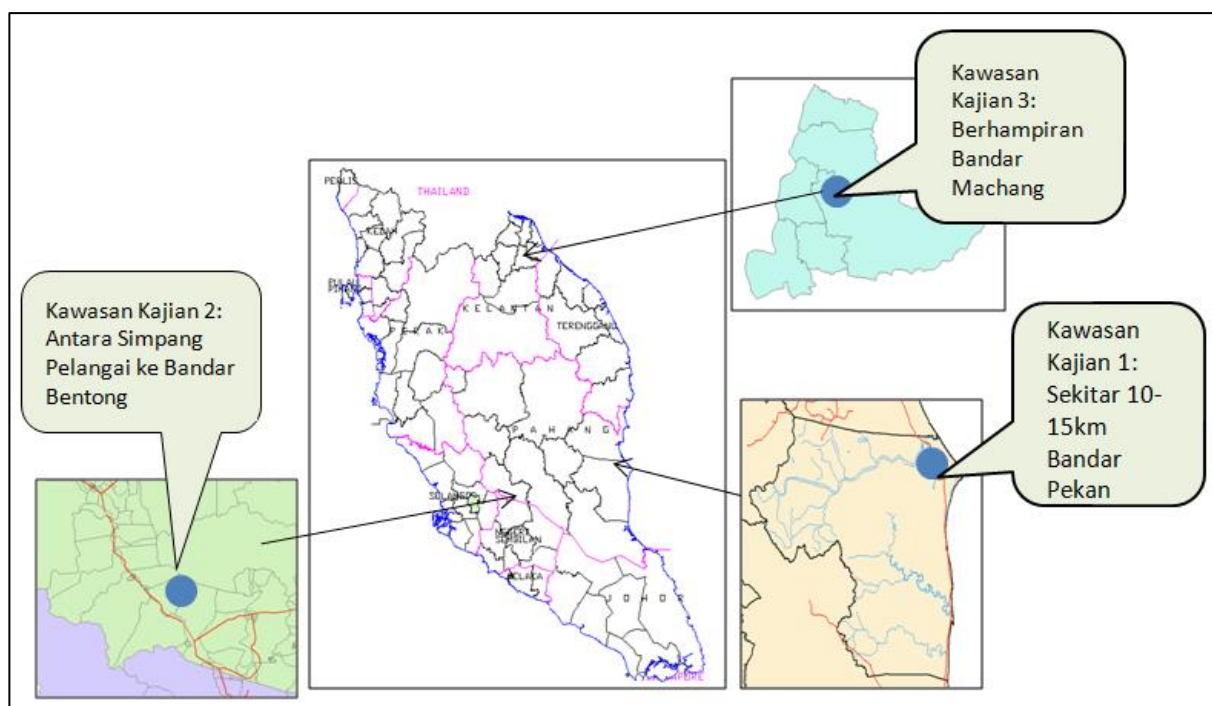
### **1.3 Tujuan dan objektif**

Tujuan utama kajian ini adalah untuk membina satu teknik penurasan data LiDAR bagi pelbagai kawasan litupan bumi serta menjana DEM di hutan tropikal di Malaysia. Bagi mencapai tujuan ini beberapa objektif kajian telah ditetapkan iaitu;

- i) Untuk mengenalpasti dan mengkaji keupayaan teknik-teknik penurasan data LiDAR bagi pelbagai kawasan litupan bumi yang berbeza.
- ii) Untuk mengenalpasti dan menentukan kepentingan faktor persekitaran yang menyumbang kepada ralat dan ketepatan DEM dari data *airborne* LiDAR.
- iii) Untuk memperbaiki teknik penurasan dengan merujuk kepada faktor-faktor persekitaran yang penting di kawasan hutan dan kawasan tanaman yang padat
- iv) Untuk menilai teknik penurasan yang telah dibina (perbaiki) dan menilai DEM yang terhasil dari teknik yang telah diperbaiki.

## 1.4 Kawasan Kajian

Terdapat tiga kawasan utama yang akan dikaji iaitu i) Kawasan di Pekan, Pahang (kawasan 1), ii) Kawasan di Simpang Pelangai, Bentong, Pahang (Kawasan 2) iii) Kawasan di Machang, Kelantan (Kawasan 3) (Rajah 1.1) (Jadual 1.1).



**Rajah 1.1:** Kawasan kajian

Bagi kawasan kajian 1 iaitu di sekitar Daerah Pekan, ia dilitupi dengan tumbuhan hutan campur di mana luas kawasan keseluruhannya yang terlibat dalam kajian ini adalah sekitar 56000 m<sup>2</sup> dengan nilai cerun diantara 0° hingga 10°. Kawasan ini dipilih sebagai salah satu kawasan kajian kerana ciri-cirinya yang amat sesuai untuk menggambarkan kriteria kawasan hutan tropika dengan pelbagai litupan seperti hutan campur, hutan paya bakau dan pokok paku-pakis. Kawasan kedua pula terletak di antara Simpang Pelangai menghala ke Bandar Bentong dikelilingi dengan pokok getah dan hutan campur yang memiliki litupan kanopi yang agak tebal. Keadaan permukaan tanah

kawasan ini agak beralun dengan nilai cerun antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$ . Kawasan ini berkeluasan  $38000\text{m}^2$  dan amat sesuai untuk dijadikan sebagai kawasan kajian. Kawasan terakhir (kawasan 3) yang dipilih sebagai kawasan kajian adalah kawasan di Daerah Machang yang berhampiran dengan Bandar Machang, Kelantan. Kawasan berkeluasan adalah  $14500\text{ m}^2$  ini dilitupi kawasan pertanian kelapa sawit yang mempunyai cerun antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$ . Secara keseluruhannya, ketiga-tiga kawasan yang dinyatakan amat sesuai untuk dijadikan kawasan kajian dengan ciri-cirinya yang amat bertepatan dengan kriteria kawasan hutan tropika.

**Jadual 1.1:** Perincian kawasan kajian dan persekitaran kawasan litupan

<b>Kawasan Kajian</b>	<b>Keluasan Keseluruhan</b>	<b>Jumlah Tapak Kajian</b>	<b>Persekitaran/ Jenis Litupan</b>	<b>Anggaran Keluasan setiap tapak (<math>\text{m}^2</math>)</b>	<b>Kutumpatan data (titik/ <math>\text{m}^2</math>)</b>	<b>Cerun</b>
Kajian 1 (Daerah Pekan)	$56000\text{ m}^2$	(4) Tapak 1 Tapak 2 Tapak 3 Tapak 4	Hutan Bakau Hutan Campur Pakis Tanaman Sawit	21000 15000 8000 12000	0.75	$0^{\circ} - 10^{\circ}$
Kajian 2 (Simpang Pelangai- Daerah Bentong)	$38000\text{ m}^2$	(2) Tapak 1 Tapak 2	Hutan Campur Tanaman Getah	18000 20000	2.2	$0^{\circ} - 15^{\circ}$
Kajian 3 (Daerah Machang)	$14500\text{ m}^2$	(1) Tapak 1	Tanaman Sawit	14500	3	$0^{\circ} - 15^{\circ}$

## **1.5 Skop kajian**

Skop kajian ini mencakupi beberapa perkara seperti penggunaan data dari satu sistem LiDAR, litupan bumi tertentu, teknik penurasan yang digunakan, serta teknik penurasan yang akan dibina.

### **1.5.1 Sistem LiDAR**

Data yang akan digunakan dalam kajian ini hanya memfokuskan kepada data yang di ambil dengan sistem LiDAR secara *small-footprint discrete-return (SFDR)*, yang telah diambil dengan menggunakan sistem *airborne LiDAR Optech* (kawasan kajian 1 dan kawasan kajian 3) dan *Reigl* (kawasan kajian 2). Data dari sistem ini dipilih kerana kebanyakan data dan pengukuran LiDAR yang dibuat di Malaysia adalah menggunakan kedua-dua sistem ini. Data yang diperolehi juga adalah lengkap yang mempunyai maklumat penerbangan seperti ketinggian, tarikh dan sebagainya.

### **1.5.2 Litupan Bumi Tertentu**

Terdapat beberapa jenis litupan bumi sahaja akan dikaji dalam kajian ini iaitu kawasan hutan, kawasan pertanian seperti getah dan kelapa sawit, pokok pakis di kedua-dua kawasan permukaan bumi landai (rata) dan bercerun. Jenis – jenis litupan bumi juga dipilih kerana ianya sering digunakan oleh penyelidik-penyelidik terdahulu (Rujuk bahagian 2.6).

### **1.5.3 Teknik Penurasan yang digunakan**

Beberapa teknik penurasan yang sedia ada akan digunakan dalam kajian ini, iaitu teknik berasaskan *TIN* iaitu *ATIN*, teknik berasaskan morfologi iaitu Progresif Morfologi (PM) dan teknik berasaskan ketinggian *threshold* dan tettingkap iaitu *ETEW*. Teknik penurasan yang mempunyai hasil terbaik akan dipilih. Pemilihan ini juga bergantung

kepada teknik-teknik yang sering digunakan oleh penyelidik-penyelidik dalam menghasilkan titik permukaan bumi dari data LiDAR. Selain daripada itu teknik Progresif Morfologi (PM) adalah teknik morfologi yang agak mudah untuk digunakan dan diubahsuai. Teknik-teknik penurasan ini juga telah berjaya menghasilkan DTM dengan ketepatan yang tinggi (Rujuk bahagian 2.8 dan 2.9).

#### **1.5.4 Pembaikan Teknik Penurasan Morfologi**

Sebagai tambahan kepada parameter-parameter yang asas, pembaikan ini akan hanya mengambilkira parameter cerun yang sebenar. Oleh itu algoritma yang akan dibina juga akan menggunakan parameter-parameter yang asas seperti ketinggian *threshold* minima dan maksima, saiz sel dan lelaran (iterasi).

#### **1.5.5 Limitasi Kajian**

Kajian yang akan dilakukan ini hanyalah terbatas kepada kawasan yang mempunyai cerun permukaan bumi antara  $0^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$  sahaja. Ini adalah kerana daripada tinjauan dan penilaian maklumat ketinggian dari sampel data yang diperolehi, semua kawasan kajian dalam penyelidikan ini hanyalah mempunyai anggaran nilai cerun yang rendah sebagaimana dinyatakan di atas.

### **1.6 Kepentingan Kajian**

Terdapat beberapa kepentingan yang diperolehi daripada kajian ini;

- a. Terdapat banyak hasil kajian penyelidikan yang telah dibuat terhadap penilaian ketepatan bagi DEM dari data LiDAR seperti dinyatakan dalam kajian literatur, tetapi tidak ada kajian secara ilmiah yang mendalam tentang penilaian ketepatan data hasil daripada pengukuran dengan LiDAR di Malaysia. Kajian ini merupakan kajian pertama dilakukan khususnya memfokuskan kepada litupan

bumi yang berbeza iaitu kawasan hutan, kawasan getah, kelapa sawit , kawasan pakis dan lain-lain. Hasil kajian ini boleh dijadikan rujukan kepada organisasi kerajaan dan swasta yang hendak menggunakan teknologi LiDAR untuk menerbitkan data DEM di Malaysia.

- b. Hasil daripada penggunaan pelbagai teknik penurasan sedia ada serta teknik penurasan yang akan dibina dalam kajian ini boleh memberikan alternatif kepada pengguna samada ahli akademik, pelajar dan perunding-perunding projek LiDAR untuk memilih teknik ataupun algoritma yang sesuai di dalam pemprosesan data LiDAR khususnya kawasan hutan yang bercerun.
- c. Teknik penurasan berasaskan morfologi yang mengambilkira faktor cerun permukaan yang sebenar adalah sumbangan utamakepada kajian ini. Hasil ini membolehkan teknik penurasan ini beroperasi secara efektif pada permukaan bumi yang berbeza.

## 1.7 Aliran Bab

Tesis ini mengandungi lima bab yang diringkaskan seperti berikut:

Bab pertama menerangkan latarbelakang kajian, penyataan masalah, tujuan dan objektif kajian, kawasan kajian, skop kajian dan kepentingan kajian.

Bab kedua adalah kajian literatur yang membincangkan mengenai teknologi LiDAR, jenis-jenis sistem *airborne* LiDAR, kategori litupan bumi di Malaysia, faktor ketepatan DEM dari data LiDAR, kesan teknik interpolasi terhadap ketepatan DEM data LiDAR, kajian hubungan antara ketepatan DEM dari data LiDAR untuk faktor persekitaran litupan bumi serta kecerunan permukaan bumi, penurasan data LiDAR (berasaskan cerun, TIN, segmentasi) dan penurasan berasaskan teknik morfologi.

Bab ketiga menerangkan tentang perolehan dan pemrosesan data serta pembahagian kawasan kajian. Bab ini juga menjelaskan kaedah penurasan menggunakan teknik sedia ada. Di samping itu, penerangan juga akan diberikan pada keadah-kaedah yang digunakan untuk penjanaan DEM dari data ukur dan LiDAR. Seterusnya penerangan yang terperinci akan dibuat untuk proses pembinaan dan pembaikan teknik Progresif Morfologi. Kaedah-kaedah pengujian dan penilaian teknik penurasan yang telah diperbaiki juga di jelaskan dalam bab ini.

Bab empat akan membincangkan hasil kajian. Ianya termasuklah hasil ujian DEM yang dijana menggunakan teknik penurasan sedia ada serta hubungkait antara DEM dengan peta cerun dan kanopi. Di samping itu hasil bagi setiap ujian dari teknik penurasan yang dibina juga ditunjukkan.

Bab lima memberi focus kepada penerangan terhadap penemuan kajian dengan merujuk kepada objektif kajian, sumbangan kajian, cadangan untuk pembaikan dan kesimpulan.

## RUJUKAN

- Abdullah, A.F., Vojinovic, Z., Price, R.K., Aziz, N.A.A. (2011) A Methodology for Processing Raw LiDAR Data to Support Urban Flood Modeling Framework, *Journal of Hydroinformatics*, IWA Publishing.
- Abdullah, S.A., Nakagoshi, N., 2006. Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia. *Landsc. Urban Plan.* 77, 263-275.
- Ackermann, F. (1999): Airborne laser scanning - present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54(4), 64-67.
- Adams, J.C., Chandler, J.H. (2002). Evaluation of LiDAR and medium scale photogrammetry for detection soft-cliff coastal change. *Photogrammetric Record* 17(99),405–418.
- Aguilar, F.J., Agüera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F., 2005. Effects of terrain morphology, sampling density and interpolation methods on grid DEM accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 71 (7), 805-816.
- Aldred, A.H., & Bonner, G.M. (1985). Application of airborne lasers to forest surveys, Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Chalk River, Ontario. *Canadian Forest Service Information Report No. PI-X-51*. 61pp.
- Alharthy A., Bethel J., and Mikhail E.M. (2004). Analysis and Accuracy Assessment of Airborne Laserscanning System. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS)*, Vol.35 (B2), 144.
- Alias Abdul Rahman (1994). Digital Terrain Model Data Structures. *Buletin Ukur. Jld.* 5, No.1, ms. 61-72.
- Ahokas, E., Kaasalainen, S., Hyyppä, J. and Sauomalainen, J. (2006). Calibration of the Optech ALTM 3100 laser scanner intensity data using brightness targets. *ISPRS*



- Commission I Symposium, July 3–6, Marne-la-Vallee, France, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. 36 (A1).
- Arefi, H. and Hahn, M. (2005). A morphological reconstruction algorithm for separating off-terrain points from terrain points in laser scanning data. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36 (3/W19).
- Axelsson, P., (1999). Processing of laser scanner data - algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, pp. 138-147.
- Axelsson, P., (2000). DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B4, 110–17.
- Baharin Ahmad. (2008). Assessment and correction of DEM Generation from Airborne and Space Borne Radar System with reference to Geo-Hazard Identification in the Cameron Highland, Malaysia. UNSW .Phd Thesis
- Baltsavias, E.P. (1999a), *Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 54(2/3):164-198.
- Baltsavias, E. (1999b). Airborne Laser Scanning : Basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54 (2-3), pp. 199–214.
- Bamber, J.L., Ekholm, S., and Krabill, W.B. (2001). A new, high-resolution digital elevation model of Greenland fully validated with airborne laser altimeter data, *J. Geophys. Res.* 106 (B4) (2001) 6733– 6745.
- Bartier, P.M., and C.P. Keller, 1996. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW), *Computers & Geosciences*, 22(7):795–799.
- Bater, C.W., and Coops, N.C. (2009). Evaluating error associated with LiDAR-derived DEM interpolation. *Comput. Geosci.* 35(2): 289–300 Su, J., Bork, E., 2006.

- Influence of vegetation, slope and LiDAR sampling angle on DEM accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72 (11), 1265–1274.
- Bilskie, M.V. and Hagen, S.C., (2013). Topographic accuracy assessment of bare earth lidar-derived unstructured meshes. *Advances in Water Resources*, 52, 165–177.
- Blair, J. B., Coyle, D. B., Bufton, J., & Harding, D. J. (1994). Optimization of an airborne laser altimeter for remote sensing of vegetation and tree canopies. IGARSS-’94—surface and atmospheric remote sensing: technologies data analysis and interpretation ( pp. 939– 941). Pasadena, CA: IEEE.
- Blair, J., Rabine, D., Hofton, M., (1999). The laser vegetation imaging sensor: A medium -altitude digitisation-only, airborne laser altimeter for mapping vegetation and topo and topography. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54 (2-3), 115-122.
- Blair, J., Hofton, M., (1999). Modeling Laser Altimeter Return Waveform Over Complex Vegetation Using High-Resolution Elevation Data. *Geophysical Research Letters* 26 (16), 2509-2512.
- Bossler, J.D., Campbell, J.B., McMaster, R.B., Rizos, C. (2010) *Manual of Geospatial Science and Technology*. Second edition. CRC Press. Boca Raton, US, 791
- Bowen, Z.H., and R.G. Waltermire, 2002. Evaluation of light detection and ranging (LiDAR) for measuring river corridor topography, *Journal of the American Water Resources Association*, 38(1):33–41.
- Brenner, C. (2008). Aerial laser scanning. *International Summer School “Digital Recording and 3D Modeling”, Aghios Nikolaos, Crete, Greece.*  
[http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2006/brenner\\_tutorial\\_part1.pdf](http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2006/brenner_tutorial_part1.pdf).
- Brovelli, M.A., Cannata, M.A., Longoni, U.M. (2004). LiDAR Data Filtering and DTM Interpolation Within Grass. *Transaction in GIS*. Blackwell Publishing Ltd.
- Burrough, P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. *Monographs on Soil and Resources Survey No 12*. Clarendon Press, Oxford.
- Burrough, P. A., and R. A. McDonnell. 1998. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford. 333pp.

- Caruso, C., and F. Quarta, 1998. Interpolation methods comparison, *Computers and Mathematics with Applications*, 35(12):109–126.
- Chhatkuli, S., Mano, K., Kogure, T., Tachibana, K., and Shimamura, H. (2012). Fullwaveform lidar exploitation technique and its evaluation in the mixed forest hilly region”. In: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX - B7*, pp. 505–509. Doi: 10.5194/isprsarchives -XXXIX -B7--505
- Clark, M.L., Clark, D. B., and Roberts, D.A. (2004). Small-footprint LiDAR estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape, *Remote Sens. Environ.*, vol. 91, no. 1, pp. 68–89, May 2004.
- Cobby, D.M., Mason, D.C., and Davenport, I.J. (2001). Image processing of airborne scanning laser altimetry data for improved river flood modelling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, 121-138.
- Cowen, D.J., Jensen, J.R., Hendrix, C., M.E. Hoagson and Schill,S.R. (2000). A GIS-assisted rail construction econometric model that incorporates LIDAR data. *Photogrammetry*
- Cunningham, D., Grebby, S., Tansey, K., Gosar, A., & Kastelic, V. (2006). Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, southeastern Alps, Slovenia. *Geophysical Research Letters*, 33, 1–5.
- Chasmer, L., Hopkinson, C., & Treitz, P. (2004). Assessing the three dimensional frequency distribution of airborne and ground-based lidar data for red pine and mixed deciduous forest plots. Proceedings of the ISPRS working group VIII/2 'Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment' Freiburg, Germany, 03 – 06 October. *International Archives Of Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences Vol Xxxvi* (pp. 6670). (Part 8/W2)
- Chen, Q., Gong, P., Baldocchi, D. and Xin, G. (2007). Filtering airborne laser scanning data with morphological methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73(2), 175-185.
- Chen, N., Tang, G., Guo, D., Chen, C. (2014). Influence of DEM orientation on the error of slope calculation *Earth Sci Inform* (2014) 7:277–285

- Charaniya, A. P., Manduchi, R. and Lodha, S. K. (2004). Supervised parametric Classification of aerial LiDAR data. *Proceedings of 2004 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'04)*, Washington D.C, USA.
- Chauve, A., Mallet C., Bretar F., Durrieu S., Deseilligny Marc P., & Puech W. (2007). Processing full-waveform LIDAR data: Modelling raw signals. *ISPRS Workshop on Laser Scanning and SilviLaser*, Finland
- Chust, G., I. Galparsoro, A. Borja, J. Franco, and A. Uriarte, (2008). Coastal and estuarine Habitat mapping, using LIDAR height and intensity and multi-spectral imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 78, pp. 633-643 2008.
- Covasnianu, A. , Cazacu M, Libralesso, N., Galisson , L. , Memier, M., and Balin, I. (2007), Digital Terrain Model by airborne LIDAR technique: an essential tool for hydrologic risks assessment, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 9, No. 11, p. 3529 – 3532
- Craven, M., and Wing, M. (2014). Applying airborne LiDAR for forested road geomatics. *Scand. J. For. Res.*29 (2): 174–182
- Cressie, N. (1990), The origins of kriging, *Mathematical Geology* 22: 239–252.
- Dan, J. Yang, X. Shi, Y. Guo Y. (2014) Randon Error modelling and analysis of Airborne LiDAR system, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(7):3885–3893.
- Davenport, I., Holden, N. & Gurney, R. (2004). Characterising errors in airborne laser altimetry data to extract soil roughness, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.42(10): 2130-2141.
- Devereux, B., Amable, G., (2009). Airborne LiDAR: instrumentation, data acquisition and handling. In: Heritage, G.L., Large, A.R.G. (Eds.), *Laser Scanning for the Environ- mental Sciences*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK
- Doneus, M. and Briese, C., (2006). Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning. In: *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*, Zypern.

- Drake, J.B., Dubayah, R.O., Clark, D.B., Knox, R.G., Blair, J.B., Hofton, M.A., Chazdon, R.L., Weishampel, J.F. & Prince, S.D. (2002), *Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint LIDAR*, *Remote Sensing of Environment*. Vol. 79: 305-319.
- Dubayah, R.O. & Drake, J.B. (2000), *LiDAR remote sensing for forestry applications*, *Journal of Forestry*, vol. 98(6): 44-46.
- Dubayah, R.O., Knox, R.G., Hofton, M.A., Blair, J.B. & Drake, J.B. (2000), *Land surface characterisation using LIDAR remote sensing*, In: Hill, M., and Aspinall, R. (eds) 2000: *Spatial information for land use management*. International Publishers Direct, Sydney, Australia: Gordon and Breach, p25–38.
- Ellis, E. (2007). Land-use and land-cover change. In: *Encyclopedia of Earth*. Eds. Pontius R., Cleveland C.J. [http://www.eoearth.org/article/Land-use\\_and\\_land-cover\\_change](http://www.eoearth.org/article/Land-use_and_land-cover_change)
- Erdogan, S. (2010). Modelling the spatial distribution of DEM error with geographically weighted regression: An experimental study. *Computers and Geosciences* 36: 34–43
- Evans, D.L., Roberts, S.D., McCombs, J.W. & Harrington, R.L. (2001), *Detection of regularly spaced targets in small foot-print LIDAR data: research issues for consideration*, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol 67(10): 1133-1136.
- Evans, J.S.; Hudak, A.T. (2007) A multiscale curvature algorithm for classifying discrete return lidar in forested environments. *IEEE Trans. Geosci. Remot. Sen.* 45, 1029-1038
- Fekete B.M, Vörösmarty C.J, Roads J.O, Willmott C.J (2004) Uncertainties in precipitation and their impacts on runoff estimates. *J Clim* 17:294– 304
- Fernando Leonardi, Almeida C., Fonseca L, Tomás, L., Albuquerque L.G., Oliveira, C. (2012), “Elevation Accuracy Assessment of a DSM and DTM Generated for an Urban Area from the ALTM 2025 Airborne Laser Scanning Sensor”, In: *Proceedings of 2012 Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications - EORSA*
- Filin, S. (2002). Surface clustering from airborne laser scanning data. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXIV, 119-124.

- Filin, S. (2003). Analysis and implementation of a laser strip adjustment model, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(Part 3/W13):65–70.
- Filin, S. and Pfeifer, N. (2006) Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 60(2), 71–80.
- Flood, M., (2004). ASPRS guidelines. Vertical accuracy reporting for LiDAR data. <http://www.asprs.org/society/divisions/ppd/standards/LiDAR%20guidelines.pdf> [Accessed: 03 March 2010].
- Gallay, M., Lloyd, C.D., McKinley, J. and Barry, L., 2013. Assessing modern ground survey methods and airborne laser scanning for digital terrain modelling: A case study from the Lake District, England. *Computers & Geosciences*, 51, 216–227.
- Gong, J., Z. Li, Q. Zhu, H. Sui, and Y. Zhou, 2000. Effects of various factors on the accuracy of DEMs: An intensive experimental investigation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(9):1113–1117.
- Gomes Pereira, L.M. and Wicherson, R.J. (1999a). Suitability of laser data for deriving geographical information: a case study in the context of management of fluvial zones. *ISPRS J. Photogramm. Rem. Sens.* 54 (2/3), 105–114.
- Gomes Pereira, L. M. and Janssen, L. L. F. (1999). Suitability of laser data for DTM generation: a case study in the context of road planning and design design. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 244–253.
- Gonçalves, G., & Pereira, L. (2012). A thorough accuracy estimation of DTM produced from airborne full-waveform laser scanning data of unmanaged eucalypt plantation *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*
- Gonçalves-Seco, L., Miranda, D., Crecente, R., Farto J., (2006). Digital Terrain Model generation using airborne LIDAR in forested area of Galicia, Spain. *Proceedings of 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Págs. 169-180. Lisbon, Portugal.

- Goodwin, N. R., Coops, N. C. and Culvenor, D. S., (2006). Assessment of forest structure with airborne LiDAR and the effects of platform altitude. *Remote Sensing of Environment*, 103(2): 140–152.
- Garnero, G. and Godone D. (2013). “Comparisons between different interpolation techniques.” *The Role of Geomatics in Hydrogeological Risk*, 27-28 February, Padua, Italy *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XL-5/W3, pp. 139-144, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W3-139-2013
- Guo, Q. W., Li, H. Yu., and Alvarez, O., (2010): Effects of Topographic Variability and LiDAR Sampling Density on Several DEM Interpolation Methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 76(6) 701-712.
- Han Hu, Y. Ding, Q. Zhu, B. Wu, H. Lin, Z. Du, Y. Zhang, and Y. Zhang, “An adaptive surface filter for airborne laser scanning point clouds by means of regularization and bending energy,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* , vol. 92, pp. 98–111, 2014.
- Harding. D. J. (2000), "Principles of airborne laser altimeter terrain mapping", NASA's Goddard Space Flight Center
- Harding, D. J., J. B. Blair, J. G. Garvin, and W. T. Lawrence. (1994). Laser altimeter waveform measurement of vegetation canopy structure. *Proceedings of IGARSS'94*.
- Harlick R. M. Sternberg R S. and Zhuang X, (1987).Image Analysis using mathematical Morphology. *IEEE Tran. on Pattern analysis and Machine Vision*, Vol. 9(4), PP. 532-550.
- Hasegawa, H. (2006). Evaluations of LiDAR reflectance amplitude sensitivity towards land cover conditions, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, vol. 53, pp. 43– 50, Mar. 2006.
- Hyde, P., Dubayah, R., Peterson, B., Blair. J.B, Hofton, M., Hunsaker, C., Knox. R., Walker, W. (2005).Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using waveform LiDAR: Validation of montane ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 96:427- 437.

- Habib, A. F., Bang, K.I., Kersting, A., and Lee D.C. (2009). Error budget of LiDAR systems and quality control of the derived data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 75, No. 9, pp. 1093-1108.
- Huising, E.J., Gomes Pereira, L.M., (1998). Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp. 245-261.
- Hodgson, M.E., Jensen J. R., Schmidt, L., Schill, S. and Davis, B. (2003). An evaluation of LiDAR- and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs, *Remote Sensing of Environment*, 84(2):295–308.
- Hodgson, M.E. and Bresnahan, P. (2004). Accuracy of airborne LiDAR-derived elevation: Empirical assessment and error budget, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(3):331–33.
- Hodgson, M.E., Jensen, J.R., Raber, G.T., Tullis, J.A., B. Davis, Schuckman, K. and Thompson, G. (2005). An evaluation of LiDAR-derived elevation and terrain slope in leaf-off conditions, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(12): 817– 823.
- Höfle B, Hollaus M , and Hagenauer J, (2012). Urban vegetation detection using a diometrically calibrated small-footprint full-waveform air-borne LiDAR data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* , vol. 67, pp. 134–147.
- Höhle J, Höhle M. (2009). Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, 398-406.
- Holmgren, J. (2003). Estimation of Forest Variables using Airborne Laser Scanning. Doctoral Dissertation. Department of Forest Resource Management and Geomatics. Umeå°, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences (41 pp.)
- Hopkinson, C., Chasmer, L. E., Zsigovics, G., Creed, I., Sitar, M., Kalbfleisch, W., et al. (2005). Vegetation class dependent errors in LiDAR ground elevation and canopy height estimates in a Boreal wetland environment. *Canadian Journal of Remote Sensing* , 31 (2), 191 – 206



- Hu, Y. (2003). *Automated extraction of digital terrain models, roads and buildings using airborne LiDAR data*, (PhD Thesis). Calgary, Alberta, Canada: Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary.
- Hu, Y. and Tao, C.V. (2005). Hierarchical recovery of digital terrain models from single and multiple return LiDAR data, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 4, pp. 425–433.
- Hudak, A.T., Lefsky, M.A., Cohen, W.B. & Berterretche, M. (2002), *Integration of LIDAR and Landsat ETM+ data for estimating and mapping forest canopy height*, *Remote Sensing of Environment*. Vol.82: 397-416.
- Hug, C., Ullrich, A., Grimm, A.(2004). Litemapper-5600 A waveform-digitizing LIDAR terrain and vegetation mapping system. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (Part 8/W2), 24-29.
- Huising, E.J., Gomes Pereira, L.M., 1998. Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp. 245-261.
- Hyde, P., Dubayah, R., Peterson, B., Blair, J., Hofton, M., Hunsaker, C., Knox, R., Walker, W., (2005). Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using waveform lidar: Validation of montane ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 96 (3-4), 427-437.
- Hyypä, J., Pyysalo, U., Hyypä, H. and Samberg, A. (2000). Elevation accuracy of laser scanning-derived digital terrain and target models in forest environment, *Proceedings of the 20th EARSeL Symposium and Workshops, LiDAR Remote Sensing of Land and Sea*, 14–16 June, Dresden, Germany.
- Hyypä, H., Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Honkavaara, E., Rönnholm, P. (2005). Factors Affecting the Quality of DTM Generation in Forested Areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol XXXVI 3/W-19.

- Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia (2016, Oktober). Jenis Hutan. Diperolehi dari Halaman Web Jabatan Perhutanan Semenanjung Malaysia. <http://www.forestry.gov.my>.
- Jacobsen, K. and Lohmann, P.(2003). Segmented filtering of laser scanner DSMs. In Proceedings of the ISPRS Working Group III/3 *workshop „3-D Reconstruction From Airborne Laserscanner and InSAR Data“*, Dresden, Germany
- Jahromi AB, Zoej MJV, Mohammadzadeh A,SadeghianS. (2011) A novel filtering algorithm for bare-earth extraction from airborne laser scanning data using an artificial neural network. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* ;4:836–43.
- James, L. A., Watson, D. G. and Hansen, W. F. (2007). Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA. *CATENA*, 71, 132-144.
- Jenness, J., 2013. DEM Surface Tools for ArcGIS. Jenness Enterprises. Available at: [http://www.jennessent.com/DEM surface tools for ArcGIS.pdf](http://www.jennessent.com/DEM%20surface%20tools%20for%20ArcGIS.pdf)
- Johnston, K., J. M. Ver-Hoef, K. Krivoruchko, and N. Lucas. (2001). Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI. Redlands, 300pp.
- Jonas, D.A. and Byrne, P. (2003), Airborne laser scanning: beyond its formative years, *In: Proceedings of the Spatial Sciences Conference*. Canberra, Australia.
- Kilian, J., Haala, N., English, M., (1996). Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B3, Vienna, Austria, pp. 383–388.
- Kim, K., and Shan, J., (2011). Adaptive morphological filtering for DEM generation. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. pp. 2539-2542.
- Klang D & Burman H (2005): Airborne Laser Scanning, an Efficient Revision Procedure for the Swedish Digital Elevation Model. Vienna University of Technology, *7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques*, October 3-5 2005, ,Proceedings, Vienna, Austria.
- Kobler, A., Pfeifer, N., Peter Ogrinc, Todorovski, L., Oštir, K. and Džeroski, S. (2007). Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment* 108,

9-23.

- Korpela, I.; Ørka, H.O.; Maltamo, M.; Tokola, T.; Hyypä, J. (2010). Tree species classification using airborne LiDAR—Effects of stand and tree parameters, downsizing of training set, intensity normalization, and sensor Type. *Silva Fennica*, 44, 319-339.
- Kumar R dan Chatterjee C (2006). Discussion of “Regional Flood Frequency Analysis Using L-Moments for North Brahmaputra Region of India” *Jornal of Hydrographic Engineering @ ASCE*, August:379
- Krabill, W.B., Wright, C., Swift, R., Frederick, E., Manizade, S., Yungel, J, Martin, C., Sonntag, J, Duffy, M., Hulslander, W. and Brock, J. (2000). Airborne Laser Mapping of Assateague National Seashore Beach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66:65-71.
- Krabill, W.B., Abdalati, W., Frederick, E.B., Manizade, S.S., Martin, C.F., Sonntag, J.G., Swift, R.N., Thomas, R.H. and Yungel, J.G. (2002). Aircraft laser altimetry measurement of elevation the Greenland ice sheet: technique and accuracy assessment, *Journal of Geodynamics*, 34:357–376.
- Kraus, K. (1997). Restitution of airborne laser scanner data in wooded areas. *Proceedings of the EARSeL 3rd Workshop on Laser Remote Sensing of Land and Sea*, Tallinn, Estonia, pp. 97–104
- Kraus, K. and Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, pp. 193–203.
- Kraus, K. and Rieger, W. (1999). Processing of laser scanning data for wooded areas. *Photogrammetric Week '99*, Fritsch, D., Spiller, R., Eds.; Wichmann Verlag: Stuttgart, Germany, pp. 221-231.
- Langridge, R.M., Ries, W.F., Farrier, T., Barth, N.C., Khajavi, N. De Pascale, G.P., 2014. Developing sub 5-m LiDAR DEMs for forested sections of the Alpine and Hope faults, South Island, New Zealand: implications for structural interpretations. *J. Struct. Geol.* 64, 53–66.

- Leckie, D., F. Gougeon, D. Hill, R. Quinn, L. Armstrong, and R. Shreenan, (2003). Combined high-density lidar and multispectral imagery for individual tree crown analysis, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(5):633–649.
- Lee, T.J, Angle, R. and Micheal D. D' Amore (2008). *Steep Slopes: Guide, Model Regulations*. Pennsylvania Department of Conservation and Natural Resources, Bureau of Recreation and Conservation, Growing Greener Environmental Stewardship Fund, administered by the D&L NHC, Inc.
- Lee, H. S. and Younan, N. H. (2003). DTM extraction of LiDAR returns via adaptive processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41(9), 2063- 2069
- Lemmens, M. 2007: Airborne LiDAR Sensors. *GIM International* 21(2).
- Lemmens, M. (2009) Airborne LiDAR Sensor, *GIM international* (online) February 2010 pp 16-19 Available:<http://www.gim-international.com/productsurvey/id31>
- Lefsky , M.A., Harding, D., Cohen, W.B., Parker,G. and Shugart, H.H. (1999): Surface LiDAR remote sensing of basal area and biomass in deciduous forests of Eastern Maryland, USA. *Remote Sensing of Environment* 67, 83–98
- Lefsky, M.A., W.B. Cohen, G.G. Parker, and D.J. Harding.(2002). LiDAR remote sensing for ecosystem studies, *Bioscience*, 52(1):19–30.
- Lewis, P. and Hancock, S. (2007). “LiDAR for vegetation applications”. In: UCL, Gower St, London, UK
- Li, Y., Dai, M., Wang, M., Huang, Z. (2010). An Improved Filtering Method for Digital Elevation Models Construction Based on LiDAR. *Geoinformatics, 18th International Conference* on 18-20 June, Beijing pp 1 – 5
- Li, Y. and Wu H (2009). DEM extraction from LIDAR data by morphological gradient”, Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, DOI: 10.1109/NCM.2009.46, pp. 1301 – 1306
- Li, Y., Wu H, Xu H., An R., Xu J., He Q. (2013), A gradient-constrained morphological filtering algorithm for airborne LiDAR. *Optics & Laser Technology* , 54(0):288-296 .
- Li, Z., Zhu, Q, and Gold, C. (2005). *Digital Terrain Modeling*. San Francisco: CRC Press.

- Lichti, D.D., Gordon, S.J., and Stewart, M.P. (2003). Ground-based laser scanners: operation, systems and applications. *Geomatica*, 56: 21–33.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M.A., St-Onge, B., Flood, M. (2003) LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress Phys Geogr* 27:88–106
- Lindenberger, J. (1989). Test result of laser profiling for topographic terrain survey. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 13, pp. 25-39.
- Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J. and Chandra, S. (2007). The effect of LiDAR data density on DEM accuracy, *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07)*, Christchurch, New Zealand.
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Prog. Phys. Geog.*, 32, 31-49.
- Lloyd, C.D., and P.M. Atkinson, (2002). Deriving DSMs from lidar data with kriging. *International Journal of Remote Sensing*, 23(12):2519–2524.
- Lohmann, P., Koch, A. and Schaeffer, M. (2000). Approaches to the filtering of laser scanner data. *Proceedings of XIXth Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 534–547.
- Lohmann, P. (2002). Segmentation and filtering of laser scanner digital surface models. IAPRS vol. 34 (2, WG II/2, August 22-23, Xi'an, China), pp. 311–315.
- Lovell, J., Culvenor, D., Newnham, G., Jupp, D. & Coops, N. (2003). Efficient LiDAR data processing for forest inventory, *Spatial Sciences Conference*. Canberra, Australia
- MacLean, G.A. and Krabill, W.B. (1986) Gross-merchantable timber volume estimation using an airborne LiDAR system. *Canadian Journal of Remote Sensing* 12, 7–18
- Magnusson, M., Fransson, J.E.S. and Holmgren, J. (2007). Effects on estimation accuracy of forest variables using different pulse density of laser data. *Forest Science* 53, 619–26.
- Maguya, A. S; Junttila, V.; Kauranne, T. (2013). Adaptive algorithm for large scale dtm interpolation from LiDAR data for forestry applications in steep forested terrain. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 85, 74–83.

- Maguya A.S, Junttila, V and Kauranne, T. (2014). Algorithm for Extracting Digital Terrain Models under Forest Canopy from Airborne LiDAR Data” *Remote Sens* 6 , pp. 6524 - 6548.
- Mallet, C. and Bretar, F. (2009). Full-waveform topographic LiDAR: state-of-the-art. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 64, 1–16.
- Maune D.F. (2010). Digital Elevation Model (DEM) Whitepaper: NRCS High Resolution Elevation Data, Dew berry, Arlington, pp. 3–19
- Mazlan Hashim, Wan Hazli Wan Kadir, Lee Ken Yoong (1999). Global Rainforest Mapping Activities in Malaysia: Radar Remote Sensing for Forest Survey and Biomass Indicators; JERS-1 Science Program 99 *PI Reports: Global Forest Monitoring and SAR Interferometry*, Earth Observation Research Centre, National Space Development of Japan, 63-70.
- Means, J.E., Acker, S.A., Fitt, B.J., Renslow, M., Emerson, L., Hendrix, C., (2000). Predicting forest stand characteristics with airborne scanning lidar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66 (11) , 1367-1371
- Meng, X., Wang, L., Silván-Cárdenas, J.L., Currit, N. (2009). A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 2009, 64, 117-124.
- Meng X, Currit N, Zhao K (2010) Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: a review of critical issues. *Remote Sens* 2(3):833–860
- Meyer W.B. (1995). Past and present land use and land cover in the USA. *Consequences*, Spring 1995: 25–33
- Mongus D, Žalik B. (2012) Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and RemoteSensing* 2012;67:1–12.
- Nelson, R., Olderwald, R. and Gregoire, T.G. (1997). Separating the ground and airborne laser sampling phases to estimate tropical forest basal area, volume and biomass, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 60(3): 311-326.
- Naesset E., Okland T (2002). Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve. *Remote Sensing of Environment* 79: 105–115.

- Otepka, J.; Ghuffar, S.; Waldhauser, C.; Hochreiter, R.; Pfeifer, N. (2013) Georeferenced Point Clouds: A Survey of Features and Point Cloud Management. *ISPRS Int. J. GeoInf.*, 2, 1038–1065.
- Palace, M.W.; Sullivan, F.B.; Ducey, M.J.; Treuhaft, R.N.; Herrick, C.; Shimbo, J.Z.; Mota-E-Silva, J. (2015). Estimating forest structure in a tropical forest using field measurements, a synthetic model and discrete return LiDAR data. *Remote Sens. Environ.*, 161, 1–11.
- Peng, M. -H., & Shih, T. -Y. (2006). Error assessment in two lidar-derived TIN datasets. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2 , 933 -947
- Pfeifer, N., Reiter, T., Briese, C. and Rieger, W. (1999). Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 32(3/W14), 31-36
- Pfeifer, N., Stadler, P. and Briese, C. (2001). Derivation of digital terrain model in the SCOP ++ environment. *Proceeding of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Terrain Model*, Stockholm, Sweden. Paper 4. 10 pages
- Pingel, T.J., Clarke, K.C., McBride, W.A., (2013). An improved simple morphological filter for the terrain classification of airborne LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 77, 21–30
- Polat, N., Uysal, M and Toprak A.S (2015a). An investigation of DEM generation process based on LiDAR data filtering, decimation, and interpolation methods for an urban area. *Measurement*, 75, 50–56.
- Polat, N and Uysal, M. (2015b). Investigating performance of airborne LiDAR data filtering algorithms for DTM generation, *Measurement* 63 : 61–68.
- Pradhan, B. and Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: back propagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 25, 747-759

- Quattrochi, D.A., and M.F. Goodchild, (1997). *Scale in Remote Sensing and GIS*, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rabbani, T., Van Den Heuvel, F.A., Vosselman, G. (2006). Segmentation of point clouds using smoothness constraint. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 36, 248-253.
- Raber, G.T., Jensen, J.R., Schill, S.R. and Schuckman, K.(2002). Creation of digital terrain models using an adaptive LiDAR vegetation point removal process, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(12):1307–1315.
- Raber, G.T., Jensen, J. R., Hodgson, M. E.,Tullis, J. A., Davis, B.A. and Berglend,J. (2007). Impact of LiDAR nominal post-spacing on DEM accuracy and flood zone delineation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 73(7), 793-804.
- Rainforest Journal, Rainforest info (2013, Julai). Perbezaan hutan primer dan hutan sekunder. Diperolehi dari Halaman Web Rainforest Journal, Rainforest Info. <http://www.rainforestjournal.com>
- Rasib, A.W., Ismail, Z., Rahman, M.Z.A., Jamaluddin, S., Kadir, W.H.W., Ariffin, A., & K.A.Razak (2013). Extraction of digital terrain model (DTM) over vegetated area in tropical rainforest using LiDAR. In, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Melbourne, Australia: IEEE
- Razak, K.A., Straatsma, M.W., Van Westen, C.J., Malet, J. P., de Jong, S.M (2011) Airborne laser scanning of forested landslide characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, 126: 186-200
- Razak, K.A., Santangelo, M., Van Westen, C.J.,Straatsma, M.W.,de Jong, S. M., (2013) Generating an optimal DTM from airborne laser scanning data for landslide mapping in a tropical forest environment . *Geomorphology* , 190, 112-125.
- Rees, G. (1999), *The remote sensing data book*. Cambridge University Press. *Geomorphology* 126: 186-200
- Reitberger, J., Schnörr, C., Krzystek, P., Stilla, U., (2009). 3D segmentation of single trees exploiting full waveform LIDAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64 (6), 561–574
- Reutebuch, S., McGaughey, R., Andersen, H. and Carson, W. (2003). Accuracy of a



- high-resolution LIDAR terrain model under a conifer forest canopy, *Can. J. Rem. Sen.* Vol 29(5): 527-535.
- Reutebuch, S., Andersen, H. and McGaughey, R. (2005). Light Detection and Ranging (LIDAR): An emerging tool for multiple resource inventory, *Journal of Forestry*. Vol. 103(6): 286-292.
- Rutzinger, M., Höfle, B., Hollaus, M., Pfeifer, N., (2008). Object-based point cloud analysis of full-waveform airborne laser scanning data for urban vegetation classification. *Sensors* 8 (8), 4505–4528.
- Sabatini R, Richardson M.A., Gardi A, Ramasamy .S. (2015) Airborne laser sensors and integrated systems. *Progress in Aerospace Sciences*, 79:15–63
- Salleh M.R.M, Ismail, Z. dan Rahman, M.Z.M (2015) Accuracy Assessment of LiDAR-Derived Digital Terrain Model (DTM) With Different Slope and Canopy Cover in Tropical Forest Region . *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-2/W2, 2
- Samberg , A. (1997). What laser scanning can do today: current techniques. *In EARSeL Advances in Remote Sensing. Yearbook* , Vol. 5, pp. 114–119 (Paris: EARSeL).
- Schenk, T., (2001). Modeling and Analyzing Systematic Errors of Airborne Laser Scanners , Technical Notes in Photogrammetry No. 19, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 40 p
- Schenk, T., Csatho´, B., Lee, D. C., (1999). Quality control issues of airborne laser ranging data and accuracy study in an urban area. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32 (3W14), 101– 108.
- Schenk, T., Seo S., Csatho, B.(2001). Accuracy Study of Airborne Laser Scanning Data with Photogrammetry, *IAPRS*, Vol XXXIV-3W4, Annapolis, MD, Oct 22-24, 2001.
- Schickler, W. and Thorpe, A. (2001). Surface estimation based on LiDAR. In *Proceedings of ASPRS Annual Conference*, St. Louis, MO, USA, April 2001.

- Shan, J. and Sampath, A. (2005). Urban DEM generation from raw LiDAR data: a labelling algorithm and its performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 71(2), 217-226.
- Shan, J. and Toth, C. K., (2009). *Topographic Laser Ranging and Scanning*, CRC Press, Boca Raton, US, 590p.
- Silvan-Cardenas JL, Wang L. (2006) A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* ;61:11–22.
- Simard, R., Belangar, P., Mohamed, M. R., Othman, M. A. (2003) Airborne LiDAR Survey- An Economic Technology for Terrain Data Acquisition, *Map Asia*.
- Silván-Cárdenas, J. L. and Wang, L. (2006). A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 61(1), 11-22.
- Sithole, G. (2001). Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens.* , 34-3/W4, 203-210.
- Sithole, G., Vosselman, G., 2003. ISPRS comparison of filters. Delft University of Technology, Tech. Rep. Commission III/WG3, available online: <http://enterprise.lr.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/Report05082003>.
- Sithole, G., and G. Vosselman, (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare- Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59(1-2), 85-101.
- Soininen A (2003) TerraScan. User guide
- Sohn, G. and Dowman, I. (2002). Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL criterion. *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 34, Part 3A, pp. 336–344.
- Song, J. H., Han, S. H., Yu, K. and Kim, Y. I. (2002). Assessing the possibility of land-cover classification using LiDAR intensity data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 34(Part 3A), 259- 262.
- Song J, Wu J, Jian Y. (2015) Extraction and reconstruction of curved surface buildings by contour clustering using airborne LiDAR data *Optik* 126: 513–521

- Soille P, Morphological Image Analysis (2003). Principles and Applications , 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 199–201.
- Spaete Lucas P., Glenn, N.F., Derryberry, D. R, Sankey, Temuulen, T., Mitchell, J. J., & Hardegree, S. P., (2010). Vegetation and slope effects on accuracy of a LiDAR-derived DEM in the sagebrush steppe. *Remote Sensing Letters*, 2(4), 317-326.
- Stereńczak, K. (2010). DTM Generated from LiDAR data under forest condition ISPRS CaGIS. *Fall Specialty Conference*, Nov 15-19. Orlando Florida
- Stoimen (2012) Stoimen's web log: Computer Algorithms: Brute Force String Matching. March 2012
- Suhaimi Jamaludin, & Ahmad Nadzri Hussein. (2006). Landslide Hazard and Risk Assessment: The Malaysian experience. *IAEG2006*.
- Sulaiman, N.S. Majid, Z. dan Setan, H. (2010). DTM generation from LiDAR data by using different filters in open- source software. *Geoinformation Science Journal* 10: 89-109.
- Su, J., dan Bork, E. (2006). Influence of vegetation, slope and lidar sampling angle on DEM accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72(11), 1265–1274.
- Tarolli P. (2014). High-resolution topography for understanding Earth surface processes: opportunities and challenges, *Geomorphology* 216 : 295 – 312.
- Thiel, K.H. dan Wehr A. (2004). Performance Capabilities of Laser-Scanners – An Overview and Measurement Principle Analysis, *In: Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment*, Freiburg, Germany 03- 06 October 2004, pp 14-18.
- TerraSolid, (2010). URL [www.terrasolid.fi/system/files/tscan\\_1.pdf](http://www.terrasolid.fi/system/files/tscan_1.pdf) : visited Jan 2010
- Thompson, J.A., J.C. Bell, and C.A. Butler, (2001). Digital elevation model resolution: Effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling, *Geoderma*, 100:67–89.
- Toth, C. (2010). Airborne LiDAR Technology: The State-of-the-Art and Future Trends. *Latin American Remote Sensing Week (LARS)*.
- Tóvári, D., and Pfeifer, N., (2005). Segmentation based robust interpolation – A new

- Approach to laser data filtering. In IAPRS, Vol. 36, 3/W19, Enschede, The Netherlands, pp. 79-84.
- Turner, R, (2007). An overview of Airborne LIDAR applications in New South Wales state forests. In: Growing Forest Values. Proceedings of ANZIF 2007 conference, Coffs Harbour, Australia, 3-7 June 2007. Institute of Foresters of Australia and New Zealand Institute of Forestry, Canberra, Australia, 22 p. URL: <http://www.forestry.org.au/pdf/pdf-public/conference2007/papers/Turner%20Russell%20Lidar.pdf> (10 Februari 2016)
- UGSG The National Map (2015, November). 3D Elevation Programme. Dicapai dari halaman web <http://nationalmap.gov/3DEP>
- UGSG National Wetland Research Centre (2015, September). Land use. Dicapai dari halaman web <http://www.nwrc.usgs.gov/sandt/landuse.pdf>
- Ullrich, A., Studnicka, N., Hollaus, M., Briese, C., Wagner, W., Doneus, M. and Mücke, M. (2008). Improvements in DTM generation by using full-waveform airborne laser scanning [Accessed: 28 Feb, 2010]. [http://www.riegl.com/airborne\\_scanners/airborne\\_photo\\_gallery/downloads/](http://www.riegl.com/airborne_scanners/airborne_photo_gallery/downloads/)
- Ussyshkin, V., and Theriault, L. (2011) Airborne lidar: Advances in discrete return technology for 3D vegetation mapping. *Remote Sens*, 3, 416–434.
- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *Int Arch Photogrammetry, Remote Sens.*, XXXIII, 935-942.
- Wagner, W., Ullrich, A., Melzer, T., Briese, C., Kraus, K. (2004). From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, part B3, pp.201-206.
- Wagner, W., Ullrich, A., Ducic, V., Melzer, T. and Studnicka, N. (2006): Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitizing airborne laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60, 100-112.
- Wang, C. and Glenn, N.F. (2009). Integrating LIDAR intensity and elevation data for terrain characterization in a forested area. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 6(3), 463–466.

- Wang, C.K.; Tseng, Y.H. (2010). DEM generation from airborne LiDAR data by adaptive dual- directional slope filter. *Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spat. Inform. Sci* , 38(Part 7B), 628–632.
- Wang B., Shi W., and Liu E. (2015). Robust methods for assessing the accuracy of linear interpolated DEM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34 .198–206
- Watt, P.J., Donoghue, D.N.M., McManus, K.B., Dunford, R.W., (2004). Predicting forest height from IKONOS, LANDSAT and LIDAR data. In. The International
- Webster, T. L. and Dias, G. (2006). An automated GIS procedure for comparing GPS and proximal LiDAR elevations. *Computers & Geosciences* 32(6), 713-726.
- Wehr, A. (2009). LiDAR Systems and Calibration. In Shan, J., Toth, C. K. (Eds.) *Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing* .pp. 129 -172.
- Wehr, A. and Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning - an introduction and overview, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 54(2/3):68-82.
- Wechsler S.P. (2010). Development of a LiDAR Derived Digital Elevation Model (DEM) as Input to a METRANS Geographic Information System (GIS), College of Liberal Arts California State University Long Beach
- Weller, D., Denham, R., Witte, C., Mackie, C., and Smith, D. (2003). Assessment and monitoring of foliage projected cover and canopy height across native vegetation in Queensland, Australia, using laser profiler data, *Can. J. Rem. Sens.* 29(5), 578–591.
- Whitman, D.; Zhang, K.; Leatherman, S.P.; Robertson, W. (2003). Airborne laser topographic mapping: application to hurricane storm surge hazards. In *Earth Science in the Cities: A Reader*; Heiken, G., Fakundiny, R., Sutter, J., Eds.; American Geophysical Union: Washington, DC, USA, 2003, pp. 363-376.
- Yan, W.Y, Shaker, A, EI-Ashmawy, N. (2015). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. *Remote Sens. Environ.* 158, 295–310.
- Yong Li and Huayi W. (2009) Dem extraction from lidar data by morphological gradient. In *Proceedings of The Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, NCM 2009, Seoul, Korea, 25–27 August 2009*

- Yong Li (2013). Filtering airborne LiDAR data by improved morphological method based on multi-gradient analysis. *Int. Arch. Photogr., Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 40 (Part 5/W1), 191–194
- Yoon, J.S.; Sagong, M.; Lee, J.S.; Lee, K. (2009) .Feature extraction of a concrete tunnel liner from 3D laser scanning data. *NDT E Int.*, 42, 97–105.
- Yoon, J.S., Shin, J.I., and Lee, K.S. (2008). Land cover characteristics of airborne LiDAR intensity data: a case study. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(4), pp. 801- 805.
- Yu, H., Lu, X., Ge, X., and Cheng G. (2010). Digital terrain model extraction from airborne LiDAR data in complex mining area[C]. 18th International Conference on Geoinformatics. IEEE, pp 1–6
- Yusoff W.Z.W dan Sahak F.H (2005). Acquisition of an airborne laser scanning system (ALSS) and Digital Camera System (DCS) by JUPEM. Buletin GIS, Jawatankuasa Pemetaan data spatial Negara, bil 1 ISBN 1394 5505
- Zakšek, K. and Pfeifer, N. (2006) . An improved morphological filter for selecting relief points from a LIDAR point cloud in steep areas with dense vegetation”. *Technical Report at Delft Institute of Earth Observation and Space systems of The Netherlands.*
- Zhang, K., S. Chen, D. Whitman, M. Shyu, J. Yan, and C. Zhang, (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4):872–882.
- Zhang, K. and Whitman, D. (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne LiDAR data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 71, 313-324.
- Zhang K, Cui Z, (2007) Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools ALDPAT 1.0), International Hurricane Research Center, Department of Environmental Studies, Florida International University.
- Zhang, J.X.; Lin, X.G. (2013) Filtering airborne LiDAR data by embedding smoothness-constrained segmentation in progressive TIN densification. *ISPRS J. Photogramm* , 81, 44–59.

- Zhang, Y. and Meng, L. (2010). Study of the Airborne LIDAR Data Filtering Methods. *Geoinformatics, 18th International Conference* on 18-20 June, Beijing
- Ismail, Z., Rahman, M.Z.A., Salleh M.R.M , and Yusof A.R.M. (2015). "Accuracy Assessment of LIDAR-Derived Elevation Value Over Vegetated Terrain in Tropical Region." *Jurnal Teknologi*. 73
- Ismail, Z., Rahman, M.Z.A., Salleh M.R.M, Busu I., Ameruddin, S., and Kadir, W.H., (2015). "An Improved Progressive Morphological Filtering Algorithm Based on Spatially- Distributed Slope Value Over Tropical Vegetated Region ." *Jurnal Teknologi*. vol 77 No.26