

KAJIAN JARINGAN KAWALAN PUGAK
BAGI NEGERI SARAWAK

MOHAMAD ASRUL BIN MUSTAFAR

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik)

Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

APRIL 2005

DEDIKASI

*Teristimewa Buat
Ma, Abah dan Keluarga Tersayang
serta Ayang
Doa dan Restumu Mengiringi Kejayaan Ini

Terima Kasih Untuk Segalanya*

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur kehadiran Ilahi dengan limpah kurnianya dapat saya menyiapkan tesis ini. Berkat kesabaran dan sokongan orang tersayang dapat saya harungi segala kesukaran dalam melaksanakan kajian ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih yang tidak terhingga buat Prof. Madya Kamaludin Hj. Mohd Omar selaku penyelia yang telah banyak memberikan tunjuk ajar dan bimbingan dalam menyempurnakan tesis ini. Tidak lupa juga kepada Prof. Madya Dr. Shahrum Ses dan Prof. Madya Dr. Md. Nor Kamarudin di atas nasihat dan panduan dalam melaksanakan kajian ini.

Sekalung penghargaan buat staf-staf Seksyen Geodesi, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia cawangan Sarawak terutamanya Hj. Sulaiman, Nik Azman dan Salleh yang banyak meluangkan masa dan membantu dalam menyediakan data-data yang diperlukan dalam kajian ini. Jutaan terima kasih juga kepada Dr. Azhari dan Soeb di atas nasihat dan tunjuk ajar yang diberikan.

Buat Anual dan Nik Ashbil, terima kasih kerana sudi menjadi teman berbincang yang banyak memudahkan saya dalam menjalankan kajian ini. Saya juga berterima kasih kepada teman-teman yang membantu dalam melaksanakan cerapan GPS dan ukur aras jitu terutamanya Sudin, Nik, Jimmy, Ostad dan Fadhli. Pengorbanan mereka yang sanggup bersengkang mata dan meluangkan masa berjam-jam amatlah saya hargai. Ucapan terima kasih juga buat rakan seperjuangan, Mondali dan Khairudin yang turut menghulurkan bantuan dan sokongan. Akhir sekali, jutaan terima kasih buat Nora yang sudi memberi komen dan menyemak penulisan tesis ini.

Terima kasih buat semua yang terlibat dalam melaksanakan kajian ini.

ABSTRAK

Satu jaringan aras yang sempurna menjadi keperluan dalam meningkatkan infrastruktur ukur aras di negeri Sarawak. Pertama, tesis ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisa status ukur aras di Sarawak dan mendokumentasikannya. Keduanya, tujuan tesis ini adalah untuk mengkaji potensi penggunaan ukur aras GPS dengan menggunakan geoid jitu berserta jaringan ukur aras yang sedia ada di Sarawak. Sehingga September 2002, JUPEM Sarawak telah menyiapkan 19 laluan ukur aras jitu dan 55 laluan ukur aras kelas kedua. Analisa statistik dan pra-pelarasan jaringan dilaksanakan bagi menganalisa kualiti data ukur aras jitu. Jaringan yang tidak sempurna menyebabkan kesukaran dalam mengesan selisih yang wujud dalam data ukur aras di Sarawak. Di dalam data ukur aras jitu masih terdapat selisih kasar yang melibatkan sembilan beza tinggi. Teknik pemindahan aras GPS dilaksanakan bagi garisdasar 0.5 – 1.5km untuk mengatasi masalah pemindahan aras merentasi sungai. Pengukuran GPS dijalankan selama satu dan dua jam dengan menggunakan model geoid jitu, WMG03A dan EGM96. Cerapan selama dua jam dengan model geoid jitu memberikan hasil yang konsisten dengan RMS kurang dari 1.4mm. Bias datum pugak pula dihitung dengan menggunakan data cerapan GPS di atas tanda aras dengan ukuran kelas kedua. Didapati bias datum pugak relatif adalah tidak konsisten bagi jarak kurang dari 10km. Bias kurang dari 15ppm dapat diperolehi bagi jarak 10 – 55km dengan beza tinggi geoid 0.2 – 1.3m. Bagi beza tinggi geoid kurang dari 0.2m pula memberikan bias kurang dari 2ppm. Hasil kajian ini dijadikan panduan dalam merekabentuk satu jaringan aras yang menggabungkan ukur aras GPS dan konvensional.

ABSTRACT

The need for a proper levelling network has been the key requirement for modernizing the levelling infrastructure in the state of Sarawak. This thesis is aimed, firstly, to investigate and analyse the status of levelling data in Sarawak and to create a proper documentation of it. Secondly, the aim of the thesis is to study the potential use of GPS, combined with the newly establish precise geoid and the existing levelling network in Sarawak. Up to September 2002, DSMM Sarawak has already completed 19 lines of precise levelling and 55 lines of second-class levelling. Statistical test and pre-adjustment of the network are performed to analyse quality of the levelling data. The poor levelling network have caused difficulty in errors detection of levelling data. There are nine height differences in precise levelling data that still consist gross errors. GPS height transfer technique for 0.5-1.5 km baselines length were carried out for solving the problems of height transfer for river crossing. GPS measurements are performed for one and two hours using EGM96 and precise geoid model, WGM03A. Two hours observation using precise geoid gave consistent results and giving RMS differences of about $\pm 1.4\text{mm}$. Vertical datum biases are computed using GPS data on the second class benchmarks. Relative vertical datum biases are inconsistent for distances less than 10km. Bias that less than 15ppm is showed for distances 10 – 55km with geoid height differences 0.2 – 1.3m. The geoid height differences less than 0.2m represents bias below than 2ppm. This finding become as a guide for designing a network combine conventional and GPS levelling.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	JUDUL	i
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xii
	SENARAI RAJAH	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xix
I	Pengenalan Kajian	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Permasalahan Kajian	2
	1.3 Objektif Kajian	3
	1.4 Skop Kajian	4
	1.5 Metodologi Kajian	5
	1.6 Aliran Penulisan Bab	7
II	KONSEP PENUBUHAN JARINGAN UKUR	
	ARAS JITU	9
	2.1 Pengenalan	9
	2.2 Datum Pugak	10

2.3	Permukaan Samaupaya	12
2.4	Jenis Ketinggian	14
2.4.1	Ketinggian Dinamik	14
2.4.2	Ketinggian Orthometrik	15
2.4.3	Ketinggian Normal	16
2.5	Prinsip Pengukuran Aras Jitu	17
2.6	Proses Pengukuran Aras Jitu	18
2.7	Selisih-selisih Ukur Aras	20
2.7.1	Faktor Selisih pada Alat Aras	21
2.7.1.1	Selisih Kolimatan	21
2.7.1.2	Selisih Gelembung Udara	22
2.7.2	Faktor Selisih Pada Staf	23
2.7.2.1	Selisih Senggatan	23
2.7.2.2	Selisih Pengembangan Staf	23
2.7.2.3	Ketidaktegakan Staf	24
2.7.2.4	Ketidakstabilan Staf	24
2.7.3	Faktor Persekitaran	24
2.7.3.1	Kesan Kelengkungan Bumi	24
2.7.3.2	Kesan Biasan Atmosfera	25
2.8	Pelarasan Jaringan	26
2.8.1	Perambatan Selisih	26
2.8.2	Model Pelarasan	28
2.9	Konsep Ukur Aras GPS	30
2.9.1	Ketinggian Orthometrik GPS	31
2.9.1.1	Ketinggian Othometrik Tanpa Bias Datum Pugak	31
2.9.1.2	Ketinggian Othometrik Tanpa Dengan Datum Pugak	32
2.9.2	Model Geoid	33
2.9.3	Selisih Dalam Pengukuran Aras GPS	34
2.10	Kesimpulan	37

III	LATAR BELAKANG DAN STATUS JARINGAN UKUR ARAS BAGI NEGERI SARAWAK	
3.1	Pengenalan	38
3.2	Jaringan Ukur Aras Jitu Pertama	39
3.2.1	Datum Pugak Negeri Sarawak	41
3.2.1.1	Datum Original	41
3.2.1.2	Datum Pulau Lakei	42
3.2.1.3	Datum Bintulu	42
3.3	Jaringan Ukur Aras Baru	43
3.3.1		46
3.3.2	Ukur Aras Jitu	47
3.3.3	Ukur Aras Kelas Kedua	48
3.4	Permasalahan Dalam Penubuhan Jaringan Aras di Sarawak	52
3.4.1	Kemusnahan Tanda Aras	52
3.4.2	Pengukuran Merentasi Sungai Lebar	53
3.4.3	Ketiadaan Tutupan Gelong	54
3.4.4	Penggunaan Datum Yang Berbeza	54
3.5	Kesimpulan	54
IV	UJIAN STATISTIK DATA DAN PRA-PELARASAN JARINGAN UKUR ARAS JITU NEGERI SARAWAK	56
4.1	Pengenalan	56
4.2	Penurunan data	57
4.3	Penentusahan Data	58
4.4	Pengubahsuaian dan Penukaran Format	60
4.5	Perbandingan Beza Tinggi	62
4.6	Analisa Statistik	67
4.6.1	Ujian Kenormalan	69
4.6.2	Ujian Kerawakan	75
4.6.3	Taburan Beza Pergi-Balik Piawai	79

4.7	Kualiti Data Ukur Aras	82
4.8	Hitungan Pra-Pelarasan	85
4.8.1	Ujian Global	85
4.8.2	Penapisan Data	86
4.8.3	Ukuran Kebolehcayaan	87
4.8.4	Pra-Pelarasan Kawasan Miri-Sibu	88
4.8.5	Pra-Pelarasan Kawasan Kuching	93
4.9	Kesimpulan	96
V	POTENSI PENGGUNAAN UKUR ARAS GPS DALAM JARINGAN ARAS DI SARAWAK	98
5.1	Pengenalan	98
5.2	Simulasi Pemindahan Aras	99
5.2.1	Hasil Pengukuran Beza Tinggi	100
5.2.2	Perbandingan Ukur Aras GPS dan Ukur Aras Jitu	103
5.3	Ketidakteraturan Bias Datum Pugak	106
5.3.1	Data Hitungan Bias Datum Pugak	107
5.3.2	Bias Datum Pugak Mutlak	109
5.3.3	Bias Datum Pugak Relatif	111
5.3.3.1	Bias Datum Pugak Relatif Stesen ke Stesen	112
5.3.3.2	Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial	114
5.4	Kesimpulan	121
VI	CADANGAN PENUBUHAN JARINGAN UKUR ARAS DI SARAWAK	123
6.1	Pengenalan	123
6.2	Rekabentuk Jaringan Aras	123
6.3	Data Cerapan dan Pemberat	125
6.4	Cerapan Yang perlu Dilaksanakan	127
6.5	Pemilihan Datum	128

6.6	Model Pelarasan	128
6.7	Kesimpulan	129
VII	KESIMPULAN DAN CADANGAN	130
7.1	Pengenalan	130
7.2	Kesimpulan	131
7.3	Cadangan	135
	RUJUKAN	137
	Lampiran A-B	

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	HALAMAN
2.1	Ketepatan pengukuran Penerima Trimble 4700 GPS Total Station	36
3.1	Bacaan Purata Pasang Surut Miri Tahun 1934 - 1935.	41
3.2	Bacaan Purata Pasang Surut Pulau Lakei Tahun 1950-1951, 1955-1956	42
3.3	Senarai Laluan Ukur Aras Jitu Yang Telah Siap Diukur Sehingga September 2002	48
3.4	Senarai Laluan Ukur Aras Kelas Kedua Yang Telah Siap Diukur Sehingga September 2002	49
3.5	Sungai-sungai Yang Menghalang Kerja Pengukuran Aras	53
4.1	Perbezaan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu Lama dan Baru Yang Melebihi	63
4.2	Perbezaan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu Lama dan Baru bagi kawasan Kuching	65
4.3	Senarai Laluan Ukur Aras Yang Digunakan	67
4.4	Karakter Data Yang Digunakan Dalam Analisa Statistik	69
4.5	Hasil Hitungan Nilai Kecondongan dan Kurtosis	71
4.6	Ujian Khi Kuasa Dua Beza Pergi-Balik bagi Kawasan Miri-Sibu	74
4.7	Ujian Khi Kuasa Dua Beza Pergi-Balik bagi Kawasan Kuching	75

4.8	Hasil Ujian Larian	77
4.9	Hasil Ujian Kecenderungan	79
4.10	Sisihan Piawai per Kilometer Bagi Setiap Laluan	83
4.11	Sisihan Piawai per Kilometer bagi Kawasan Miri-Sibu dan Kuching	83
4.12	Ketinggian Tanda Aras Mula dan Akhir Setiap Laluan di Kawasan Miri-Sibu	91
4.13	Ketinggian Tanda Aras Mula dan Akhir Setiap Laluan Di Kawasan Kuching	95
5.1	Beza Tinggi Pengukuran Aras Jitu	100
5.2	Kriteria Penunjuk bagi Pemprosesan TGO Berdasarkan Garisdasar	101
5.3	Beza Tinggi Orthometrik GPS Berdasarkan EGM96	102
5.4	Beza Tinggi Orthometrik GPS Berdasarkan OSU91A	102
5.5	Perbezaan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Ukur Aras GPS bagi Garis Dasar 0.5km	103
5.6	Perbezaan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Ukur Aras GPS bagi Garis Dasar 1.0km	104
5.7	Perbezaan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Ukur Aras GPS bagi Garis Dasar 1.5km	104
5.8	Karakter Bias Datum Pugak Mutlak	109
5.9	Karakter Bias Datum Pugak Relatif Stesen ke Stesen	112
5.10	Karakter Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial	114
5.11	Senarai Garisdasar Selari dengan Garis Kontur Geoid	117
5.12	Kejituan Ukur Aras GPS Berdasarkan Beza Tinggi Geoid	119

6.1	Senarai Garisdasar Selari dengan Garis Kontur Geoid	125
6.2	Kejituan Ukur Aras GPS Berdasarkan Beza Tinggi Geoid	126

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1	Carta Alir Metodologi Kajian	6
2.1	Permukaan Rujukan	10
2.2	Permukaan Samaupaya dan Garis Plumbob	12
2.3	Ukur Aras dan Ketinggian Orthometrik	12
2.4	Dirisiap Alat, Titik Pindah dan Seksyen	17
2.5	Pengukuran Beza Tinggi Dalam Ukur Aras	18
2.6	Laluan Pergi Balik Ukur Aras	19
2.7	Pesongan Pugak	31
2.8	Ketinggian Orthometrik GPS Tanpa Bias Datum Pugak	32
2.9	Ketinggian Orthometrik GPS Dengan Bias Datum Pugak	33
3.1	Jaringan Penyegitigaan Utama Negeri Sarawak	40
3.2	Spesifikasi Tanda Aras Piawai	44
3.3	Spesifikasi Tanda Aras Biasa	45
3.4	Kemajuan Ukuran Aras Negeri Sarawak Sehingga September 2002	51
4.1	Carta Alir Penurunan Data dan Penukaran Format	57
4.2	Sebahagian fail kiraan bagi laluan Niah-Sebauh	59
4.3	Sebahagian Fail Format Levnet bagi laluan Miri- Bekenu Sebelum Pengubahsuaian	60
4.4	Sebahagian Fail Format Levnet bagi laluan Miri- Bekenu Selepas Pengubahsuaian	61

4.5	Sebahagian Fail Format Delfy bagi laluan Miri-Bekenu	61
4.6	Perbandingan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Kelas Kedua Bagi BM 1062 - BM 1057 - BM 1050	64
4.7	Perbandingan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Kelas Kedua Bagi FBM 970 - BM 961 - BM 838	64
4.8	Kedudukan BM 606 Dalam Laluan Ukur Aras Dari BM 608 - BM 705	64
4.9	Perbandingan Beza Tinggi Ukur Aras Jitu dan Kelas Kedua Bagi BM 1284 - BM 1275	66
4.10	Laluan Ukur Aras yang Digunakan dalam Analisa Statistik	68
4.11	Bentuk Lengkung Bagi Kecondongan dan Kurtosis	70
4.12	Histogram Beza Pergi-Balik Piawai bagi Kawasan Miri-Sibu	71
4.13	Histogram Beza Pergi-Balik Piawai bagi Kawasan Kuching	72
4.14	Taburan Beza Pergi-Balik Piawai Berdasarkan Laluan Miri - Bintulu - Sibu	80
4.15	Taburan Beza Pergi-Balik Piawai Berdasarkan Laluan Lundu - Kuching - Spg. Pantu	80
4.16	Taburan Beza Pergi-Balik Piawai Berdasarkan Beza Tinggi bagi Kawasan Miri-Sibu	81
4.17	Taburan Beza Pergi-Balik Piawai Berdasarkan Beza Tinggi bagi Kawasan Kuching	81
4.18	Taburan Sisihan Piawai per Kilometer Berdasarkan Bilangan Seksyen	84
4.19	Taburan Sisihan Piawai per Kilometer Berdasarkan Jarak Laluan Aras	84
4.20	Hasil Ujian Global bagi Pra-Pelarasan Kawasan Miri-Sibu	88

4.21	Hasil Ujian-w bagi Kawasan Miri-Sibu	89
4.22	Hasil Kebolehpercayaan Luaran bagi Kawasan Miri-Sibu	89
4.23	Kontur Sisihan Piawai dari Pra-Pelarasan Kawasan Miri-Sibu dan Kuching	90
4.24	Perbezaan Ketinggian Lama dan Baru dengan Ketinggian Lama Berdasarkan Datum Pulau Lakei	92
4.25	Perbezaan Ketinggian Lama dan Baru dengan Ketinggian Lama Berdasarkan Datum Bintulu	92
4.26	Perbezaan Ketinggian Lama dan Baru dengan Ketinggian Lama Berdasarkan Datum Original	93
4.27	Hasil Ujian Global bagi Pra-Pelarasan bagi Kawasan Kuching	93
4.28	Hasil Ujian-w bagi Kawasan Kuching	94
4.29	Hasil Kebolehpercayaan Luaran bagi Kawasan Kuching	94
4.30	Perbezaan Ketinggian Lama dan Baru dengan Ketinggian Lama bagi Kawasan Kuching	95
5.1	Kedudukan Stesen dan Garis Dasar	99
5.2	Perbandingan RMS Beza Tinggi Ukur Aras Jitu Dan Ukur Aras GPS dengan Selisih yang Dibenarkan Order I dan Order II	105
5.3	Kontur Ketinggian Geoid bagi Negeri Sarawak Berdasarkan EGM96	108
5.4	Bias Datum Pugak bagi Kawasan Kuching	110
5.5	Bias Datum Pugak bagi Kawasan Sarikei	110
5.6	Bias Datum Pugak bagi Kawasan Bintulu	111
5.7	Bias Datum Pugak Relatif Stesen ke Stesen bagi Kawasan Kuching	112
5.8	Bias Datum Pugak Relatif Stesen ke Stesen bagi Kawasan Sarikei	113

5.9	Bias Datum Pugak Relatif Stesen ke Stesen bagi Kawasan Bintulu	113
5.10	Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial bagi Kawasan Kuching	115
5.11	Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial bagi Kawasan Sarikei	115
5.12	Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial bagi Kawasan Bintulu	116
5.13	Taburan Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial Berdasarkan Jarak	116
5.14	Taburan Bias Datum Pugak Relatif Secara Radial Dalam ppm Berdasarkan Jarak	117
5.15	Taburan Bias Datum Pugak Relatif Berdasarkan Beza Tinggi Geoid	117
5.16	Bias Datum Pugak Relatif dalam ppm Berdasarkan Beza Tinggi Geoid bagi Jarak Kurang dari 10km	118
5.17	Bias Datum Pugak Relatif dalam ppm Berdasarkan Beza Tinggi Geoid bagi Kawasan Kuching	119
5.18	Bias Datum Pugak Relatif dalam ppm Berdasarkan Beza Tinggi Geoid bagi Kawasan Sarikei	119
5.19	Bias Datum Pugak Relatif dalam ppm Berdasarkan Beza Tinggi Geoid bagi Kawasan Bintulu	120
6.1	Cadangan Jaringan Ukur Aras bagi Negeri Sarawak	124

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	HALAMAN
A	Jadual perbezaan beza tinggi lama dan baru bagi kawasan Miri-Sibu	142
B	Jadual perbezaan beza tinggi lama dan baru bagi kawasan Kuching	144

BAB 1

PENGENALAN KAJIAN

1.1 Pengenalan

Maklumat ketinggian bagi sesuatu titik di permukaan bumi diperlukan semenjak kewujudan manusia. Pengetahuan mengenai ketinggian menjadi maklumat penting dalam peradaban manusia, binaan dan bangunan lama yang masih berdiri teguh sehingga kini menjadi buktinya. Penentuan aras yang paling mudah adalah dengan menggunakan tiub-U yang diisi dengan air. Garisan aras dapat ditentukan berdasarkan aras air di kedua-dua hujung tiub.

Ketinggian sesuatu titik biasanya ditentukan dengan menggunakan teknik konvensional seperti gelembung udara, penyegitigaan dan ukur aras stadia. Pada masa kini, kebanyakan agensi pemetaan menggunakan teodolit dan gelembung udara untuk menubuhkan jaringan kawalan pugak. Perbezaan ketinggian atau pengukuran ketinggian relatif antara tanda aras dilaksanakan dan dikenali sebagai ukur aras. Bermula daripada tanda aras yang diketahui nilai ketinggiannya, pemindahan aras ke tanda aras yang lain dapat dilaksanakan. Kebiasaannya, kebanyakan negara telah menubuhkan jaringan ukur aras sejak 50 tahun yang lalu dan akan dikemaskinikan mengikut peredaran masa. Pada masa kini, Sistem Penentududukan Global (GPS) dapat memberikan kaedah dalam menentukan ketinggian. Oleh itu, ukur GPS merupakan kaedah baru dalam melaksanakan ukur aras.

Di Semenanjung Malaysia, jaringan ukur aras jitu pertama ditubuhkan pada tahun 1967 dan dirujuk pada aras laut purata (Land Survey Datum 1912) di

Pelabuhan Klang. Jaringan kedua mula ditubuhkan pada tahun 1994 berdasarkan Datum Tegak Geodetik Semenanjung Malaysia. Kerja-kerja ukur telah siap sepenuhnya pada tahun 1998 dan pelarasan jaringan tersebut telah pun dilaksanakan (Azhari,2003).

Di Sabah pula, sebelum tahun 1984 datum bagi ukuran aras adalah berdasarkan kepada Purata Aras Laut Min di Stesen Tolok Air Pasang Surut(STAPS) yang berdekatan dengan kawasan pengukuran. Terdapat tujuh STAPS yang digunapakai oleh JTU Sabah dalam menjalankan ukuran aras iaitu di Labuan, Kota Kinabalu, Kudat, Sandakan, Lahad Datu, Semporna dan Tawau. Kebanyakan STAPS lama telah mengalami kerosakan dan telah diganti. Peralatan baru Digital Float Tidegauge DFT-1 telah dipasang di Sandakan dan Tawau pada tahun 1993 seterusnya di Labuan, Kudat dan Lahad Datu pada tahun 1995 dan Kota Kinabalu pada tahun 1998. Kini, JUPEM Sabah masih dalam proses menetapkan ketinggian Datum Tegak Geodetik Sabah berdasarkan kepada cerapan pasang surut STAPS Kota Kinabalu (Abu Husin & Sulaiman, 2001a).

Manakala di Sarawak, terdapat tiga datum yang digunapakai sekarang iaitu Datum Pulau Lakei, Datum Original dan Datum Bintulu. Jaringan kawalan tegak ini ditubuhkan menggunakan kaedah penyegitigaan. Ketinggian tanda-tanda aras dan stesen-stesen penyegitigaan yang disenaraikan di dalam *Sarawak Trig List* adalah berdasarkan kepada 2 datum utama iaitu Datum Original dan Datum Pulau Lakei manakala tanda-tanda aras lama di kawasan Bintulu menggunakan Datum Bintulu (BTU). Pada masa kini, Jabatan Ukur dan Pemetaan Sarawak di dalam proses menubuhkan datum pugak yang baru.

1.2 Permasalahan Kajian

Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) cawangan Sarawak telah ditubuhkan pada tahun 1989 dan mengambil alih kerja-kerja pengukuran aras. Antara matlamat penubuhan JUPEM adalah untuk menyediakan jaringan bagi negeri Sarawak. Dalam menubuhkan jaringan kawalan pugak, pihak JUPEM berhadapan dengan pelbagai masalah dalam proses pengukuran. Oleh kerana bentuk muka bumi

Sarawak yang memanjang dan bergunung-ganang di bahagian pedalaman, tiada jaringan ukur aras yang sempurna meliputi seluruh negeri Sarawak. Kajian kualiti data serta analisa statistik perlu dijalankan bagi memastikan kualiti data ukur aras dan tiada selisih kasar.

Di Sarawak terdapat banyak sungai yang mengalir menyusuri negeri ini. Kewujudan sungai-sungai ini mendatangkan masalah dalam menghubungkan jaringan ukur aras terutamanya sungai yang mempunyai kelebaran yang besar dan tiada kemudahan jambatan. Satu teknik pengukuran diperlukan bagi mengatasi masalah ini iaitu kaedah yang mampu memberikan kejituan cerapan yang boleh diterima pakai bagi menggantikan ukur aras jitu.

Kemudahan jalanraya sememangnya amat kurang di kawasan pedalaman tetapi pembangunan tetap diperlukan di kawasan tersebut. Oleh itu, maklumat ketinggian diperlukan untuk pembangunan. Akibat daripada ketiadaan kemudahan jalanraya, kerja pengukuran aras amat sukar untuk dilaksanakan. Kaedah GPS mungkin boleh digunakan bagi mendapatkan ketinggian di kawasan ini.

1.3 Objektif Kajian

Tujuan utama kajian ini adalah untuk mengkaji status jaringan ukur aras bagi negeri Sarawak. Di samping itu, mengkaji kesesuaian teknik GPS dalam ukur aras serta melihat ketidakseragaman datum pagak. Objektif – objektif yang terdapat dalam kajian ini adalah seperti berikut;

- i. Mendokumentasikan latarbelakang dan status jaringan ukur aras di Sarawak
- ii. Menganalisa kualiti status data ukur aras jitu bagi negeri Sarawak
- iii. Mengkaji kesesuaian ukur aras GPS bagi tujuan pemindahan aras merentasi sungai dan analisa ketidakseragaman bias datum pagak tempatan.

1.4 Skop Kajian

Pada umumnya, kajian ini terbahagi kepada beberapa skop berdasarkan kepada objektif-objektif yang telah digariskan. Skop-skop kajian ini adalah seperti berikut:

- i. Perkembangan dan status ukur aras di Sarawak**
 - Mendokumenkan latarbelakang ukur aras di Sarawak
 - Melihat status semasa ukur aras Sarawak
 - Mengkaji permasalahan dalam pengukuran

- ii. Analisa kualiti data dan pra-pelarasan jaringan ukur aras**
 - Mengumpul dan menentusahkan data ukur aras jitu
 - Menjalankan ujian statistik bagi data ukur aras jitu
 - Mengkaji kualiti data ukur aras jitu
 - Melaksanakan dan menganalisa pra-pelarasan jaringan aras

- iii. Simulasi pemindahan aras menggunakan teknik GPS**
 - Menubuhkan stesen-stesen pada jarak 0.5km, 1.0km dan 1.5km dan melaksanakan ukur aras jitu
 - Melaksanakan beberapa sesi cerapan GPS bagi jangka masa 1jam dan 2jam
 - Pemprosesan data GPS bagi mendapatkan nilai beza tinggi ketinggian orthometrik berdasarkan EGM96 dan WMG03A
 - Perbandingan nilai beza tinggi ukur aras jitu dan ukur aras GPS

- iv. Analisa ketidakseragaman bias datum pugak**
 - Mengumpul data-data Tanda Aras yang mempunyai koordinat WGS84
 - Menghitung bias datum pugak
 - Menganalisa nilai bias datum pugak bagi melihat ketidakseragamannya

1.5 Metodologi Kajian

Setelah permasalahan kajian difahami, kajian literatur dibuat bagi melengkapkan teori dan prinsip yang berkaitan dengan permasalahan kajian. Konsep ukur aras diteliti bagi memahami prinsip ukur aras, jenis ketinggian dan selisih-selisih dalam ukur aras. Kaedah ujian statistik juga ditelaah untuk menjalankan analisa statistik terhadap data ukur aras. Bagi melaksanakan simulasi pemindahan aras, konsep pengukuran GPS turut diteliti. Perkembangan dan status ukur aras Sarawak juga diteliti walaupun sumbernya terhad. Latarbelakang dan status ukur aras Sarawak juga didokumentasikan dalam kajian ini.

Kesemua data ukur aras disediakan oleh pihak JUPEM cawangan Sarawak. Sebelum melaksanakan palarasan jaringan ukur aras, data ukur aras perlu ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu, analisa statistik dijalankan bagi melihat taburan data dan kemungkinan wujudnya selisih dalam pengukuran.

Empat stesen ditubuhkan dalam sela jarak 500m serta pengukuran ukur aras jitu dijalankan antara stesen-stesen berkenaan. Kemudian, cerapan GPS dilaksanakan sebanyak lima sesi. Bagi mendapatkan beza tinggi daripada GPS, ketinggian orthometrik diperolehi dengan menggunakan model geoid EGM96 dan WMG03A. Akhirnya, beza tinggi ukur aras jitu dan ukur aras GPS dibandingkan.

Bagi menghitung bias datum pugak, data didapatkan dari senarai koordinat stesen jaringan utama GPS jenis B dan stesen kawalan sempadan Sarawak-Kalimantan. Model EGM96 digunakan untuk mendapatkan ketinggian geoid. Kemudian bias datum pugak dihitung bagi melihat ketidakseragamannya.

Akhir sekali, satu jaringan ukur aras yang menggabungkan ukur aras konvensional dan GPS dicadangkan. Ini bertujuan mewujudkan satu jaringan yang mempunyai rekabentuk yang baik dan meliputi seluruh negeri Sarawak.



Rajah 1.1 : Carta Alir Metodologi Kajian

1.6 Aliran Penulisan Bab

Penulisan tesis ini terbahagi kepada enam bab yang meliputi pengenalan, konsep dan teori, analisa serta kesimpulan. Aliran penulisan adalah mengikut metodologi kajian yang digunakan dalam kajian ini.

Bab 2 membincangkan tentang konsep penubuhan jaringan ukur aras jitu. Ini merangkumi perbincangan tentang datum pugak, permukaan samaupaya, konsep ukur aras jitu dan selisih yang mempengaruhinya. Konsep pelarasan jaringan turut dibincangkan merangkumi perambatan selisih dan model pelarasan. Di akhir bab ini, konsep ukur aras GPS dan selisih yang mempengaruhinya turut diterangkan.

Sejarah perkembangan jaringan ukur aras di Sarawak diterangkan di dalam Bab 3. Datum-datum yang digunakan dalam jaringan sehingga kini juga dicatatkan. Jaringan ukur aras baru dimulakan sejak penubuhan JUPEM Sarawak pada tahun 1989. Ini melibatkan pengukuran aras jitu dan ukuran kelas kedua. Permasalahan yang dihadapi dalam menjalankan pengukuran turut disenaraikan.

Bab 4 menunjukkan prosedur pemprosesan dari data mentah hingga ke pra-pelarasan. Data mentah dimuat-turunkan ke dalam komputer dan diproses dengan menggunakan perisian Delfy. Kriteria penentusahan data serta penukaran format turut dijelaskan. Perbandingan beza tinggi ukuran lama dan baru dibuat bagi mengesan selisih kasar dan kemungkinan tanda aras berganjak. Seterusnya analisa statistik dilaksanakan dengan ujian kenormalan dan kerawakan. Kualiti data ukur aras juga dihitung berdasarkan beza pergi-balik. Setelah itu, teori ujian statistik dalam pelarasan dibincangkan serba sedikit. Pra-pelarasan dijalankan untuk dua kawasan iaitu Miri-Sibu dan Kuching.

Simulasi pemindahan aras dengan teknik GPS dan hitungan bias datum pugak dibincangkan dalam Bab 5. Simulasi pemindahan aras diperincikan berkenaan prosedur cerapan dan pemprosesannya. Hasil beza tinggi dibandingkan dengan beza tinggi dari ukur aras jitu. Hasil beza tinggi GPS diperolehi menggunakan model EGM96 dan geoid jitu Semenanjung Malaysia. Simulasi ini dijalankan bagi mengkaji

kesesuaian ukur aras GPS sebagai alternatif pemindahan aras merentasi sungai yang lebar. Seterusnya, hitungan bias datum pugak dijelaskan bagi mengkaji kebolehan ukur aras GPS dalam mewujudkan jaringan yang baik di Sarawak. Tiga kawasan yang mempunyai cerapan GPS pada tanda aras digunakan untuk menghitung bias datum pugak iaitu Kuching, Sarikei dan Bintulu. Bias datum pugak secara mutlak dan relatif dibincangkan serta analisa ketidakteragamannya.

Bab 6 pula membincangkan satu cadangan jaringan aras gabungan berdasar kepada kajian yang telah dijalankan. Jaringan ini menggabungkan ukur aras konvensional dan GPS dalam membentuk satu jaringan yang meliputi seluruh negeri Sarawak.

Akhir sekali, Bab 7 adalah berkenaan ringkasan hasil kajian yang telah dibuat dan kesimpulan yang dapat dibuat. Beberapa cadangan juga dianjurkan untuk kajian seterusnya sebagai penutup penulisan tesis ini.

- ii). Dengan adanya geoid jitu, ukur aras GPS juga boleh digunakan sebagai pemantau dalam menentukan status tanda-tanda aras. Ini akan memudahkan JUPEM mengesahkan status sesuatu tanda aras. Oleh itu, satu pangkalan data tanda aras boleh dibentuk bagi memudahkan pengguna mendapatkan nilai ketinggian tanda aras berserta statusnya.

- iii). Dengan keupayaan ukur GPS dan geoid kesepadanan, jaringan kawalan 3D dengan komponen ketinggian merujuk pada MSL boleh diwujudkan. Oleh itu, setiap stesen kawalan akan mempunyai pelbagai sistem koordinat dan ketinggian.

RUJUKAN

- Abd Majid A. Kadir, Ayob Sharif & Abdullah Hisam Omar (2000). *Ukur GPS*. Monograf, Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, UTM, Johor.
- Abdul Wahid Idris & Halim Setan (1997). *Pelarasan Ukur*. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Abdullah S. A. Als Salman (1999). Evaluating the Accuracy of Differential, Trigonometric and GPS Leveling. *Surveying and Land Information Systems*, Vol. 59, No. 1, ms. 47-51.
- Abu Husin Jantan (2001a). *Status Ukur Aras Negeri Sarawak*. Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia, Sarawak.
- Abu Husin Jantan (2001b). *Status Ukur Aras Negeri Sarawak, Sabah dan Semenanjung Malaysia*. Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia, Sarawak.
- Anual Aziz & Shahrum Ses (2003). Investigation on the Status of Vertical Control in Sabah. *International Symposium on Geoinformation*. 22-24 Oktober. Kuala Lumpur.
- Azhari Mohamed (2003). *An Investigation of the Vertical Control Network in Peninsular Malaysia Using a Combination of Levelling, Gravity, GPS and Tidal Data*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Ph.D.
- Bomford, G. (1980). *Geodesy*. 4th ed. Clarendon Press, Oxford.
- Centre for Geodetic and GPS Studies, UTM & Geodesy Section, JUPEM (2001). *Unification of Vertical Datum in Sabah and Sarawak: Preliminary Studies*. The Geodetic Working Group For Sabah and Sarawak.

- Choi, S. C. (1978). *Introductory Applied Statistics in Science*. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Chrzanowski, A., Yong-qi, Chen, Leeman, R. W. & Leal, J. (1989). *Integration of the Global Positioning System with Geodetic Leveling Surveys in Ground Subsidence Studies*. CISM Journal ACSGC, Vol.43, No. 4, ms. 377-386.
- Clark, W. A. V. & Hosking, P. L. (1986). *Statistical Methods for Geographers*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Davis, R. E., Foote, F. S., Anderson, J. M. & Mikhail, E. M. (1981). *Surveying: Theory and Practice*. Sixth Edition, McGraw-Hill Inc., New York.
- Ewing, C. E. & Mitchell, M. M. (1970). *Introduction to Geodesy*. American Elsevier Publishing Company, New York.
- Fury, R. J. (1996) Levelled Height Differences from Published NAVD 88 Orthometric Heights. *Surveying and Land Information Systems*. Vol. 56, No. 2, ms. 89-102.
- Fotopoulos, G., Kotsakis, C. & Sideris M.G. (2001). Determination of the Achievable Accuracy of Relative GPS/Levelling in Northern Canada. *IAG 2001 Scientific Assembly*. 2-7 September. Budapest, Hungary.
- Geodelta, Ingenieursbureau (1997). *Delfy for Windows User Manual*. Impression Publisher, Netherlands.
- Harvey, B. R. (1994). *Practical Least Squares and Statistics for Surveyor*. Monograf 13, School of Geomatic Engineering, University of New South Wales, Sydney.
- Hasanuddin Z. Abidin (2001). *Geodesi Satelit*. PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Hassan Fashir, Kamaluddin Omar, Majid Kadir, Shahrum Ses, Chen Kah Eng, Samad Abu & Azhari Mohamed (2000). *Towards the Study of Vertical Datum Inconsistencies in Peninsular Malaysia*. Universiti Teknologi Malaysia & Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia

- Heiskanen, W. A. & Moritz, H. (1967). *Physical Geodesy*. W.H. Freeman & Company. London.
- Higgins, M. B. (1999). Heighting with GPS: Possibilities and Limitations. *Proceedings of Geodesy and Surveying in the Future: The Importance of Heights*. 15 – 17 Mac. Gavle, Sweden.
- Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia, Seksyen Geodesi (2003). *Final Report on Airborne Gravity Survey and Geoid Determination Project for Peminsular Malaysia, Sabah and Sarawak*. Goodwill Synergy Sdm. Bhd., Kuching.
- Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia & University of New South Wales (1995). Principles of GPS Heighting. *GPS Levelling Workshop*. 13 – 14 Oktober. Kuala Lumpur.
- Jekeli, C. (2000). *Heights, the Geopotential and Vertical Datums*. Ohio State University, U.S.A
- Kahmen, H. & Faig, W. (1988). *Surveying*. Walter de Gruyter, Berlin
- Kearsley, A. H. W., Zarina Ahmad & Chan, Agnew (1995). National Height datums, Levelling, GPS Heights and Geoids. *GPS Levelling Workshop*. Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia & University of New South Wales, 13 – 14 Oktober, Kuala Lumpur.
- Kubackova, L., Kubacek, L. & Kukuca, J. (1987). *Probability and Statistics in Geodesy and Geophysics*. Elsevier, Amsterdam.
- Leica Geosystems A. G. (1996). *Leica – Digital Levels NA2002/NA3003 User Manual*. Heerburgg, Switzerland.
- Leick, A. (1995). *GPS Sattelite Surveying*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Nik Ashbil Nik Hisham (2003). *Development of a GPS Buoy System for Precise Sea Level Measurement*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis M.Sc.

- Parks, W. & Dial, T. (1997). Using GPS to Measure Levelling Section Orthometric Height Difference in a Ground Subsidence Area in Imperial Valley, California. *Surveying and Land Information Systems*, Vol. 57, No. 2, ms. 100-119.
- Rizos, C. (1991). *Principles and Practice of GPS Surveying*. School of Surveying, University of New South Wales.
- Schmidt, M. O. & Wong, Kam W. (1985). *Fundamentals of Surveying*. 3th ed. PWS Publishers, U.S.
- Schomaker, M. C. & Berry, R. M. (1981). *Geodetic Levelling*. NOAA Manual NOS NGS 3, U.S. Department of Commerce.
- Schwarz K. P. & Sideris M. G. (1993). Heights and GPS. *GPS World*. February.
- Seker D. Z. & Abdullah Yildirim (2002). Orthometric Height Derivation from GPS Observations. *FIG XXII International Congress*, 19-26 April. Washington D.C.
- Sneeuw, N. (2002). *Height Systems*. ENGO423, W02
- Soeb Nordin. (2004). *Analisis Infrastruktur Ke arah Sistem Ketinggian GPS di Semenanjung Malaysia*. Universiti Teknologi Malaysia. Projek Sarjana Muda.
- Strang, G. & Borre, K. (1997). *Linear Algebra, Geodesy and GPS*. Wellesley-Cambridge Press, U.S.A.
- Trimble & GtS (2002). *Postprocessed and RTK Surveying with Trimble Geomatics Office Training*. Global-trak System Sdn. Bhd., Selangor.
- Trimble (2001). *Trimble Survey Controller : Reference Manual Vol. 1*. Trimble Navigation Ltd, Documentation Group, Sunnyvale, CA.
- Vanicek, P. & Krakiwsky, E.(1982). *Geodesy: The Concepts*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford.
- Vanicek, P. & Christou, N. T. (1994). *Geoid and Its Geophysical Interpretations*. CRC Press, London.

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (1997). *Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Zilkos, D. B. & Hothem, L. D. (1985). GPS Satellite Surveys and Vertical Datum. *Journal of Surveying Engineering*. Vol 115, No.2.