

Perbandingan Ralat 'Multipath' bagi Data Cerapan GPS Stesen MASS dan Stesen RTK

(Multipath Comparison for GPS Observation MASS Station Data and RTK Station)

Mardina Abdullah*, Norbahiah Misran, Nor Nadira M. Ariff dan M. Fazrin Abdullah

ABSTRAK

Ralat multipath merupakan salah satu sumber ralat utama dalam pengukuran kod dan fasa pembawa isyarat GPS yang mengurangkan tahap ketepatan bacaan dalam aplikasi GPS. Ralat multipath berlaku apabila isyarat yang merambat dari pemancar ke penerima melalui pelbagai laluan yang berbeza disebabkan oleh pantulan dan penyerakan isyarat. Kertas ini menerangkan kajian penganalisaan kesan ralat multipath yang terdapat di antara stesen MASS (Malaysia Active GPS System) dan stesen rujukan GPS RTK (GPS Real Time Kinematic). Data yang dianalisis adalah dari 15 buah stesen MASS dan 27 buah stesen rujukan GPS RTK, di mana kesemua stesen ini terletak secara strategik merentasi seluruh Malaysia. Kajian ini juga bertujuan untuk mengenalpasti stesen yang dipengaruhi oleh kesan multipath bagi kedua-dua julat pseudo L_1 (1575.42 MHz) dan L_2 (1227.60 MHz) isyarat GPS di antara stesen MASS dan stesen rujukan GPS RTK. Dalam kajian ini, perisian TEQC (Translating, Editing and Quality Checking) telah digunakan bagi memperolehi ralat multipath bagi kedua-dua isyarat GPS tersebut. Berdasarkan hasil kajian, ia menunjukkan kesan ralat multipath dipengaruhi oleh julat pseudo dengan lebih besar pada frekuensi pembawa L_2 berbanding frekuensi pembawa L_1 , dan ini konsisten dengan hasil penyelidikan yang telah dijalankan sebelum ini. Kajian juga mendapati bagi L_1 , kesan ralat multipath paling mempengaruhi data GPS RTK dan paling tidak mempengaruhi data dari stesen MASS. Analisis bagi L_2 pula menunjukkan data GPS paling mempengaruhi data dari stesen MASS dan paling tidak mempengaruhi data dari stesen rujukan GPS RTK. Bagi kajian pada masa hadapan, lebih banyak data perlu digunakan bagi tujuan analisis dengan menggunakan kaedah yang lebih baik untuk mendapatkan keputusan yang lebih tepat.

Kata kunci: GPS RTK; MASS; Multipath; TEQC

ABSTRACT

Multipath is one of the major sources of error in GPS code and carrier phase measurements that prevents the achievement of the highest levels of accuracy in GPS applications. Multipath occurs when signals travelling from a transmitter to a receiver propagate via multiple paths due to reflection and diffraction. The aim of this paper is to analyze the effect of multipath between MASS (Malaysia Active GPS System) station and GPS RTK (GPS Real Time Kinematic) reference station. The data is analysed from 15 MASS stations and 27 GPS RTK reference stations that are strategically located throughout Malaysia. This research also identifies which station between MASS station and GPS RTK reference stations are the most and least affected by multipath effect of both pseudo ranges at L_1 (1575.42 MHz) and L_2 (1227.60 MHz) of GPS signals. TEQC (Translating, Editing and Quality Checking) software is used to obtain multipath errors for both GPS signals. Based on the results, it is shown that the multipath error effects highly affect pseudo ranges for carrier frequency L_2 more than the carrier frequency L_1 , which is consistent with previous research findings. It is shown that the most affected GPS data for multipath at L_1 is from GPS RTK reference station and the least is from MASS station. The most affected at L_2 is from MASS station and the least from GPS RTK reference station. For further research, more data are needed to be analyzed and better methods are required to analyze GPS data.

Keywords: GPS RTK; MASS; Multipath; TEQC

PENGENALAN

Sistem Penentuan kedudukan Global atau dikenali sebagai GPS (Global Positioning System) adalah merupakan suatu sistem navigasi berasaskan satelit yang digunakan bagi menentukan kedudukan suatu lokasi dan masa pada mana-mana kedudukan di angkasa dan bumi. Sistem navigasi GPS ini telah dibangunkan oleh Jabatan Pertahanan Amerika Syarikat (U.S. Department of Defense, DoD) di awal tahun 70-an dan beroperasi sepenuhnya pada tahun 1998

(Parkinson 1996). Sistem ini terbahagi kepada tiga segmen utama iaitu segmen angkasa, kawalan dan pengguna. Segmen angkasa terdiri daripada 24 satelit yang tersusun pada enam satah orbit yang mengandungi empat satelit setiap satu pada ketinggian 20,200 km dari aras bumi dan mengorbit selama 11 jam 58 minit. Satelit ini menghantar dua jalur isyarat gelombang iaitu Link 1 (L_1) pada frekuensi pembawa 1575.42 MHz dan Link 2 (L_2) pada frekuensi pembawa 1227.6 MHz. Pembawa ini dimodulasikan oleh

dua kod iaitu kod perolehan kasar (*C/A code*) dan kod jitu (*P code*). Kedua-dua kod ini boleh digunakan untuk menentukan jarak satelit dari bumi.

GPS digunakan di dalam pelbagai aplikasi seperti pengukuran tanah, pengukuran marin, navigasi kenderaan dan sebagainya. Namun begitu, pengukuran GPS iaitu samada pengukuran julat pseudo, pengukuran fasa pembawa atau kedua-duanya sekali adalah dipengaruhi secara rawak oleh beberapa jenis ralat dan bias (ralat sistematik). Terdapat beberapa punca ralat yang menyebabkan berlakunya ketidaktepatan pada pengukuran GPS. Ralat ini boleh dikelaskan kepada ralat yang berasal dari satelit, dari penerima dan juga disebabkan oleh perambatan isyarat. Ralat yang berasal dari satelit termasuklah efemeris atau ralat orbital dan ralat jam satelit. Ralat yang berasal dari penerima pula termasuk ralat jam penerima, ralat *multipath*, hingar penerima dan variasi pusat fasa antena. Ralat perambatan isyarat termasuk lengah isyarat GPS yang melalui lapisan ionosferik dan troposferik. Selain dari itu, ketepatan pengiraan kedudukan GPS juga dipengaruhi oleh kedudukan geometri satelit GPS yang dapat dilihat oleh penerima. Menurut Parkinson (1996), halangan kecil seperti daun-daunan boleh melemahkan isyarat, manakala halangan yang lebih besar boleh menghalang penghantaran isyarat sepenuhnya.

Punca ralat yang terbesar selepas penyahaktifan *selective availability* dan selain dari kesan ionosfera adalah *multipath* (Mark et al. 2003). *Multipath* adalah fenomena perambatan yang memberi kesan dalam isyarat radio di mana isyarat tiba di antena penerima GPS melalui dua atau lebih laluan yang berbeza. Satu isyarat adalah langsung dari satelit, manakala isyarat yang lainnya merupakan isyarat-isyarat tidak langsung yang dipantulkan oleh objek-objek di sekitar antena sebelum tiba di antena penerima (El-Rabbany 2002). Disebabkan *multipath* menjadi punca ralat yang besar, banyak kajian telah dilakukan bagi melihat kesan *multipath* ini (Abdi 2009; Satirapod & Rizos 2003; Soloviev & Graas 2009; Wanninger & May 2000). *Multipath* memberikan kesan yang berbeza terhadap pengukuran julat pseudo (15-150 m) dan fasa pembawa (≈ 5 cm untuk L_1) kerana frekuensi isyaratnya yang berlainan di mana *multipath* adalah bergantung kepada frekuensi (Seeber 2003). Kesan *multipath* pada pengukuran julat pseudo jauh lebih besar dari pengukuran fasa pembawa. Secara pengiraan teorinya kesan maksima ralat *multipath* pada isyarat pembawa L_1 ialah 5 cm iaitu 25% dari jarak gelombangnya ($\lambda=19$ cm). Secara amnya penerima komersil menggunakan kod pseudo bagi menentukan kedudukan dalam masa sebenar. Oleh itu satu kajian perlu dijalankan untuk mengkaji ralat ini. Dalam kajian ini, kesan *multipath* akan dikaji menggunakan data GPS di stesen rujukan GPS RTK. Perisian TEQC (*Translating, Editing and Quality Checking*) digunakan bagi menentukan ralat *multipath* (Estey & Meertens 1999; Hilla 2002; Defraigne & Bruyninx 2005). Kaedah ini bertujuan untuk mengira ralat *multipath* bagi kedua-dua frekuensi GPS iaitu L_1 dan L_2 . Kesan *multipath* ini boleh dikurangkan dengan menggunakan antena yang tertentu seperti antena *choke ring*. Antena ini perlulah diletakkan di tempat yang jauh dari gangguan objek lain seperti bangunan yang tinggi, pokok-pokok, padang rumput dan sebagainya.

Sehubungan dengan itu, penentuan kedudukan pada tahap ketepatan beberapa sentimeter dalam masa nyata

berdasarkan pengukuran GPS telah dibangunkan. Kaedah ini telah dikenali sebagai penentuan kedudukan RTK (*Real Time Kinematic*). Namun demikian, ketepatan pengukuran yang boleh dicapai dengan menggunakan kaedah tersebut semakin berkurangan dengan bertambahnya jarak di antara alat penerima GPS dengan stesen rujukan. Ini disebabkan oleh kesan perubahan atmosfera bumi terhadap cerapan yang dibuat oleh alat penerima GPS serta kesan sisihan sistematik (JUPEM 2005). Menyedari tentang masalah ini dan untuk meningkatkan perkhidmatan kepada pengguna-pengguna GPS terutamanya bagi membolehkan pengendalian ukuran GPS secara lebih cepat dan tepat, JUPEM atau Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia telah mewujudkan Rangkaian RTK GPS Malaysia atau *Malaysian RTK GPS Network* (MyRTKnet). Dalam hal ini, pengguna-pengguna GPS yang berada dalam lingkungan jaringan MyRTKnet mampu menentukan kedudukan mereka ke tahap sentimeter dalam masa nyata dengan menggunakan data-data yang dibekalkan oleh MyRTKnet (JUPEM 2005; JUPEM 2010). Dengan adanya kemudahan yang disediakan ini, maka pengguna-pengguna GPS akan memperoleh pelbagai manfaat terutamanya yang berhubungkait dengan penentuan kedudukan yang tepat secara masa nyata (JUPEM 2005).

Tujuan utama kajian ini adalah untuk melihat perbandingan kesan ralat *multipath* yang terdapat di antara data cerapan GPS bagi stesen MASS dan stesen rujukan GPS RTK berdasarkan pengukuran julat pseudo dengan menggunakan kaedah pemeriksaan kualiti TEQC. Kajian ini juga akan mengenalpasti di antara kedua-dua stesen GPS ini stesen manakah yang paling dipengaruhi dan paling tidak dipengaruhi oleh kesan ralat *multipath* bagi kedua-dua isyarat julat pseudo L_1 dan L_2 . Kajian ini tidak meliputi kesan *multipath* pada pengukuran fasa pembawa. Ini kerana ralat *multipath* pada pengukuran fasa pembawa adalah kecil iaitu dalam julat milimeter ke sentimeter dan ia boleh diabaikan dalam kebanyakan aplikasi (Seeber 2003).

Dengan mengetahui ralat ini, pengguna boleh memilih pemrosesan data yang lebih sesuai bagi aplikasi mereka. Hasil keputusan juga dapat membantu pihak JUPEM (Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia) dalam menentukan lokasi stesen yang lebih baik iaitu yang bebas dari kesan *multipath* yang tinggi.

METODOLOGI

Kajian ini dimulakan dengan proses pengumpulan data di mana data GPS diperolehi daripada Stesen MASS dan Stesen Rujukan GPS RTK. Sebanyak 15 buah stesen telah dianalisis bagi mewakili stesen MASS manakala stesen Rujukan GPS RTK hanya diwakili oleh 27 buah stesen sahaja dari 51 buah stesen RTK di seluruh Malaysia. Kesemua stesen GPS ini diselenggara di bawah JUPEM. Jadual 1 dan Jadual 2 menunjukkan nama stesen, ID tapak, latitud dan longitud bagi setiap stesen serta menyenaraikan jenis penerima dan antena yang digunakan bagi setiap stesen yang dianalisis. Lokasi stesen bagi kedua-dua stesen ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Data yang digunakan untuk kajian ini adalah data pada 1 Mac 2007 bagi data stesen rujukan GPS RTK. Stesen MASS pula menggunakan data bertarikh 11 Julai 2006. Pemilihan tarikh ini adalah

berdasarkan kajian terdahulu (Abdullah et al. 2008). Memandangkan ralat ini tidak dipengaruhi oleh variasi masa dan aktiviti matahari maka pemilihan hari yang tertentu juga adalah tidak ditekankan dalam kajian ini. Data GPS dari stesen rujukan GPS RTK adalah dalam format RINEX (*Receiver Independent Exchange*) versi 2.10. Fail RINEX adalah terjemahan daripada fail perdua mampat (*compress binary*) yang dihasilkan oleh penerima. Format

ini menghasilkan enam jenis fail RINEX yang berbeza, yang mana setiap satunya mengandungi *header* dan bahagian data. Enam jenis fail tersebut ialah fail data cerapan, fail data navigasi, fail meteorologi, fail mesej navigasi GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), fail data satelit geopegun dan fail data jam satelit dan penerima.

Peringkat seterusnya adalah melakukan pemeriksaan kualiti (*quality checking, QC*) terhadap data GPS dari kedua-

JADUAL 1. Data GPS Stesen MASS yang digunakan (JUPEM 2007)

Nama Stesen	ID Tapak	Latitud	Longitud	Penerima/Antena
UiTM Arau, Perlis	ARAU	6° 27'	100° 16'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
USM, Penang	USMP	5° 21'	100° 18'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Geting, Kelantan	GETI	6° 13'	102° 06'	Trimble 4000SSi/L1/L2 GP
Ipoh, Perak	IPOH	4° 35'	101° 07'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Pak Apil, Terengganu	KUAL	5° 19'	103° 08'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Kuantan, Pahang	KUAN	3° 50'	103° 21'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
UTM, Skudai Johor	UTMJ	1° 33'	103° 38'	Trimble 4000SSi/L1/L2 GP
KTPK, Kuala Lumpur	KTPK	3° 10'	101° 43'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Kuching, Sarawak	KUCH	1° 37'	110° 11'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Bintulu, Sarawak	BINT	3° 15'	113° 04'	Trimble 4000SSi/L1/L2 GP
Miri, Sarawak	MIRI	4° 22'	114° 00'	Trimble 4000SSi/L1/L2 GP
Kota Kinabalu	KINA	5°54'	116° 02'	Trimble 4000SSE/L1/L2 GP
Sandakan, Sabah	SAND	5° 50'	118° 07'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Labuan, W.P	LABU	5° 16'	115° 14'	Trimble 4000SSi/Choke Ring
Tawau, Sabah	TAWA	4° 15'	117° 52'	Trimble 4000SSi/Choke Ring



RAJAH 1. Lokasi Stesen GPS (JUPEM 2010)

JADUAL 2. Data GPS Stesen Rujukan GPS RTK yang digunakan (JUPEM 2010)

Nama Stesen	ID Tapak	Latitud	Longitud	Penerima/Antena
Kuala Klawang	KLAW	02° 58'	102° 03'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
UPM Serdang	UPMS	02° 59'	101° 43'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Banting	BANT	02° 49'	101° 32'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Kapar	MERU	03° 08'	101° 24'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Kuala Kubu Baru	KKBH	03° 33'	101° 39'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Ipoh	JUIP	04° 36'	101° 05'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Pangkor	PUPK	04° 12'	100° 33'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Grik	GRIK	05° 26'	101° 07'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Selama	SELM	05° 13'	100° 41'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Nibong Tebal	BABH	05° 08'	100° 29'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Sungai Petani	SGPT	05° 38'	100° 29'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Balik Pulau	BKPL	05° 20'	100° 13'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Langkawi	LGKW	06° 19'	99° 51'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Melaka	JUML	02° 12'	102° 15'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Sintok	UUMK	06° 27'	100° 30'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Pontian	KUKP	01° 19'	103° 27'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Johor Bharu	JHJY	01° 32'	103° 47'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Pengerang	TGPG	01° 22'	104° 06'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Mersing	MERS	02° 27'	103° 49'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Kluang	KLUG	02° 01'	103° 19'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Temerloh	TLOH	03° 26'	102° 25'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Pekan	PEKN	03° 29'	103° 23'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Marang	MARG	05° 01'	103° 17'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Rantau Panjang	RTPJ	06° 01'	101° 59'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Gua Musang	GMUS	04° 51'	101° 57'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Kota Kinabalu	UMSS	06° 02'	116° 06'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic
Kota Samarahan	UMAS	01° 28'	110° 25'	Trimble 5700/ Trimble Zephyr Geodetic

dua stesen GPS ini. Pemeriksaan ini menggunakan program TEQC yang membolehkan pengguna untuk menukar data GPS dari format perduaan dari penerima ke format RINEX. Ia juga boleh digunakan untuk menyunting fail RINEX dan melakukan pemeriksaan kualiti terhadap data sebelum pasca pemprosesan (Estey & Meertens 1999). Perisian TEQC ini boleh didapati secara atas talian menerusi laman web UNAVCO (*University NAVSTAR Consortium*) secara percuma (UNAVCO 2008). Proses QC boleh dilakukan secara lengkap dengan menggunakan TEQC dan statistik rumusan keputusan adalah berdasarkan pemprosesan penyelesaian persamaan GPS dan juga GLONASS iaitu satelit navigasi Russia. Sepanjang langkah QC, kombinasi linear pencerapan julat pseudo dan fasa pembawa digunakan untuk mengira:

- 1) L_1 multipath julat pseudo untuk pencerapan kod C/A atau kod P,
- 2) L_2 multipath julat pseudo untuk pencerapan kod P,

- 3) kesan fasa ionosfera dan
- 4) nisbah perubahan lengah ionosfera.

Walaupun begitu, dalam kajian ini hanya langkah 1 dan 2 sahaja yang digunakan kerana kajian ini hanya melibatkan analisis terhadap julat pseudo sahaja.

Dengan menggunakan TEQC, data dari sebarang penerima GPS atau GLONASS dapat dilakukan pemeriksaan kualiti jika data ini dalam format RINEX atau dalam format perduaan semula jadi. Maklumat kedudukan satelit boleh dikira dan digunakan tetapi mesti dibekalkan melalui fail navigasi, RINEX NAV (*Receiver Independent Exchange Navigation*) yang boleh dicerap oleh alat penerima GPS. Jika maklumat efemeris tidak boleh digunakan, statistik bagi pengiraan adalah tidak bersandar pada ketinggian. Statistik QC dikira dalam laluan data tunggal, sama ada dalam format RINEX atau semula jadi.

Asas algoritma pemeriksaan kualiti yang digunakan dalam TEQC untuk pengukuran fasa dan julat pseudo

dimodelkan oleh Estey & Meertens (1999) sebagai,

$$L_i = R + c(dt_r + dt_s) - I_i + N + m_i + n_i \text{ dan } \lambda_i \quad (1)$$

$$P_i = R + c(dt_r + dt_s) + I_i + N + M_i \quad (2)$$

Di mana:

- L_i : Pencerap fasa bagi frekuensi i
- P_i : Pencerap julat pseudo bagi frekuensi i
- R : Jarak antara satelit dan antena
- c : Halaju cahaya
- dt_r : Ralat jam penerima
- dt_s : Ralat jam satelit
- I_i : Julat ralat ionosferik bagi frekuensi i
- N : Lengah atmosferik neutral
- m_i : Fasa *multipath* bagi frekuensi i
- M_i : *Multipath* julat pseudo bagi frekuensi i
- $n_i \lambda_i$: Ketaksaan fasa panjang gelombang integer bagi frekuensi i

di mana frekuensi duaan adalah 1575.42 MHz ($i = 1$) dan 1227.60 MHz ($i = 2$) untuk GPS. Tempoh bagi julat ralat ionosferik adalah berdasarkan ionosfera yang menjadi medium sebaran pada frekuensi-frekuensi GPS. Perjalanan pengukuran fasa adalah pada halaju fasa - *phase advance*, $n_{ph,i}$ dan perjalanan pengukuran julat pseudo pada halaju kelompok - *group delay*, $n_{gr,i}$. Ini dapat dianggarkan sebagai,

$$n_{ph,i} \cong 1 + \frac{c_1}{f_i^2}; \quad n_{gr,i} \cong 1 - \frac{c_2}{f_i^2} \quad (3)$$

$$f_2^2 I_1 = f_1^2 I_2; \quad \alpha \cong \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (4)$$

Bermula dengan $L_1 - L_2$, dengan mengandaikan laluan untuk kedua frekuensi adalah hampir sama apabila melalui atmosfera, ini akan menghasilkan

$$I_1 + \frac{1}{\alpha - 1} [n_1 \lambda_1 - n_2 \lambda_2 + m_1 - m_2] = \frac{1}{\alpha - 1} (L_1 - L_2) \quad (5)$$

atau

$$I_2 + \frac{\alpha}{\alpha - 1} [n_1 \lambda_1 - n_2 \lambda_2 + m_1 - m_2] = \frac{\alpha}{\alpha - 1} (L_1 - L_2) \quad (6)$$

Daripada persamaan (1) - (6), dapat ditakrifkan perubahan bagi kadar masa adalah terbitan bagi lengah ionosferik:

$$I_{(2)OD} \cong \frac{\frac{\alpha}{\alpha - 1} [(L_1 - L_2)_j - (L_1 - L_2)_{j-1}]}{t_j - t_{j-1}} \quad (7)$$

Ini dapat dikira dan diawasi dari epok ke epok dalam susunan bagi mengesan perubahan yang besar dalam ketaksaan fasa (*phase ambiguity*) iaitu gelinciran dalam penjejakan L_1 dan L_2 . Sejak laluan isyarat adalah dari epok t_{j-1} ke epok t_j telah berubah berdasarkan perubahan laluan dalam ionosfera, variasi masa dalam ionosfera, pergerakan satelit dan kemungkinan pergerakan antena sendiri, nilai minimum bagi kebolehubahan mesti diandaikan. Secara *default*, nilai minimum kebolehubahan adalah 400 cm/

minit. Nilai kebolehubahan adalah perubahan jarak laluan per masa yang disebabkan oleh perubahan laluan dan variasi masa dalam ionosfera, pergerakan satelit dan kemungkinan pergerakan antena.

Bagi memperolehi persamaan *multipath*, bermula dengan $P_i - L_i$ dan gantikan I_i atau I_2 dari persamaan (5) atau (6), sekali lagi mengandaikan laluan yang sama melalui atmosfera untuk kedua-dua frekuensi oleh (Hilla & Cline 2002; Navstar GPS 1995). Maka, kombinasi linear adalah ditakrifkan seperti persamaan berikut:

$$\begin{aligned} MP_1 &\equiv P_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)L_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)L_2 \\ &= M_1 + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)m_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)m_2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} MP_2 &\equiv P_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)L_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)L_2 \\ &= M_2 + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)m_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)m_2 \end{aligned} \quad (9)$$

di mana tempoh bias diperolehi dari ketaksaan fasa. Persamaan bias adalah seperti berikut:

$$B_1 \equiv -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)n_2 \lambda_2 \quad (10)$$

$$B_2 \equiv -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)n_1 \lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)n_2 \lambda_2 \quad (11)$$

Di mana:

- P_1 dan P_2 : Mewakili frekuensi duaan julat pseudo yang diperhatikan
- L_1 dan L_2 : Mewakili frekuensi duaan fasa pembawa yang diperhatikan
- α : Nisbah antara f_1^2 dan f_2^2
- n_1 dan n_2 : Mewakili ketaksaan fasa pembawa
- m_1 dan m_2 : Mewakili frekuensi duaan fasa *multipath* pembawa
- λ_1 dan λ_2 : Panjang gelombang isyarat dalam meter
- M_i : *Multipath* julat pseudo untuk frekuensi $i = 1, 2$
- B_i : Bias yang bergantung pada L_1 dan L_2

Kombinasi linear (L_1) MP_1 dan (L_2) MP_2 dikira dan diawasi menerusi algoritma QC dan ia berubah mengikut masa disebabkan oleh tempoh M_i dan B_i . Bias diandaikan malar jika tiada gelinciran pada penjejakan L_1 atau L_2 . Selain itu, terdapat kesan tambahan kepada *multipath* fasa, tetapi ini adalah kecil dalam magnitud berbanding *multipath* kod P. Jika cerapan julat pseudo P_i tidak dapat digunakan, julat pseudo C/A akan digunakan bagi menggantikannya.

Pemeriksaan kualiti yang dilakukan menerusi program TEQC akan menghasilkan data dalam bentuk fail plot "*Compact Format*". Bagi kajian ini, hanya dua jenis keluaran yang akan digunakan iaitu *multipath* julat pseudo L_1 (MP_1) dan *multipath* julat pseudo L_2 (MP_2). Proses QC memberikan statistik rumusan keputusan berdasarkan pemprosesan penyelesaian GPS. Statistik rumusan ini memberikan maklumat berkenaan gelinciran jam penerima, gelinciran kitar penerima, tapak *multipath*, sudut ketinggian dan azimut, hanyut jam penerima, nisbah isyarat ke hingar

bagi penerima dan statistik parameter penjejukan lain yang penting. Analisis statistik ini merangkumi nilai maksimum, minimum, purata dan sisihan piawai bagi *multipath* julat pseudo L_1 dan *multipath* julat pseudo L_2 . Analisis statistik dilakukan bagi data untuk kedua-dua jenis *multipath* bagi kesemua data stesen GPS yang dianalisis.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Data yang dicerap dari stesen GPS ini merangkumi cerapan selama 24 jam dalam sela masa 15 saat. Bagi kajian ini, 480 data cerapan dianalisis bagi tempoh masa selama 120 minit dan tempoh cerapan ini adalah pada waktu siang. Data cerapan ini telah dicerap dari 31 buah satelit yang berbeza iaitu dari PRN 01 sehingga PRN 31. Kesan *multipath* yang dianalisis adalah berdasarkan nilai *multipath* julat pseudo L_1 (MP_1) dan julat pseudo L_2 (MP_2) yang diperolehi dari proses QC melalui program TEQC. Nilai MP_1 dan MP_2 yang diperolehi ini merupakan nilai *multipath* dari 31 buah satelit yang telah dipuratakan dan nilai ini dinyatakan dalam unit meter.

Perbandingan nilai purata MP_1 dan MP_2 bagi data cerapan dari stesen MASS dan stesen rujukan GPS RTK ditunjukkan dalam Rajah 2 dan Rajah 3. Didapati bahawa nilai maksimum MP_1 bagi data cerapan stesen rujukan GPS RTK adalah 0.45 m bagi stesen Marang (MARG), manakala nilai minimum adalah 0.33 m bagi stesen Kuala Kubu Baru (KKBH). Bagi MP_2 , data cerapan dari stesen Marang (MARG) masih menunjukkan nilai yang paling maksimum iaitu pada nilai purata jarak 0.67 m, manakala nilai minimum adalah 0.43 m bagi data cerapan dari stesen Pekan (PEKN). Analisis terhadap data cerapan stesen MASS pula menunjukkan stesen IPOH mempunyai nilai MP_1 yang paling maksimum iaitu pada nilai 0.11 m manakala nilai minimum MP_1 adalah 0.08 m bagi data cerapan stesen Geting (GETI). Hasil analisis terhadap data cerapan stesen GETI juga turut menunjukkan stesen ini mempunyai nilai MP_2 yang paling minimum iaitu pada jarak 0.80 m manakala data cerapan stesen Pak Apil (KUAL) menunjukkan nilai MP_2 yang paling maksimum iaitu pada jarak 1.50 m.

Daripada keputusan yang diperolehi, didapati ralat *multipath* lebih memberi kesan kepada pengukuran julat pseudo untuk frekuensi pembawa L_2 berbanding frekuensi pembawa L_1 . Ini dapat dikaitkan dengan frekuensi pembawa yang digunakan di mana MP_2 diperolehi dari frekuensi pembawa lebih kecil iaitu 1227.6 MHz manakala MP_1 pula dari frekuensi pembawa yang lebih besar iaitu 1575.42 MHz. Frekuensi pembawa dengan nilai yang lebih kecil akan menyebabkan berlakunya kesan ralat *multipath* yang lebih besar berbanding jika menggunakan frekuensi pembawa dengan nilai yang lebih besar dan ini juga bertepatan dengan kajian yang dilakukan oleh Abdullah et al. (2008) terhadap stesen MASS.

Graf *multipath* julat pseudo L_1 dan L_2 melawan masa cerapan bagi stesen Ipoh ditunjukkan di dalam Rajah 4. Stesen Ipoh adalah stesen MASS yang paling dipengaruhi oleh MP_1 berbanding dengan 14 stesen yang lain. Seperti yang telah dibincangkan, data cerapan dari stesen Ipoh lebih dipengaruhi oleh ralat *multipath* MP_2 berbanding MP_1 . Bagi MP_1 , data cerapannya berada dalam julat -0.33 m hingga 0.41 m, manakala bagi MP_2 data cerapannya adalah

dalam lingkungan -11.41 m hingga 9.32 m. Berdasarkan perbandingan, didapati kesan ralat MP_1 hanya mewakili 7.5% daripada jumlah keseluruhan ralat *multipath* bagi data cerapan stesen Ipoh berbanding kesan ralat MP_2 yang mewakili 92.5% daripada jumlah tersebut.

Bagi stesen rujukan GPS RTK, stesen MARG merupakan stesen yang paling dipengaruhi kesan *multipath* samada oleh MP_1 dan MP_2 . Sama seperti stesen IPOH, stesen MARG juga mempunyai nilai ralat *multipath* MP_2 yang lebih tinggi berbanding MP_1 . Bagi MP_1 , data cerapannya adalah dalam julat -0.92 m hingga 0.81 m, manakala bagi MP_2 data cerapannya berada dalam lingkungan -1.31 m hingga 1.34 m. Rajah 5 menunjukkan dengan lebih jelas data cerapan dari stesen MARG lebih dipengaruhi oleh MP_2 di mana kesan ralat MP_2 mewakili 59.6% daripada keseluruhan ralat *multipath* berbanding kesan ralat MP_1 yang mewakili 40.4% sahaja.

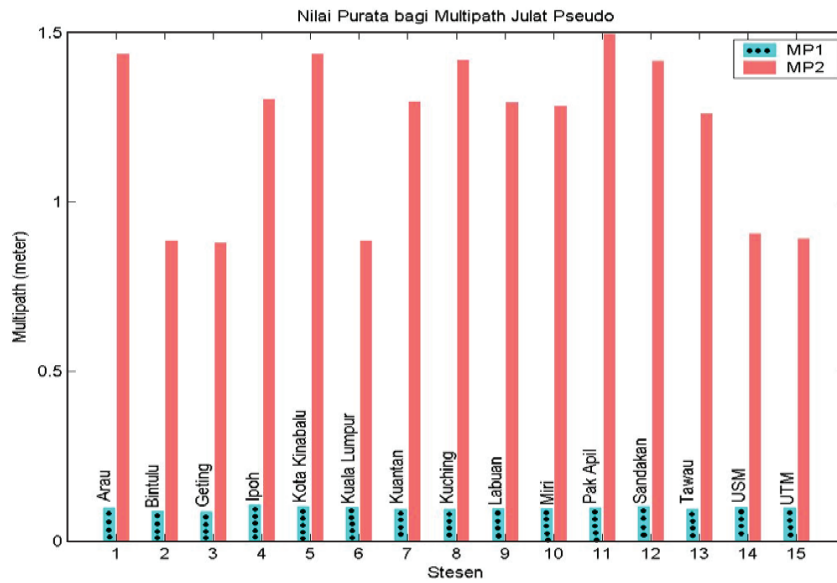
Stesen GETI adalah stesen yang paling kurang dipengaruhi oleh kesan MP_1 bagi stesen MASS. Graf *multipath* julat pseudo L_1 dan L_2 melawan masa cerapan bagi stesen GETI ditunjukkan dalam Rajah 6. Nilai MP_1 minimum adalah pada -0.32 m, manakala MP_1 maksimum adalah pada 0.28 m. Bagi MP_2 , julat adalah dalam lingkungan -3.69 m hingga 4.90 m. Stesen GETI juga menunjukkan data GPS ini lebih dipengaruhi oleh MP_2 berbanding MP_1 . Ralat MP_2 mewakili 91.2% daripada keseluruhan ralat *multipath* berbanding ralat MP_1 yang mewakili 8.8%.

Bagi stesen rujukan GPS RTK, stesen PEKN adalah stesen yang paling tidak dipengaruhi oleh kesan *multipath* samada bagi frekuensi pembawa L_1 (MP_1) dan L_2 (MP_2). Graf *multipath* julat pseudo melawan masa cerapan L_1 dan L_2 bagi stesen PEKN ditunjukkan dalam Rajah 7. Seperti stesen GETI, data cerapan dari stesen PEKN turut lebih dipengaruhi oleh ralat *multipath* MP_2 berbanding MP_1 . Bagi MP_1 , data cerapannya adalah dalam julat -1.64 m hingga 1.64 m, manakala bagi MP_2 data cerapannya berada dalam lingkungan -1.56 m hingga 1.39 m. Dapat diperhatikan secara kasar bahawa ralat MP_1 bagi data cerapan stesen PEKN mewakili 43.6% daripada keseluruhan ralat *multipath* berbanding kesan ralat MP_2 yang mewakili 56.4% ralat *multipath*. Ini menunjukkan MP_2 mempunyai beza peratusan sebanyak 12.8% melebihi MP_1 .

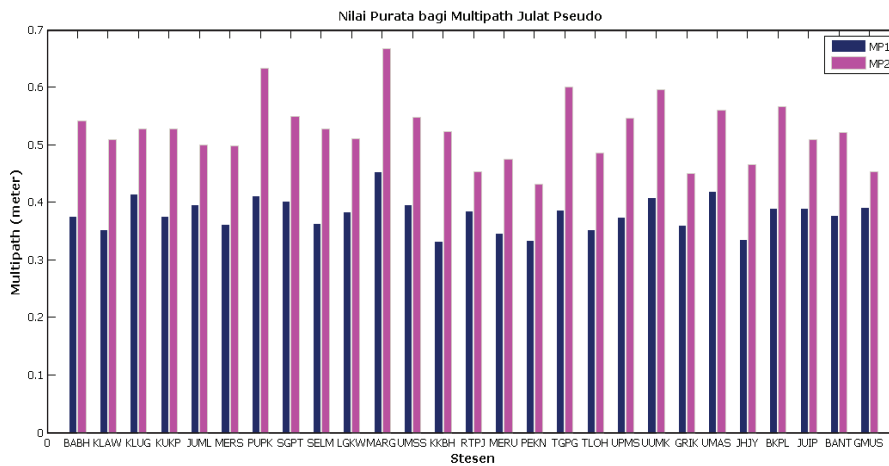
Hasil analisis ini secara tidak langsung menunjukkan stesen rujukan GPS RTK mempunyai tahap ketepatan dan kecekapan penerimaan lebih baik berbanding stesen MASS terutama apabila dikaitkan dengan kajian terdahulu oleh Abdullah et al. (2008). Ini adalah kerana nilai MP_2 yang tinggi bagi stesen MASS telah menyebabkan berlakunya kesan ralat *multipath* yang lebih besar terhadap stesen MASS berbanding stesen GPS RTK. Berdasarkan Rajah 2 dan Rajah 3, nilai perbezaan MP_2 maksimum antara stesen MASS dan stesen rujukan GPS RTK telah menunjukkan nilai perbezaan yang sangat besar iaitu 0.83 m. Nilai perbezaan MP_2 maksimum ini merupakan nilai perbezaan MP_2 antara stesen KUAL dan stesen MARG. Jika dilihat secara kasar kepada nilai purata MP_2 bagi kedua-dua stesen ini, stesen MASS mempunyai nilai purata MP_2 iaitu 1.21 m di mana ini adalah 0.68 m lebih besar dari nilai purata 0.53 m bagi stesen GPS RTK.

Walaupun begitu, stesen rujukan GPS RTK dilihat mempunyai nilai MP_1 lebih besar berbanding stesen MASS iaitu dengan nilai perbezaan sebanyak 0.34 m. Nilai perbezaan MP_1 ini merupakan nilai perbezaan MP_1 maksimum antara stesen MARG dan stesen IPOH. Hasil nilai purata MP_1 dari Rajah 2 dan Rajah 3 juga telah menunjukkan stesen GPS RTK mempunyai nilai purata MP_1 iaitu 0.38 m manakala stesen MASS hanya mempunyai nilai purata 0.08 m. Perbezaan nilai purata MP_1 bagi kedua-dua buah stesen ini adalah 0.30 m.

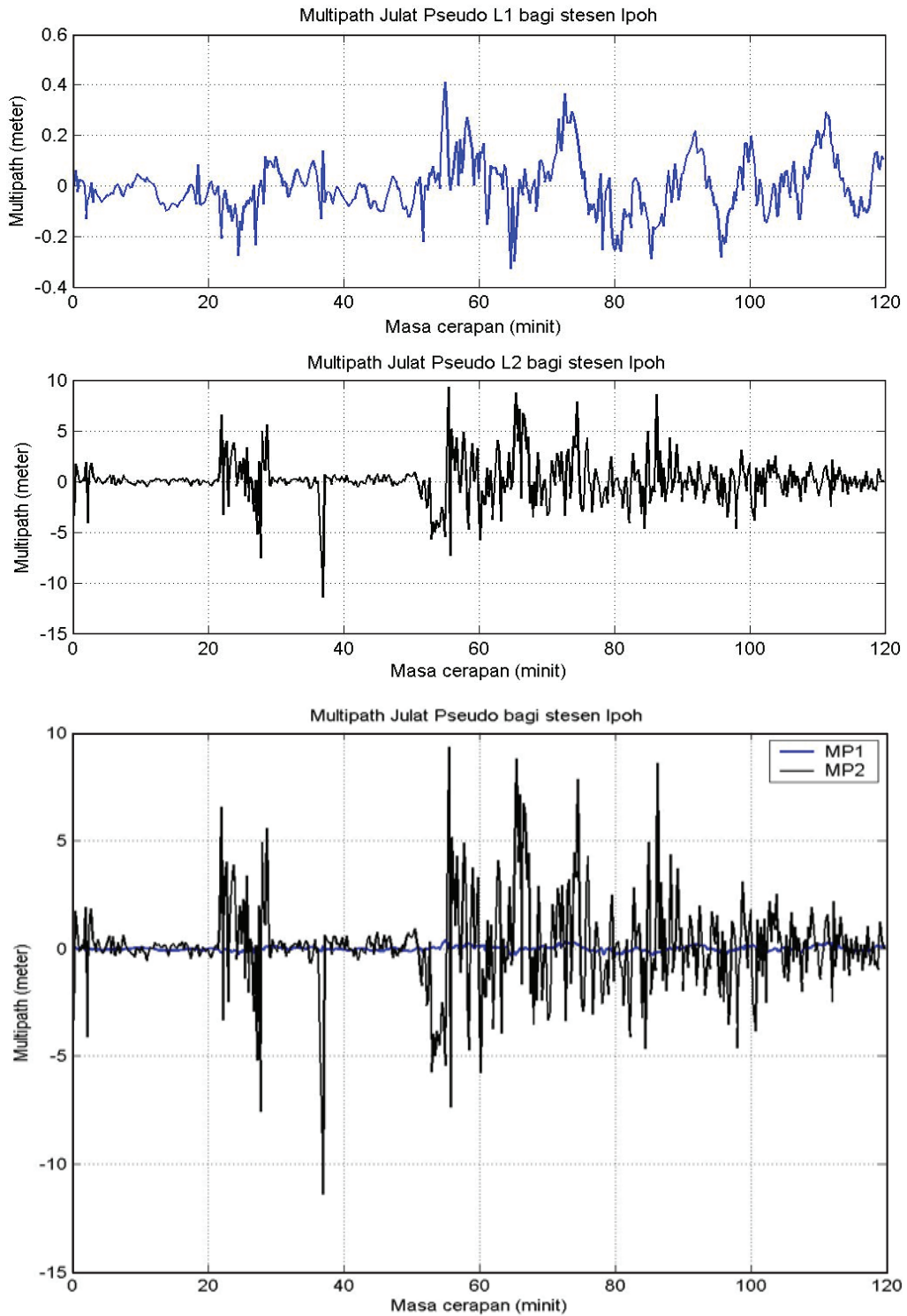
Di dalam kajian ini, perbandingan yang khusus tidak dilakukan antara stesen MASS dan stesen GPS RTK kerana setiap stesen yang dianalisis ini berada pada kedudukan lokasi yang berlainan. Keadaan ini seterusnya tidak memenuhi ciri-ciri ralat *multipath* kerana kesan *multipath* adalah bergantung kepada faktor persekitaran dan bentuk permukaan bumi. Oleh itu, hanya perbandingan secara kasar terhadap stesen MASS dan stesen GPS RTK sahaja yang dilakukan dalam kajian ini.



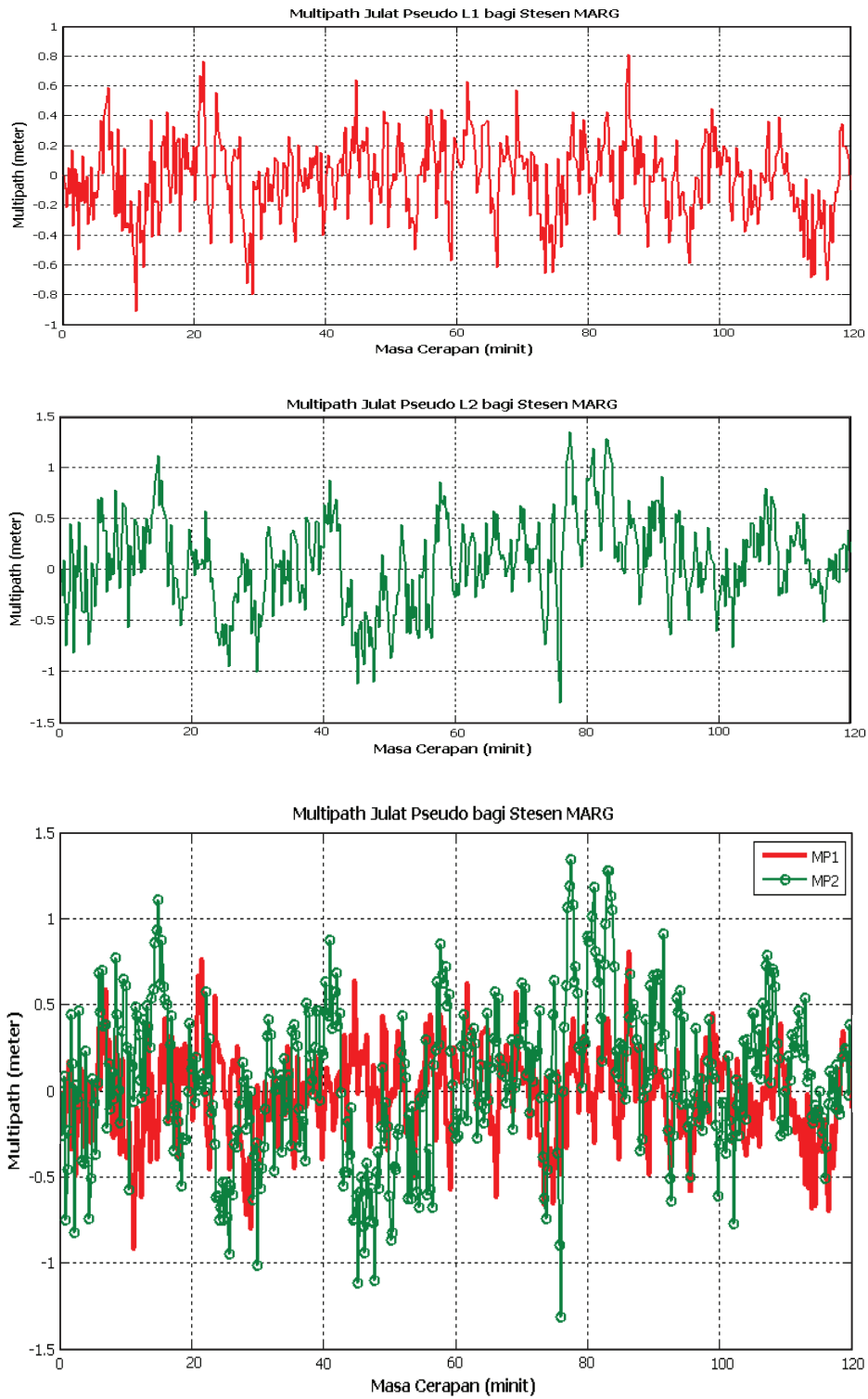
RAJAH 2. Perbandingan Nilai Purata MP_1 dan MP_2 bagi Stesen MASS



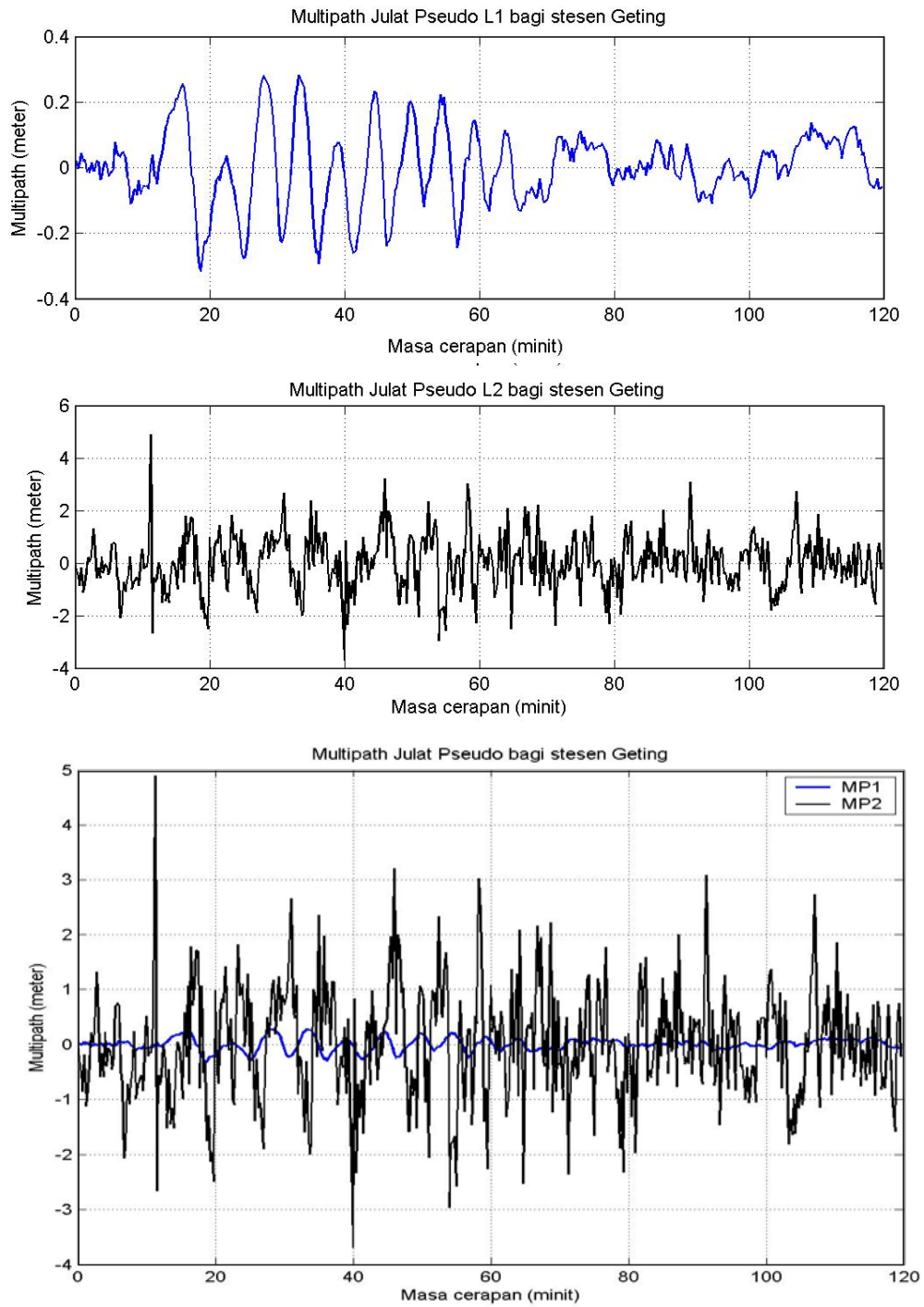
RAJAH 3. Perbandingan Nilai Purata MP_1 dan MP_2 bagi Stesen Rujukan GPS RTK

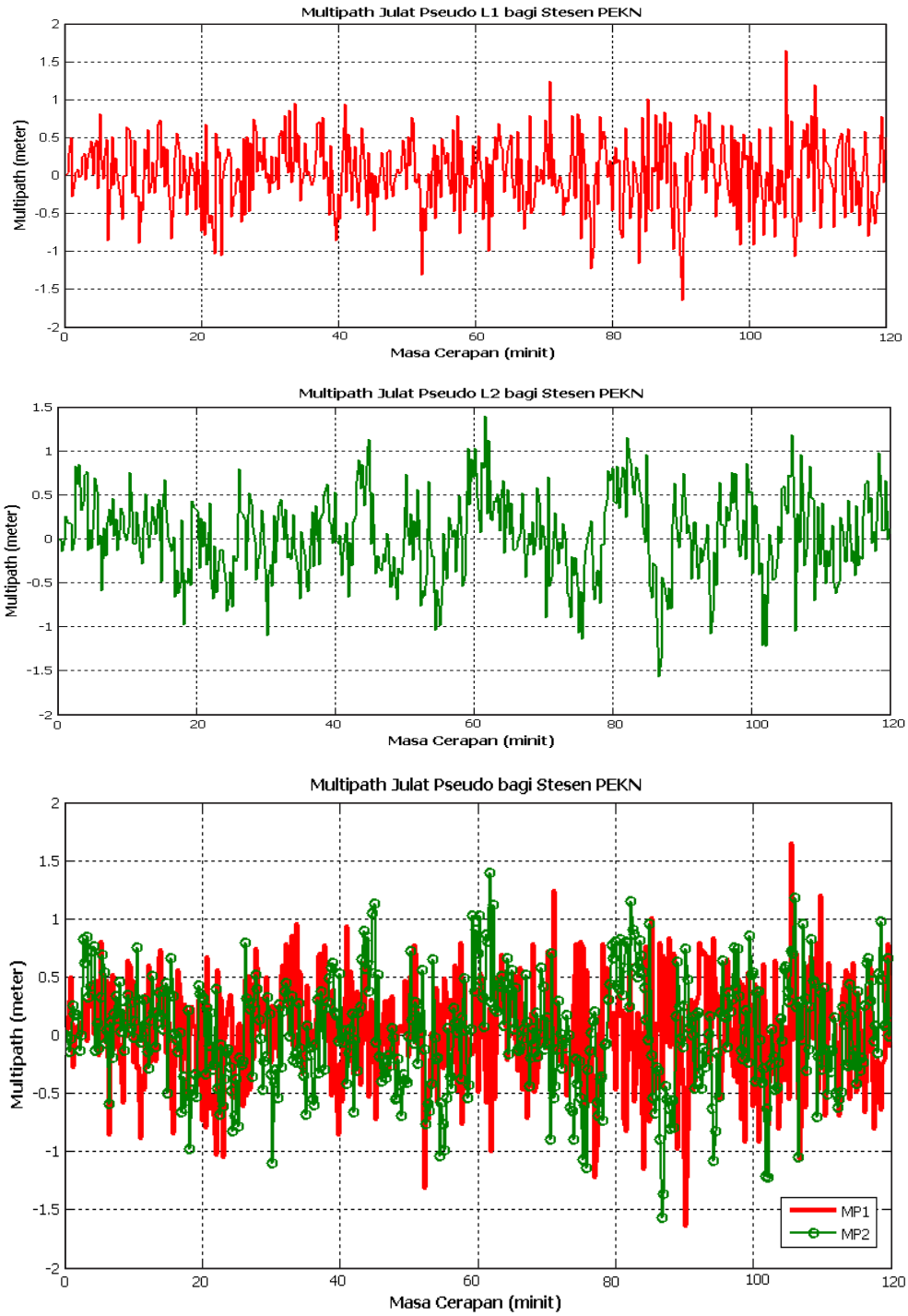


RAJAH 4. Graf *Multipath* Julat Pseudo Melawan Masa Cerapan bagi Stesen IPOH



RAJAH 5. Graf *Multipath* Julat Pseudo Melawan Masa Cerapan bagi Stesen MARG

RAJAH 6. Graf *Multipath* Julat Pseudo Melawan Masa Cerapan bagi Stesen GETI



RAJAH 7. Graf *Multipath* Julat Pseudo Melawan Masa Cerapan bagi Stesen PEKN

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya perbandingan ralat *multipath* bagi data GPS antara stesen MASS dan stesen rujukan GPS RTK telah dijalankan. Penganalisaan data telah dilakukan bagi kesemua data cerapan GPS yang diperolehi dari kedua-dua stesen ini yang diberikan oleh pihak JUPEM. Kesan ralat *multipath* telah dapat dikaji berdasarkan pengukuran julat pseudo. Pengkajian kesan *multipath* ini juga merangkumi dua jenis ralat *multipath* julat pseudo L_1 dan L_2 . Hasil kajian dan analisis menunjukkan kesan ralat *multipath* akan mempengaruhi julat pseudo dengan lebih besar pada frekuensi pembawa L_2 berbanding frekuensi pembawa L_1 . Kajian juga mendapati bagi MP_1 , kesan ralat *multipath* paling mempengaruhi data dari stesen rujukan GPS RTK iaitu dari stesen MARG dan paling tidak mempengaruhi data GPS adalah dari MASS iaitu dari stesen GETI. Analisis bagi MP_2 pula menunjukkan kesan MP_2 paling mempengaruhi data GPS dari stesen MASS iaitu melalui stesen KUAL dan paling tidak mempengaruhi data GPS dari stesen rujukan GPS RTK iaitu dari stesen PEKN.

Berdasarkan hasil kajian ini, ia menunjukkan bahawa stesen rujukan GPS RTK mempunyai tahap kejituan dan kecekapan yang lebih tinggi berbanding stesen MASS dengan merujuk kepada nilai MP_2 bagi stesen MASS yang jauh lebih besar berbanding dengan nilai MP_2 bagi stesen rujukan GPS RTK. Kajian menentukan kehadiran ralat *multipath* ini perlu diteruskan untuk meneliti kesan *multipath* di Malaysia. Ini kerana melalui kajian ini, ia dapat menyumbang kepada kecekapan stesen rujukan GPS RTK di mana data GPS ini banyak digunakan secara komersil di JUPEM dan untuk kajian-kajian di institusi pengajian tinggi dan sebagainya.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada pihak MOSTI dan UKM di atas pembiayaan penyelidikan (SF04-01-02-SF191) yang diberikan. Seterusnya, kepada pihak JUPEM di atas kerjasama menyediakan data cerapan GPS bagi stesen MASS dan stesen RTK.

RUJUKAN

- Abdi, A. 2009. On the utility of laguerre series for the envelope pdf in multipath fading channels. *IEEE Transactions On Information Theory*. 55(12): 5652-5660.
- Abdullah, M., Misran, N. & Abdullah, M. F. 2008. Penentuan ralat multipath bagi data cerapan GPS stesen MASS, JUPEM. *The Professional Journal of The Institution of Surveyor*:43(4): 19-25.
- Defraigne, P. & Bruyninx, C. 2006. Multipath mitigation in GPS-based time and frequency transfer, *Proc. 20th European Frequency and Time Forum*, Braunschweig, Germany.
- El-Rabbany, A. 2002. Introduction to GPS: *The Global Positioning System*. Norwood, MA: Artech House, Inc.
- Estey, L. H. & Meertens, C. M. 1999. TEQC: The multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS Data. *GPS Solutions* 3(1): 42-49.
- Hilla, S. & Cline, M. 2002. Evaluating pseudorange multipath effects at stations in the national CORS network. 2002 Weikko A. Heiskanen Symposium in Geodesy, pp. 253-267. The Ohio State University Columbus, Ohio.
- Hilla, S. 2002. A new plotting program for windows-based TEQC users. *GPS Solutions*. 6(3): 196-200.
- JUPEM. 2005. Garis Panduan Mengenai Penggunaan Perkhidmatan Malaysian RTK GPS Network (MyRTKnet). <http://www.geodesi.jupem.gov.my/>
- JUPEM. 2007. Malaysia Active GPS System (MASS) <http://www.geodesi.jupem.gov.my/mass/mass.htm>
- JUPEM. 2010. Malaysia Real Time Kinematic Network, MyRTKnet. <http://www.geodesi.jupem.gov.my/MyRTKnet/index.htm>
- Mark, H., Silveira, M., Yarymovych, M. I. & Salkin, M. 2003. *Encyclopedia Of Space Science And Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Navstar GPS. 1995. Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification, Second Edition: pp. 51.
- Parkinson, B. 1996. Introduction and Heritage of NAVSTAR, The Global Positioning System. In *Global Positioning System Theory and Applications*, edited by B. W. Parkinson, and J. J. J. Spilker. 793. Washington D. C.: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Satirapod, C. & Rizos, C. 2003. Multipath mitigation by wavelet analysis for GPS base station applications. *Survey Review* 38(295): 2-10.
- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy*. 2nd Edition. Berlin: Walter de Gruyter.
- Soloviev, A. & Graas, F. V. 2009. Use of deeply integrated GPS/ INS architecture and laser scanners for the identification of multipath reflections in urban environments. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing* 3(5): 786-797.
- Wanninger, L. & May, M. 2000. Carrier phase multipath calibration of GPS reference stations. *Proc. ION-GPS 2000*, pp. 132-144. Salt Lake City, UT, USA.
- UNAVCO. 2008. *University NAVSTAR Consortium*. http://www.unavco.ucar.edu/data_support/software/teqc/teqc.html
- Mardina Abdullah & Norbahiah Misran
Felo Bersekutu, Institut Sains Angkasa
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi,
Selangor, Malaysia.
- Nor Nadira M. Ariff & M. Fazrin Abdullah
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor, Malaysia.

*Corresponding author; e-mail: mardina@eng.ukm.my

Received: 17th March 2009

Accepted: 5th April 2010