

Penentuan Ralat *Multipath* bagi Data Cerapan GPS Julat Pseudo di Stesen Rujukan RTK (*Real Time Kinematic*) di Malaysia

(Multipath Error Determinant for Pseudo Ranges Observation Data at RTK (*Real Time Kinematic*) Reference Stations in Malaysia)

Mardina Abdullah*, Norbahiah Misran & Nor Nadira Mohammad Ariff

ABSTRAK

Multipath dikenali secara meluas sebagai salah satu sumber ralat utama dalam aplikasi GPS. Multipath merupakan fenomena di mana isyarat tiba di penerima melalui pelbagai laluan disebabkan oleh pantulan dan pembiasan. Kertas ini menerangkan kajian penganalisan kesan ralat multipath yang terdapat pada data GPS yang diperolehi dari stesen rujukan RTK. Data yang dianalisis adalah dari 27 buah stesen rujukan RTK di mana kesemua stesen ini terletak secara strategik merentasi seluruh Malaysia. Kajian ini juga bertujuan untuk mengenalpasti stesen rujukan RTK manakah yang paling dipengaruhi dan paling kurang dipengaruhi oleh kesan multipath bagi kedua-dua julat pseudo L_1 (1575.42 MHz) dan L_2 (1227.60 MHz) isyarat GPS. Dalam kajian ini, perisian TEQC (Translating, Editing and Quality Checking) telah digunakan untuk memeriksa kesan multipath bagi kedua-dua isyarat. Kajian mendapati bagi L_1 , kesan multipath paling mempengaruhi data GPS dari stesen Marang (MARG) sebanyak 0.453 m dan paling tidak mempengaruhi data dari stesen Kuala Kubu Baru (KKBH) sebanyak 0.332 m. Bagi L_2 , kesan multipath masih mempengaruhi data dari stesen MARG iaitu 0.666 m dan paling tidak mempengaruhi data dari stesen Pekan (PEKN) iaitu 0.431 m. Hasil kajian ini diharap dapat membantu dalam navigasi satelit GPS.

Kata kunci: GPS RTK; Multipath; TEQC; JUPEM

ABSTRACT

Multipath is widely recognized as one of the main source of error in GPS applications. Multipath is the phenomenon whereby a signal arrives at a receiver via multiple paths attributable to reflection and diffraction. This paper describes the analysis of multipath error of pseudorange obtain from RTK reference station. RTK reference station consists of 27 GPS reference stations and these stations are strategically distributed across Malaysia. This research also identifies which RTK reference station 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. In this research, TEQC software is used to check the multipath effect of both signals. It is shown that the most affected GPS data for multipath at L_1 is from Marang (MARG) station with a value 0.453 m and the least from Kuala Kubu Baru (KKBH) station with a value 0.332 m. The most affected at L_2 is also from MARG station 0.666 m and the least from Pekan (PEKN) station 0.431 m. It is hoped that this research be very helpful in GPS navigation.

Keywords: GPS RTK; Multipath; TEQC; JUPEM

PENGENALAN

Sistem Penentududukan Global atau GPS (*Global Positioning System*, GPS) merupakan suatu sistem radio navigasi berasaskan satelit yang digunakan bagi menentukan kedudukan suatu lokasi dan masa pada mana-mana kedudukan di angkasa dan bumi. Terdapat tiga segmen yang dalam sistem GPS iaitu segmen kawalan, segmen angkasa dan segmen pengguna. Setiap satelit GPS menghantar isyarat radio gelombang mikro dalam dua frekuensi pembawa yang dimodulatkan oleh dua kod digital dan mesej navigasi. Dua frekuensi pembawa tersebut adalah L_1 pada nilai frekuensi 1575.42 MHz dan

L_2 pada nilai frekuensi 1227.60 MHz. Kesemua satelit GPS menghantar frekuensi pembawa L_1 dan L_2 yang sama (El-Rabbany 2002). Pembawa ini dimodulatkan oleh dua kod iaitu kod perolehan kasar (*C/A code*), kod jitu (*P code*) dan juga mesej navigasi. Kedua-dua kod ini boleh digunakan untuk menentukan jarak satelit dari bumi. Kod P disulitkan untuk kegunaan ketenteraan (yang dikenali sebagai kod Y selepas penyulitan).

Penentuan kedudukan berdasarkan pengukuran GPS turut dipengaruhi oleh beberapa punca ralat yang akan menyebabkan berlakunya ketidaktepatan pada pengukuran GPS. Ralat ini boleh dikelaskan kepada tiga ralat utama iaitu

ralat dari satelit, ralat dari penerima dan ralat disebabkan oleh perambatan isyarat. Ralat yang berasal dari satelit termasuklah ralat efemeris atau ralat orbital dan ralat jam satelit manakala ralat dari penerima terdiri daripada ralat jam penerima, ralat *multipath*, hingar penerima dan variasi pusat fasa antenna. Ralat perambatan isyarat pula termasuk lengah isyarat GPS yang melalui lapisan ionosferik dan troposferik. Namun begitu, punca ralat terbesar selepas penyahaktifan *selective availability* dan selain dari kesan ionosfera adalah *multipath* (Mark et al. 2003).

Multipath adalah fenomena di mana isyarat dari satelit tiba di antenna 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 antenna sebelum tiba di antenna seperti dalam Rajah 1. Perbezaan panjang laluan menyebabkan ralat pada hasil pengamatan (El-Rabbany 2002). Memandangkan *multipath* adalah merupakan antara sumber ralat utama, pelbagai kajian telah dilakukan bagi mengkaji kesan *multipath* (Featherstone & Strangeways 1999; Satirapod & Rizos 2003). *Multipath* mempengaruhi pengukuran julat pseudo mahupun fasa pembawa. *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). Malah berdasarkan kajian terdahulu oleh Wells et al. (1987), julat pseudo telah dikenalpasti lebih dipengaruhi oleh kesan *multipath* jika dibandingkan dengan 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).

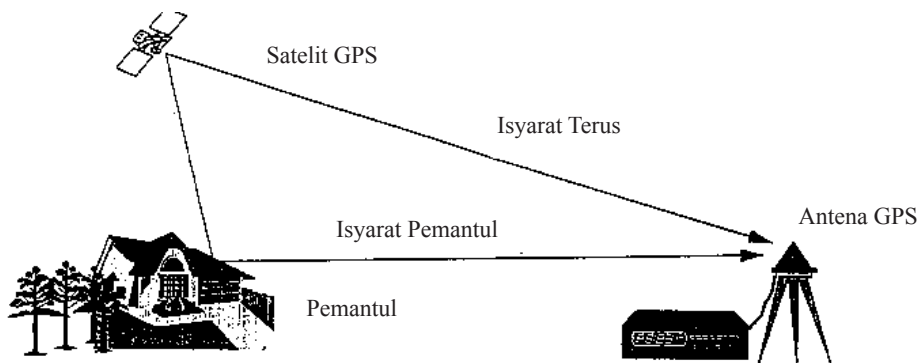
Secara amnya penerima komersil menggunakan kod pseudo bagi menentukan kedudukan dalam masa nyata. Oleh hal yang demikian satu kajian dijalankan untuk mengkaji ralat ini di mana kesan *multipath* dikaji dari data GPS di stesen rujukan RTK. Perisian TEQC digunakan bagi menentukan ralat *multipath* (Estey & Meertens 1999; Hilla 2002). Kaedah ini bertujuan untuk mengira ralat *multipath* bagi kedua-dua frekuensi pembawa GPS iaitu L_1 dan L_2 . Antara kaedah yang paling umum untuk mengurangkan ralat *multipath* adalah dengan meningkatkan rekebentuk antenna yang digunakan seperti menggunakan antenna *choke ring* dan melakukan pemilihan kawasan tapak antenna yang

baik iaitu dengan mengelakkan kawasan atau persekitaran yang boleh membawa kepada gangguan *multipath* seperti kawasan bangunan atau kawasan berpermukaan pemantul (Md Nor Kamarudin & Zulkarnaini Mat Amin 2004).

Perkembangan dan kemajuan dalam teknologi GPS seterusnya telah membolehkan pengukuran dilaksanakan dengan lebih tepat, cepat dan efisien melalui kaedah RTK. Kaedah pengukuran RTK merupakan inovasi terkini melibatkan penentuan kedudukan di mana gandaan penerima dihubungkan melalui radio secara serentak untuk mengumpul data pemerhatian. Stesyen penyiaran rujukan seterusnya akan melakukan teknik pembezaan data dan unit keranjang (*roving unit*) kemudiannya akan menerima data tersebut melalui pangkalan data yang telah disambungkan secara terus kepada radio penerima. Pada unit keranjang ini, maklumat berkaitan kedudukan, kelajuan, masa dan maklumat lain akan dipaparkan bergantung kepada aplikasi yang diperlukan (JUPEM 2005). Berdasarkan kajian Iyiade (2005) terhadap kaedah pengukuran RTK, kesemua algoritma yang menggunakan maklumat kod pseudo adalah terhad pada julat sekitar 0.5 - 1.0 m disebabkan oleh ralat kod manakala bagi pengukuran yang melibatkan maklumat fasa pembawa pula adalah terhad kepada julat sekitar 0.5 - 3.0 mm sahaja.

Namun demikian, ketepatan pengukuran yang boleh dicapai dengan menggunakan kaedah RTK GPS ini akan semakin berkurangan dengan bertambahnya jarak di antara alat penerima GPS dengan stesen rujukan. Menyedari tentang permasalahan ini dan untuk meningkatkan perkhidmatan kepada pengguna-pengguna GPS, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM) telah mewujudkan MyRTKnet di mana 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 stesen-stesen rujukan RTK meliputi seluruh Semenanjung Malaysia dan dua bandar utama di Sabah dan Sarawak (JUPEM 2005; 2010).

Objektif utama kajian ini adalah untuk melihat kesan ralat *multipath* dari data GPS stesen rujukan RTK berdasarkan pengukuran julat pseudo dengan menggunakan kaedah pemeriksaan kualiti TEQC bagi mendapatkan ralat *multipath*. Kajian ini juga akan mengenalpasti stesen rujukan RTK manakah yang paling dipengaruhi dan paling tidak dipengaruhi oleh kesan ralat *multipath* bagi kedua-



RAJAH 1. *Multipath*

dua isyarat julat pseudo L_1 (MP_1) dan L_2 (MP_2). Kajian ini tidak meliputi kesan *multipath* pada pengukuran fasa pembawa. Ini kerana ralat *multipath* pada pengukuran fasa pembawa adalah sangat kecil iaitu dalam julat milimeter ke sentimeter dan ia boleh diabaikan dalam kebanyakan aplikasi GPS. Dengan mengetahui ralat ini, pengguna boleh memilih pemprosesan data yang lebih sesuai bagi aplikasi mereka. Hasil keputusan juga dapat membantu pihak JUPEM dalam menentukan lokasi stesen yang lebih baik iaitu yang bebas dari kesan *multipath* yang tinggi.

KAEDAH PENGIRAAN *MULTIPATH*

Kajian ini dimulakan dengan proses pengumpulan data GPS daripada stesen rujukan RTK. Terdapat 27 buah stesen rujukan yang telah dipilih secara rawak dari 51 stesen rujukan RTK yang diselenggara oleh JUPEM seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Jadual ini menunjukkan nama stesen, ID Tapak, Latitud dan Longitud bagi setiap stesen. Kesemua stesen ini menggunakan alat penerima jenis Trimble 5700 manakala antena pula ialah jenis Trimble Zephyr Geodetic. Berdasarkan kajian Krantz et al. (2001), didapati bahawa antena jenis Trimble Zephyr juga baik untuk mengatasi masalah *multipath* selain daripada antena *choke ring*. Lokasi stesen ini ditunjukkan seperti dalam Rajah 2. Dalam kertas ini, kesemua stesen diwakili dengan nama ID Tapak bagi menggantikan nama stesen sebenar.

Data yang digunakan untuk kajian ini adalah data pada 1 Mac 2007. Memandangkan ralat ini tidak dipengaruhi oleh variasi masa dan aktiviti matahari maka pemilihan hari yang tertentu adalah tidak ditekankan dalam kajian ini. Data GPS dari stesen rujukan RTK adalah dalam format RINEX (*Receiver Independent Exchange*) versi 2.10. Fail RINEX adalah terjemahan daripada fail perduaan 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. Terdapat enam jenis fail iaitu 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 stesen rujukan RTK. 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 2007). Proses QC boleh dilakukan secara lengkap dengan menggunakan TEQC dan statistik rumusan keputusan adalah berdasarkan pemprosesan penyelesaian persamaan GPS. Sepanjang langkah QC, kombinasi linear pencerapan julat pseudo dan fasa pembawa digunakan untuk mengira:

1) L1 *multipath* julat pseudo untuk pencerapan kod

C/A atau kod P,

2) L2 *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 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,

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

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

dengan:

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	: <i>Multipath</i> fasa bagi frekuensi i
M_i	: <i>Multipath</i> julat pseudo bagi frekuensi i
n_i dan λ_i	: Ketaksahan fasa panjang gelombang integer bagi frekuensi i
t	: epok

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,

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

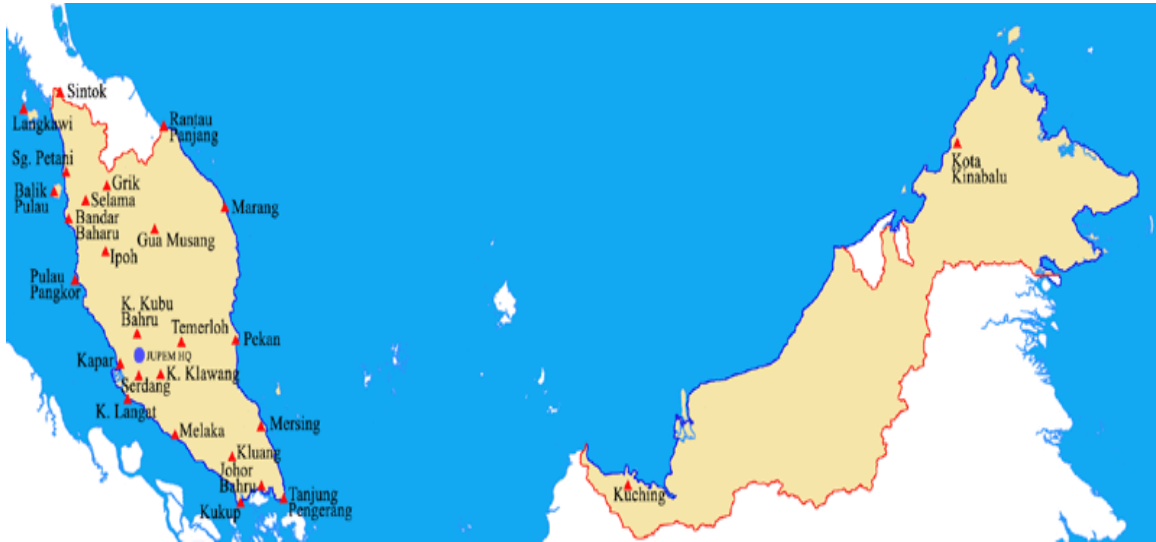
$$f_2^2 I_1 = f_1^2 I_2; \quad \alpha \equiv \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (4)$$

α : Nisbah antara f_1^2 dan f_2^2

Bermula dengan $L_1 - L_2$, dengan mengandaikan laluan

JADUAL 1. Nama dan Lokasi Stesen RTK Digunakan (JUPEM 2010)

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



RAJAH 2. Lokasi Stesen Rujukan RTK (JUPEM 2010)

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:

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

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 antenna 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 antenna.

Bagi memperoleh persamaan *multipath*, bermula dengan $P_i - L_i$ dan gantikan I_1 atau I_2 dari (5) atau (6), sekali lagi mengandaikan laluan yang sama melalui atmosfera untuk kedua-dua frekuensi seperti yang dinyatakan oleh Hilla & Cline (2002). 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:

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

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

dengan:

- 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 *multipath* fasa 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 *multipath* julat pseudo L_1 (MP_1) dan *multipath* julat pseudo L_2 (MP_2) adalah dikira dan diawasi menerusi algoritma QC dan berubah mengikut masa disebabkan 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 MP_1 dan MP_2 . Proses QC memberikan statistik rumusan keputusan berdasarkan pemrosesan 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 penjejakan lain yang penting. Perisian Matlab digunakan bagi melakukan analisa statistik. Analisa statistik ini merangkumi nilai maksimum, minimum, purata dan sisihan piawai bagi MP_1 dan MP_2 . Analisa statistik dilakukan bagi data untuk kedua-dua jenis *multipath* bagi kesemua data stesen rujukan RTK.

Peringkat terakhir bagi kajian ini adalah proses pemplotan data. Proses pemplotan data adalah berdasarkan data kasar MP_1 dan MP_2 yang diperolehi dari proses QC. Hal yang demikian, perisian Matlab telah digunakan bagi proses pemplotan data kerana berkemampuan menghasilkan keluaran yang lebih baik dan pantas.

stesen GPS ini merangkumi cerapan selama 24 jam dalam sela masa 15 saat. Bagi kajian ini, sebanyak 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 yang boleh dilihat pada julat masa cerapan tersebut. 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.

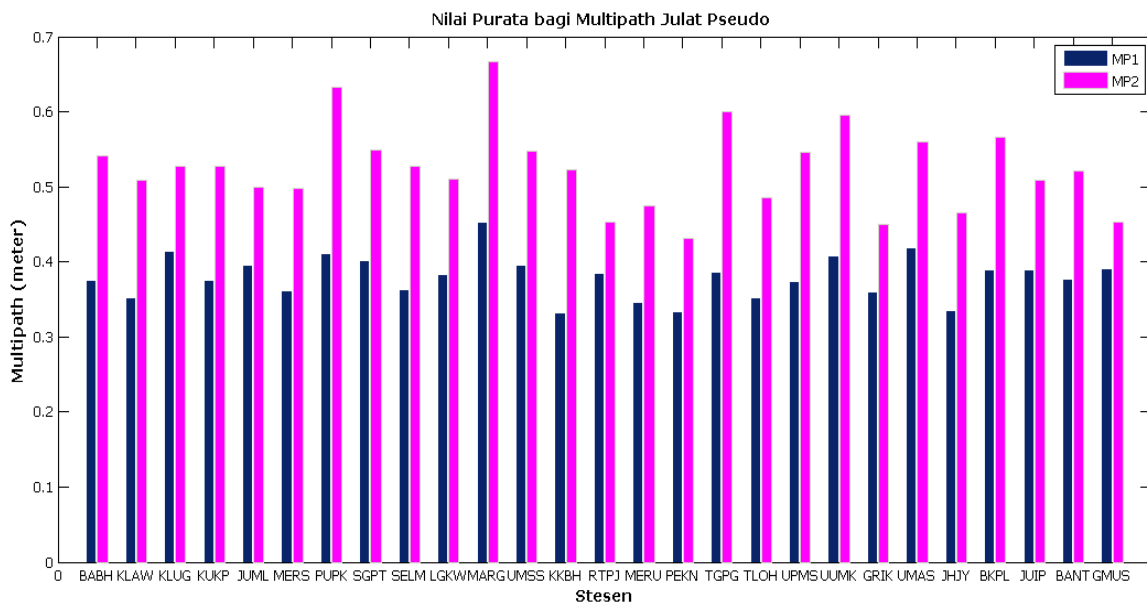
Perbandingan nilai purata MP_1 dan MP_2 bagi data cerapan dari stesen rujukan RTK ditunjukkan dalam Rajah 3. Nilai maksimum purata MP_1 adalah 0.45 m bagi data cerapan stesen MARG, manakala nilai minimum adalah 0.33 m bagi data stesen KKBH. Bagi nilai purata MP_2 pula data cerapan dari stesen MARG masih menunjukkan nilai yang paling maksimum iaitu 0.67 m, manakala nilai minimum adalah 0.43 m bagi data cerapan dari stesen PEKN.

Daripada keputusan yang diperolehi dari nilai purata ini, 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_1 menggunakan frekuensi pembawa yang lebih besar iaitu 1575.42 MHz manakala MP_2 menggunakan frekuensi pembawa yang lebih kecil iaitu 1227.6 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 konsisten dengan kajian yang telah dilakukan oleh Abdullah et al. (2008).

Graf *multipath* julat pseudo L_1 dan L_2 melawan masa cerapan bagi stesen MARG ditunjukkan di dalam Rajah 4. Stesen MARG adalah stesen rujukan RTK yang paling dipengaruhi oleh purata MP_1 dan MP_2 . Bagi MP_1 , data cerapannya adalah dalam julat -0.92 m hingga 0.81 m,

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Di dalam kajian ini, data yang digunakan adalah data yang dicerap dari 27 buah stesen rujukan GPS RTK bertarikh 1 Mac 2007 seperti dalam Jadual 1. Data yang dicerap dari



RAJAH 3. Perbandingan Nilai Purata MP_1 dan MP_2

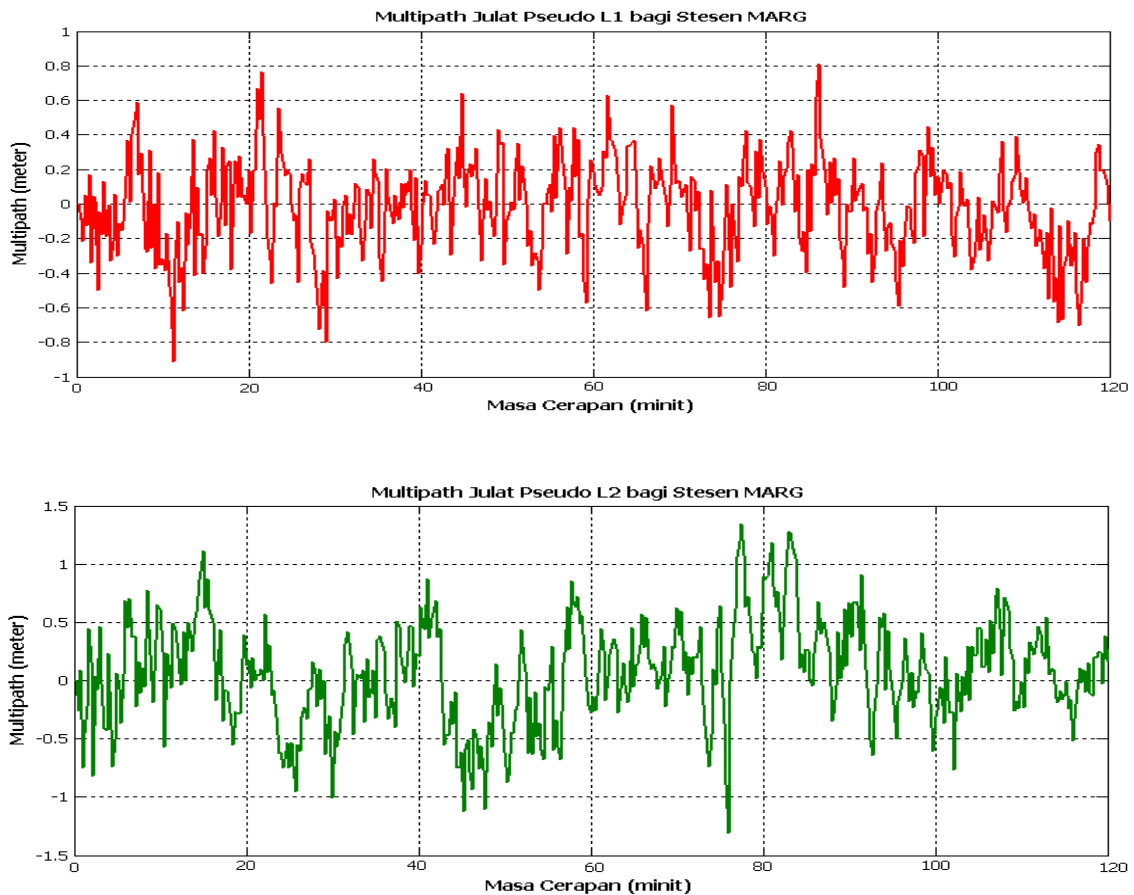
manakala bagi MP_2 data cerapannya dalam lingkungan -131 cm hingga 134 cm. Rajah 5 menunjukkan graf perbandingan antara data cerapan stesen MARG di mana dapati bahawa MP_2 lebih mempengaruhi data cerapan stesen MARG berbanding MP_1 . Selain itu, kesan ralat MP_2 turut mewakili 59.55 % daripada jumlah keseluruhan ralat *multipath* berbanding MP_1 yang hanya mewakili 40.45 % sahaja.

Merujuk kepada Rajah 3, stesen PEKN adalah stesen yang paling kurang dipengaruhi kesan *multipath* bagi

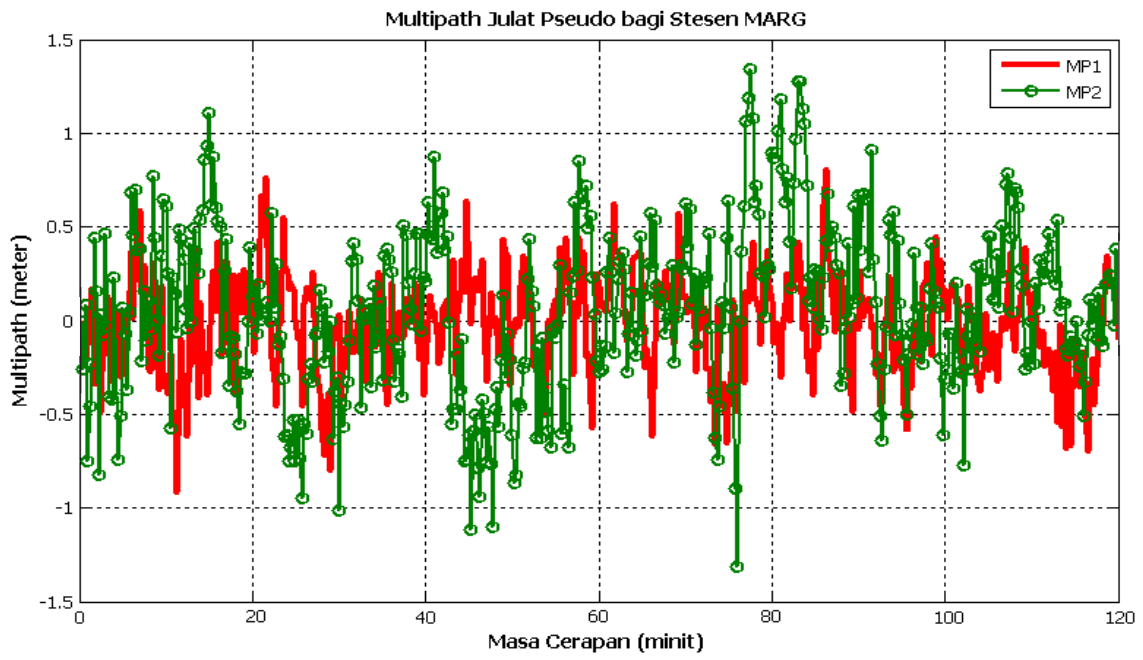
kedua-dua nilai purata MP_1 dan MP_2 . Graf *multipath* julat pseudo L_1 dan L_2 melawan masa cerapan bagi stesen PEKN ditunjukkan dalam Rajah 6. Nilai MP_1 minimum adalah pada nilai -1.64 m manakala MP_1 maksimum berada pada nilai 1.64 m. Bagi MP_2 pula, data cerapannya berada dalam julat -1.56 m hingga 1.39 m. Seperti stesen MARG, stesen PEKN turut lebih dipengaruhi oleh kesan MP_2 berbanding MP_1 seperti dalam Rajah 7. Peratusan ralat MP_2 mewakili 56.36 % daripada keseluruhan ralat *multipath* data cerapan stesen PEKN berbanding ralat MP_1 yang mewakili 43.64 %.

JADUAL 2. Perbandingan Data GPS Antara Stesen yang Paling Tidak Dipengaruhi Kesan Ralat *Multipath*

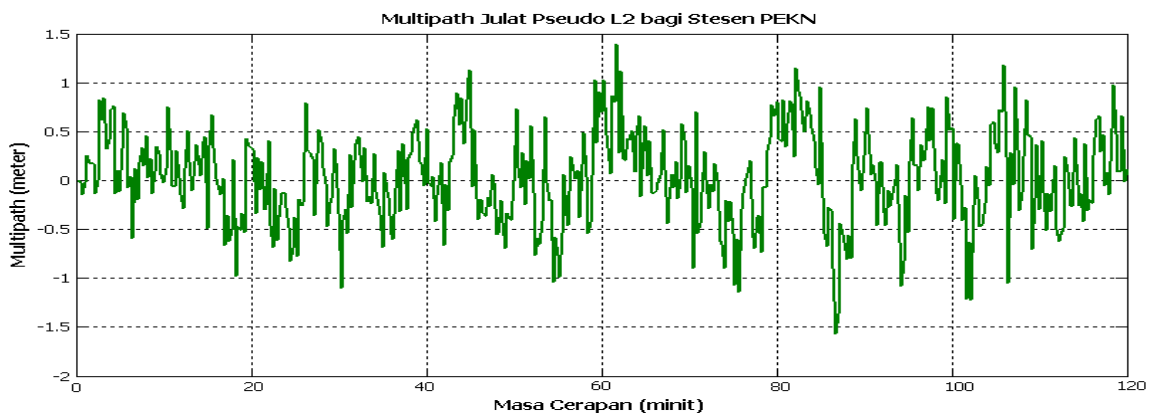
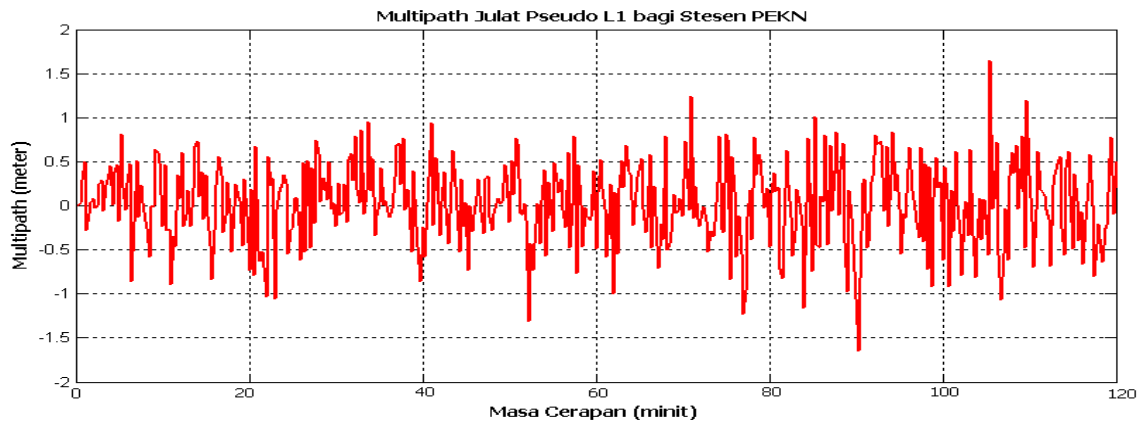
Nama Stesen	Stesen MARG (m)	Stesen PEKN (m)	Stesen JHJY (m)	Stesen KKBH (m)
Purata MP_1	0.453	0.334	0.334	0.332
Purata MP_2	0.666	0.431	0.465	0.523
Julat MP_1 (Julat Jarak)	-0.915 – 0.809 (1.724)	-1.642 – 1.644 (3.268)	-0.968 – 1.502 (2.470)	-0.38 – 0.586 (0.966)
Julat MP_2 (Julat Jarak)	-1.312 – 1.341 (2.653)	-1.564 – 1.393 (2.957)	-0.979 – 0.982 (1.961)	-1.048 – 0.955 (2.003)



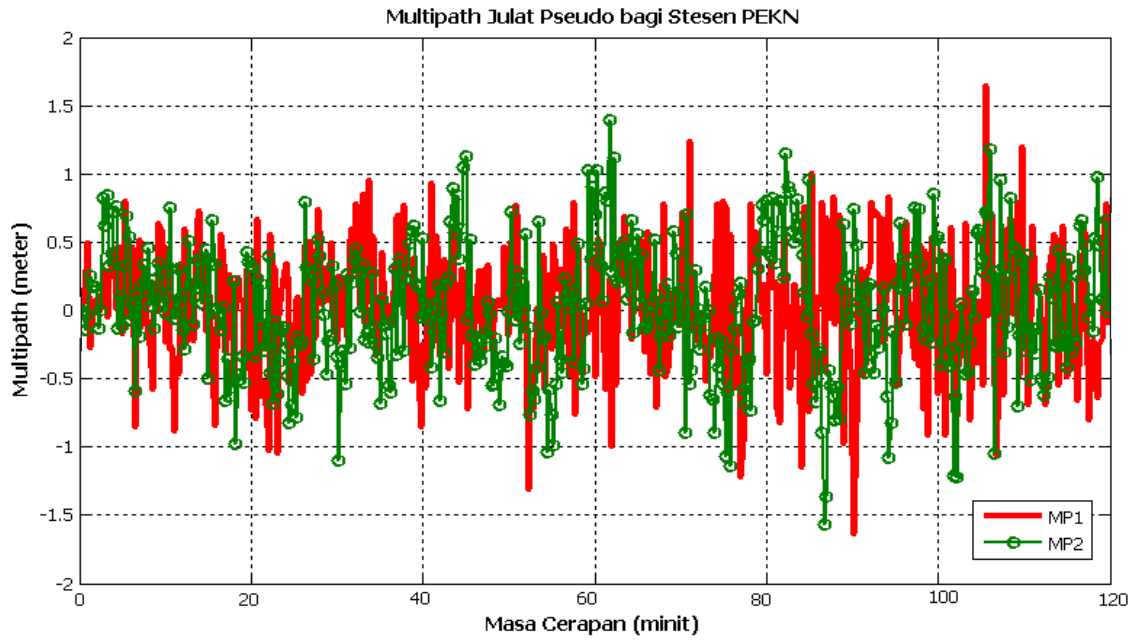
RAJAH 4. Graf *multipath* Julat Pseudo L_1 dan L_2 Melawan Masa Cerapan bagi Stesen MARG



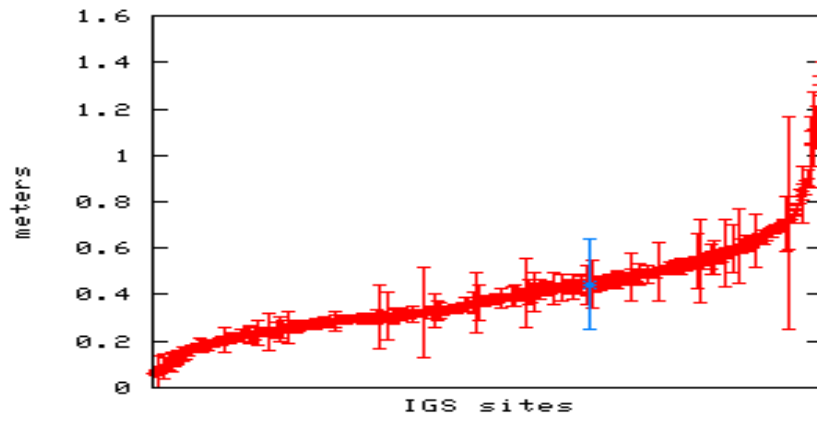
RAJAH 5. Graf *Multipath* Julat Pseudo Melawan Masa Cerapan bagi Stesen MARG



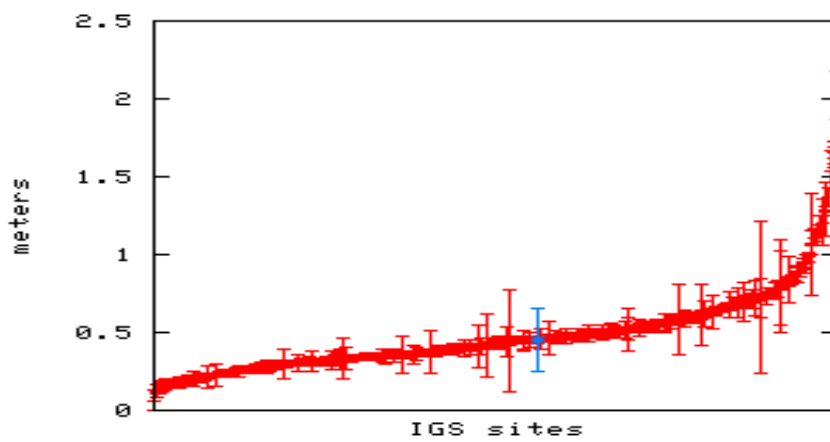
RAJAH 6. Graf *Multipath* Julat Pseudo L_1 dan L_2 Melawan Masa Cerapan bagi Stesen PEKN



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



RAJAH 8. Kesan *Multipath* Stesen IGS, XMIS bagi MP_1 (IGS 2007)



RAJAH 9. Kesan *Multipath* Stesen IGS, XMIS bagi MP_2 (IGS 2007)

Merujuk kepada perbandingan data cerapan GPS antara stesen PEKN, stesen JHJY dan stesen KKBH dalam Jadual 2, stesen KKBH dilihat mempunyai julat MP_1 dan julat MP_2 yang lebih rendah berbanding dengan dua stesen ini tetapi sekiranya dilihat pada nilai purata MP_2 , stesen JHJY mempunyai perbezaan nilai purata MP_2 yang kecil dengan stesen PEKN iaitu sebanyak 0.034 m. Nilai perbezaan ini lebih kecil berbanding nilai perbezaan MP_2 antara stesen KKBH dan stesen PEKN iaitu sebanyak 0.092 m. Ini secara tidak langsung menunjukkan stesen KKBH dan stesen JHJY masih boleh dikategorikan sebagai stesen yang paling kurang dipengaruhi oleh kesan *multipath*. Berdasarkan nilai perbandingan julat MP_1 dan MP_2 antara stesen MARG dan stesen PEKN pada Jadual 2 pula, stesen MARG dilihat mempunyai julat MP_1 dan MP_2 lebih kecil berbanding stesen PEKN walaupun stesen MARG merupakan stesen yang paling dipengaruhi kesan ralat *multipath*. Walaupun begitu perbezaan antara nilai purata dan perbandingan julat *multipath* ini tidak dapat dilakukan secara terperinci kerana data cerapan data cerapan untuk julat ini diambil dari satu satelit boleh nampak (*satellite in view*) yang dipilih secara rawak.

Ralat stesen rujukan RTK ini juga dirujuk dengan ralat di stesen IGS (*International GNSS Service*) (2007) iaitu merupakan satu badan yang diiktiraf dan menjadi rujukan bagi pengguna data GPS untuk membekalkan data secara global. Secara amnya, didapati bahawa ralat di stesen rujukan RTK adalah di dalam julat yang tidak jauh berbeza dengan ralat di stesen-stesen IGS iaitu kurang daripada 1.0 m dan stesen rujukan RTK boleh diandaikan mempunyai tahap kejuteraan yang hampir sama seperti stesen IGS. Perbandingan ini boleh dilihat pada Rajah 8 dan Rajah 9.

KESIMPULAN

Kesan ralat *multipath* telah dapat dikaji berdasarkan pengukuran julat pseudo. Pengkajian kesan *multipath* ini 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 GPS dari stesen MARG dengan nilai 0.453 m dan paling tidak mempengaruhi data GPS dari stesen KKBH dengan nilai 0.332 m. Analisis bagi MP_2 pula menunjukkan kesan MP_2 masih mempengaruhi data GPS dari stesen MARG dan paling tidak mempengaruhi data GPS dari stesen PEKN. Ini adalah kerana lokasi PRKN lebih terdedah kepada ralat *multipath*. Hasil kajian ini dapat membantu JUPEM atau pengguna GPS yang lain untuk memberikan perhatian terhadap pemilihan lokasi stesen dan juga jenis antena yang digunakan di mana ia juga mempengaruhi ralat *multipath* ini.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada pihak JUPEM atas data yang dibekalkan dan MOSTI serta UKM atas pembiayaan penyelidikan (SF04-01-02-SF191).

RUJUKAN

- Abdullah, M., Misran, N. & Abdullah, M. F. 2008. Penentuan ralat multipath bagi data cerapan GPS stesen MASS, JUPEM. Accepted for publication in *The Professional Journal of The Institution of Surveyor* 43(4): 19-25.
- 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.
- Featherstone, W. & Strangeways, H. J. 1999. Improved multipath resolution using joint space-time maximum likelihood estimation. *IEEE National Conference on Antennas and Propagation*, pp.204-208. London, UK.
- 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.
- Iyiade, A. 2005. Real-time kinematic GPS in an urban canyon environment. *Map Asia Conference 2005*, pp. 1-11. Jakarta, Indonesia.
- IGS 2007: XMIS Station. 2007. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/site/xmis.html>
- JUPEM. 2005. Garis Panduan Mengenai Penggunaan Perkhidmatan Malaysian RTK GPS Network (MyRTKnet). <http://www.geodesi.jupem.gov.my/>
- JUPEM. 2010. Malaysia Real Time Kinematic Network, MyRTKnet. <http://www.geodesi.jupem.gov.my/MyRTKnet/index.htm>
- Krantz, E., Riley, S. & Large, P. 2001. The design and performance of the zephyr geodetic antenna. Ion GPS 2001. *The Satellite Division of The Institute of Navigation 14th International Technical Meeting*. Salt City, Utah. http://facility.unavco.org/science_tech/dev_test/testing/zephyrperformance.pdf
- Mark, H., Silveira, M., Yarymovich, M. I. & Salkin, M. 2003. *Encyclopedia Of Space Science And Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Md Nor Kamarudin & Zulkarnaini Mat Amin. 2004. Multipath Error Detection Using Different GPS Receivers Antenna. *3rd FIG Regional Conference*,

pp.1-11. Jakarta, Indonesia.

Satirapod, C. & Rizos, C. 2003. Multipath mitigation by wavelet analysis for GPS base station applications. *Survey Review* 38(295): 2-10.

Seeber, G. 2003. 2nd edition. *Satellite Geodesy*. Berlin: Walter de Gruyter.

UNAVCO. *University NAVSTAR Consortium*.http://www.unavco.ucar.edu/data_support/software/teqc/teqc.html

Wells, D. E., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kkeusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., R. B., Nakiboglu, M., Schwarz, K. P., Tranquilla, J. M. & Vanicek, P. 1987. *Guide to GPS Positioning*. Fredericton, N. B: Canadian GPS Associates.

Selangor, Malaysia
 Mardina Abdullah & Norbahiah Misran
 Felo Bersekutu, Institut Sains Angkasa, Universiti
 Kebangsaan Malaysia,
 43600 UKM Bangi,
 Selangor, Malaysia

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

Received Date : 10th October 2008

Accepted Date : 19th February 2010

Nor Nadira Mohammad Ariff
 Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
 Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina,
 Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,

