

## Kajian Pelemahan Hujan pada Jalur $K_u$ dan Jalur $K_a$ di Malaysia Menggunakan Data Satelit TRMM

(Study on Rain Attenuation at  $K_u$  and  $K_a$ -Band in Malaysia Derived From TRMM Satellite Data)

Aidawati Mustapha, Farah Aniza Nazri & Mandeep Jit Singh\*

### ABSTRAK

Hujan adalah salah satu faktor yang menyebabkan kemerosotan isyarat pada perambatan gelombang radio pada frekuensi melebihi 10 GHz. Kesan ini lebih teruk di rantau tropika dan khatulistiwa seperti Malaysia yang menghadapi keamatan hujan yang lebih tinggi sepanjang tahun. Jumlah pengumpulan hujan diperolehi daripada satelit Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) digunakan untuk mendapatkan kadar hujan 1 minit untuk mengira nilai ramalan pelemah hujan di jalur  $K_u$  dan jalur  $K_a$  bagi Semenanjung Malaysia dalam tempoh 2 tahun (2011-2012) dan di beberapa lokasi di Sabah dan Sarawak yang dipilih secara rawak. Measat 3 digunakan untuk pengukuran praktikal bagi mengira nilai pelemahan hujan tahunan. Kesan peranginan angin monsun serta fenomena La-Nina dan El-Nina terhadap nilai pelemahan hujan turut dikaji. Tempoh yang dikaji dipanjangkan bagi mengkaji fenomena El-Nino dan La-Nina selama lima tahun iaitu pada tahun 2008-2012. Namun kajian ini hanya dapat dikaji di Malaysia Timur kerana kekurangan data Semenanjung Malaysia. Model ITU-R dipilih kerana ia merupakan model pelemahan hujan yang terbaik berdasarkan kajian terdahulu oleh para penyelidik. Hasil daripada kajian ini mendapati kawasan Sabah dan Sarawak mempunyai nilai pelemahan hujan yang lebih rendah berbanding di Semenanjung Malaysia walaupun mengalami kadar hujan tahunan yang lebih tinggi. Hasil kajian sangat berguna sebagai garis panduan untuk merekabentuk sistem perhubungan bumi-ke-ruang serta mengkaji keberkesanan komunikasi satelit khususnya di Malaysia.

Kata kunci: Pelemahan hujan; TRMM; satelit, jalur- $K_u$ ; hujan 1-min

### ABSTRACT

Attenuation due to rain can severely degrade the radio wave propagation at frequencies above 10 GHz. The impact is more severe in tropical and equatorial region like Malaysia which encounters higher rainfall intensity throughout the year. Total rainfall accumulation, obtained from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite have been used to derive 1-minute rainfall rates for a period two years (2011-2012) used to calculate the prediction of rain attenuation at  $K_u$  and  $K_a$ -band all over Peninsular Malaysia and at random locations in Sabah and Sarawak. Measat 3 is applied for practical measurement to calculate rain attenuation prediction. The study of effect monsoons and La-Nina with El-Nino phenomenon on rain attenuation were conducted. In order to study the phenomenon of El-Nino and La-Nina, the period of this study are extend to five years, from 2008 to 2012. ITU-R model has been selected to calculate the rain attenuation because it is the best model based on the result of previous researchers. The results from this study shows that Sabah and Sarawak have lower rain attenuation compared to Peninsular Malaysia even though Peninsular Malaysia produces having heavy rainfall throughout the year. This studies is very useful to guide the design and applications of low availability of satellite-to-Earth communication systems specifically in Malaysia.

Keywords: Rain attenuation; TRMM; satellite;  $K_u$ -band; 1-min rainfall

### PENGENALAN

Kemajuan dalam teknologi komunikasi gelombang mikro menyebabkan permintaan kapasiti yang tinggi dalam komunikasi satelit. Ini telah menyebabkan kesesakan kepada jalur frekuensi satelit di bawah 10 GHz iaitu di jalur C. Oleh kerana itu, jalur frekuensi yang lebih tinggi diperlukan bagi menjanjikan kadar data yang besar sekaligus kelajuan penghantaran data yang cepat dan cekap. Namun demikian terdapat beberapa gangguan yang menghalang untuk perambatan isyarat gelombang dari stesen pemancar

satelit ke bumi atau sebaliknya dengan berkesan. Pelemahan kerana hujan memberi kesan pelemahan yang sangat ketara terhadap perambatan isyarat gelombang dari stesen pemancar satelit ke bumi atau sebaliknya terutamanya di atas 10 GHz bagi negara-negara tropika dan khatulistiwa yang mengalami kadar hujan yang tinggi sepanjang tahun seperti di Malaysia. Menurut Karim (2000), kadar hujan yang tinggi menghasilkan desibel (dB) yang tinggi untuk keseluruhan pelemah isyarat sekaligus menyebabkan gangguan perhubungan yang teruk.

Malaysia merupakan negara beriklim tropika dan khatulistiwa. Ciri-ciri iklim tersebut mempunyai suhu yang seragam, mengalami indeks hujan dan kelembapan yang tinggi serta menerima hujan yang lebat dan kerap sepanjang tahun (Mandeep 2007). Oleh itu, adalah penting untuk menjalankan kajian serta mengukur kadar pelemahan hujan yang lebih tepat khususnya bagi negara tropika seperti Malaysia bagi mengatasi masalah isyarat komunikasi satelit yang lemah. Data yang diperolehi adalah daripada *Tropical Rainfall Measurement Mission* (TRMM) iaitu menggunakan sistem satelit digunakan untuk mendapatkan bacaan data taburan hujan. TRMM merupakan misi eksperimental yang memberi tumpuan kepada iklim taburan hujan tropika dan sekarang menjurus kepada satelit utama dalam sistem penyelidikan dan operasi satelit bagi menganalisis ciri-ciri hujan. Faktor-faktor nilai pelemahan hujan turut dikaji terutama kaitan jumlah taburan hujan di suatu tempat seperti kesan peranginan angin monsun dan fenomena El-Nino dan La-Nina.

#### MODEL PELEMAHAN HUJAN

Kajian perpustakaan dijalankan bagi menentukan model yang terbaik dan sesuai digunakan di kawasan tropika berdasarkan kajian lepas yang dijalankan di sekitar Malaysia dan kawasan tropika. Antara penyelidikan yang dijalankan di Malaysia adalah kajian yang telah dijalankan oleh Mandeep (2007) yang menunjukkan model *International Telecommunication Union-Radio communication Sector* (ITU-R) merupakan model sesuai yang mampu memberikan ramalan pelemahan hujan yang hampir. Kajian beliau di Universiti Sains Malaysia (Lat.:5.17°N and Long.:100.4°E) turut mendapati model ITU-R memberikan nilai yang paling hampir dengan kadar hujan yang diukur. Selain itu juga, satu kajian telah dijalankan di Universiti Teknologi Malaysia (latitud 1.45°N dan 103.75°E) oleh Yussuff & Khamis (2013) turut mendapati model ITU-R memberikan nilai punca min kuasa dua (RMS) paling rendah apabila dibandingkan dengan beberapa model yang berlainan yang memberi maksud bahawa model ITU-R merupakan model terbaik untuk digunakan di kawasan tropika. Kajian yang telah dijalankan oleh Al-jumaily et al. (2013) ke atas sistem komunikasi di jalur  $K_u$  di kawasan tropika membuat perbandingan dua model iaitu *Dissanayake Allnut Haidara* (DAH), dan *International Telecommunication Union Rain* (ITU-R). Kajian yang dijalankan menunjukkan model ITU-R merupakan model yang terbaik apabila dibandingkan dengan model ukuran di Universiti Putra Malaysia (UPM), Universiti Sains Malaysia (USM) dan Universiti Teknologi Malaysia (UTM).

Selain daripada kajian yang dilakukan di Malaysia, terdapat satu kajian yang dijalankan di Guntur, India oleh Sridhar, Raju & Rao (2012) yang turut mengesahkan bahawa model ITU-R memberikan anggaran secara statistik yang paling tepat bagi laluan condong. Oleh yang demikian, dalam kajian ini, model nilai pelemahan hujan ITU-R digunakan sebagai model bagi meramal nilai pelemahan hujan di Malaysia.

#### MODEL RAMALAN PELEMAHAN HUJAN ITU-R P.618-8

Model ITU-R P.618-11 (2013) adalah kaedah ramalan yang disediakan untuk memberi garis panduan dalam mereka bentuk sistem perhubungan bumi-satelit yang melibatkan data-data perambatan suatu kawasan. Kaedahnya adalah ringkas dan mudah digunakan untuk menganggar purata hujan bagi kawasan kajian dan seterusnya membuat anggaran pemerosotan isyarat yang disebabkan oleh hujan. Parameter terpenting yang diperlukan dalam kaedah ramalan menggunakan model ITU-R ini adalah kadar hujan dengan integrasi masa 1 minit melebihi peratusan masa 0.01%,  $R_{0.01}$ . Statistik kadar hujan bagi lokasi pengukuran atau kawasan kajian perlu diketahui sebelum menentukan pelemahan isyarat pada perhubungan satelit dan terrestrial untuk kawasan yang terbabit. Pengukuran nilai ramalan pelemahan melebihi peratusan masa tahunan 0.01% iaitu  $A_{0.01}$  berdasarkan persamaan berikut (COST 2002):

$$A_{0.01} = \gamma_R L_{eff} \text{ (dB)} \quad (1)$$

Di sini:

$\gamma_R$  = pelemahan spesifik

$L_{eff}$  = laluan condong efektif

Di mana:

$$L_{eff} = L_S v_{0.01} \quad (2)$$

Nilai faktor pelarasan menegak,  $v_{0.01}$  bagi peratusan masa 0.01 menggunakan persamaan diberi seperti berikut:

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[ 31 \left( 1 - e^{-\left(\frac{\theta}{1+\chi}\right)} \right) \frac{L_S \gamma_R}{f^2} - 0.45 \right]} \quad (3)$$

$$L_S = \begin{cases} \frac{r h_{0.01}}{\cos \theta} \zeta > \theta \\ \frac{h_R - h_s}{\sin \theta} \zeta \leq \theta \end{cases} \text{ (km)} \quad (4)$$

$$\zeta = \tan^{-1} \left( \frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right) \circ \quad (5)$$

$$h_R = h_0 + 0.36 \quad (6)$$

$$\chi = \begin{cases} 36 - |\phi| & |\phi| < 36 \\ 0 & |\phi| \geq 36 \end{cases} \quad (7)$$

$$L_G = \cos \theta \quad (8)$$

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}} \quad (9)$$

Di mana:

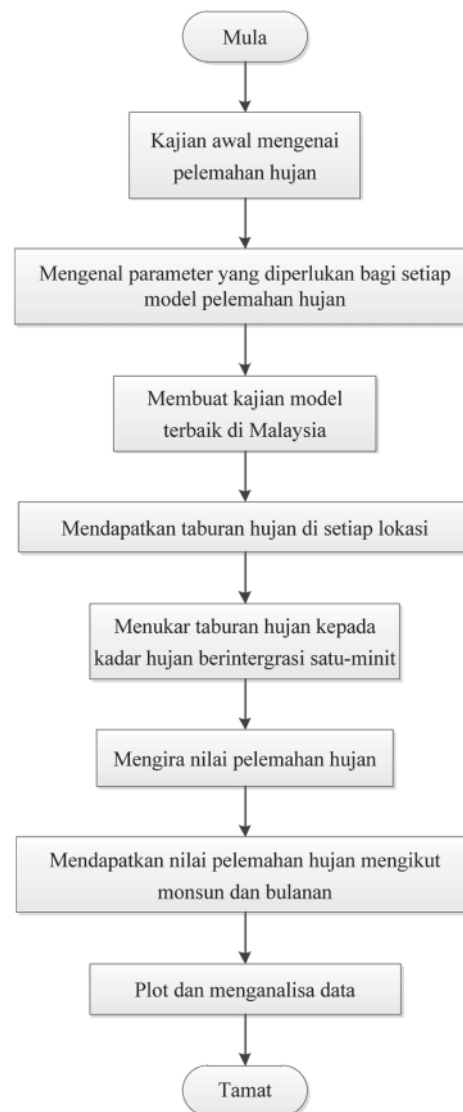
- $\theta$  adalah sudut dongak antena di sesuatu kawasan
- $h_s$  merupakan ketinggian stesen penerima bumi daripada pasar laut (km)
- $h_{0.01}$  merupakan ketinggian stesen penerima bumi daripada pasar laut pada 0.01 peratusan masa (km)
- $R_E$  merupakan jejari bumi iaitu 8500 km
- $L_G$  merupakan unjuran mengufuk
- $h_0$  adalah nilai purata tahunan bagi ketinggian isoterma  $0^\circ\text{C}$
- $f$  merupakan frekuensi operasi
- $r_{0.01}$  merupakan faktor pengurangan mengufuk, bagi 0.01 peratusan masa
- $\varphi$  merupakan latitud lokasi stesen satelit

#### METODOLOGI KAJIAN

Setiap lokasi mempunyai sudut dongak yang berbeza mengikut kedudukan latitud dan longitud setiap lokasi. Dalam kajian ini, Measat 3 digunakan untuk pengukuran praktikal bagi mengira nilai pelemahan. Antara pengukuran yang diambil daripada ("MEASAT" n.d.) adalah sudut dongak ( $^\circ$ ), frekuensi (GHz) serta sudut azimut ( $^\circ$ ). Rajah 1 menunjukkan carta alir kajian dalam mendapatkan nilai pelemahan hujan di Malaysia.

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data yang diperolehi daripada satelit TRMM melalui laman sesawang (*TRMM Precipitation Measurement Mission* 2013). Data kadar hujan selama dua tahun (2011-2012) bagi negeri di Semenanjung Malaysia dan lima tahun di Sabah dan Sarawak (2008-2012) menggunakan data hujan yang diperolehi daripada TRMM Peringkat 3 iaitu TRMM 3B43 (V7) (<http://TRMM.nasa.gov/TRMM>) yang diperolehi daripada perisian TOVAS (*TRMM Online Visualization and Analysis*) (<http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/TOVAS/>). Ia direka oleh Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) yang berasaskan web antaramuka bagi memudahkan pengguna terutamanya penyelidik menggunakan perisian yang bertujuan visualisasi dan analisis. Antaramuka pengguna grafik (*grafical user interface*) bagi perisian TOVAS digunakan. Sebanyak 17 negeri digunakan sebagai sampel untuk kajian bagi mendapat kadar hujan di Malaysia dan dipilih secara rawak seperti di Rajah 2. Lokasi yang dipilih dibahagi kepada dua iaitu negeri di Semenanjung Malaysia dan beberapa lokasi di Sabah dan Sarawak. Jadual 2 menunjukkan parameter setiap lokasi kajian yang digunakan bagi proses mengekstrak data hujan bagi 17 lokasi kajian dari TRMM 3B43 (V7).

Menurut Syed Hassan (2002) suatu sistem perhubungan yang baik biasanya dipilih dengan kebolehpercayaan 99.99%, maka dengan demikian kadar hujan yang melebihi peratusan



RAJAH 1. Carta alir proses kajian

masa 0.01% iaitu  $R_{0.01}$  dipilih sebagai parameter yang digunakan untuk menganggar rumusan pelemahan,  $A_{0.01}$ . Jadual 2 menunjukkan peratusan kadar hujan  $R_{0.01}$  diperlukan untuk mereka bentuk sistem untuk menentukan 99.99% tahap kebolehsediaan dan kebolehpercayaan suatu sistem komunikasi satelit di mana ianya menjadi penanda aras bagi satu sistem perhubungan yang baik (ITU-R P.1511 2001).

Nilai kadar hujan yang melebihi peratusan masa 0.01%,  $R_{0.01}$  (diukur dalam unit mm/jam) bagi kawasan kajian dianggarkan melalui data hujan yang berintegrasikan kadar 1 minit dengan menggunakan model Rice & Holmberg (Chieko Ito & Yoshio Hosoya 2002). Nilai kadar hujan 1 minit setiap peratusan masa diperolehi dari persamaan berikut:

$$R_p = a_p M^{b_p} \beta^{c_p} \quad (10)$$

$$\log(a_p) = 0.1574155x^4 + 1.348171x^3 + 3.528175 + 1.479566x - 2.302276$$



RAJAH 2. Pemetaan lokasi

Sumber: Google Map (2014)

JADUAL 1. Parameter lokasi kajian

Negeri	Lokasi		Altitud Stesen dari Paras Laut (km)	Data Hujan (mm)		
	Latitud (°N)	Longitud (°E)		2011	2012	Purata
Perlis	6.5000	100.2500	0.013	2469.05	2017.48	2243.26
Pulau Pinang	5.4000	100.2389	0.046	2914.21	2741.41	2827.81
Perak	4.7500	101.0000	0.677	2583.93	2479.62	2531.81
Selangor	3.3333	101.5000	0.068	2650.97	3102.94	2876.81
Kuala Lumpur	3.1357	101.6880	0.052	2574.22	3249.57	2911.81
Johor	1.4872	103.7811	0.050	2828.88	2432.85	2630.81
Kelantan	5.2500	102.0000	0.158	3674.23	3281.28	3477.81
Terengganu	4.7500	103.0000	0.020	3720.50	3043.29	3381.81
Pahang	3.7500	102.5000	0.112	3328.28	2701.30	2689.81
Miri	4.4000	113.9900	0.126	3198.018	3030.821	3114.81
Kuching	1.5300	110.3000	0.013	4847.329	3636.247	3991.81
Bintulu	3.2100	113.4800	0.025	3403.981	3572.256	3488.81
Kapit	1.9100	113.6400	0.274	4086.452	4341.876	4214.81
Sandakan	5.8000	118.0000	0.099	4465.956	3441.588	3953.81
Kota Kinabalu	6.0000	116.0000	0.283	2524.926	2278.551	2401.81
Tawau	4.5600	11.6500	0.115	2738.771	2621.169	2679.81
Keningau	5.28	5.2389	0.48	2694.499	2672.844	2683.672

$$b_p = -4.583266 \times 10^{-2}x^4 - .4098161x^3 - 1.162387x^2 - 0.8261178x + 0.911857$$

$$c_p = 2.574688 \times 10^{-2}x^4 + 0.1549031x^3 + 0.1747827x^2 + 0.2846313x + 1.255081 \times 10^{-2}$$

Di mana:

$x = \log p$   
 $M = \text{purata hujan tahunan}$

$\beta = \text{nisbah ribut petir (thunderstorm ratio)}$

Manakala nilai  $\beta$  iaitu nisbah ribut petir (*thunderstorm ratio*) merupakan nisbah hujan ribut petir dan jumlah hujan. Ia dirujuk daripada kajian Rice et al. (1973) yang bergantung kepada lokasi sesuatu tempat (longitud dan latitud).

JADUAL 2. Nilai peratusan  $p\%$  kadar hujan di Malaysia

Negeri	Lokasi		Altitud Stesen dari Paras Laut (km)	Measat 3		Purata Hujan (mm)	Kadar Hujan pada $p\%$ , $R_o$ (mm/jam)			
	Latitud (°N)	Longitud (°E)		Sudut Dongak (°)	Azimut (°)		$R_{0.001}$	$R_{0.01}$	$R_{0.1}$	$R_1$
Perlis	6.5000	100.2500	0.013	77.195	238.330	2243.26	207.93	1414.46	60.64	6.99
Pulau Pinang	5.4000	100.2389	0.046	77.929	233.490	2827.81	194.81	127.17	48.78	5.66
Perak	4.7500	101.0000	0.677	78.453	241.100	2531.77	184.93	119.96	50.15	6.30
Selangor	3.3333	101.5000	0.068	77.617	251.580	2876.96	208.94	142.58	61.63	7.10
Kuala Lumpur	3.1357	101.6880	0.052	77.477	252.880	2911.89	192.35	127.92	52.19	7.16
Johor	1.4872	103.7811	0.050	75.474	263.040	2630.89	203.75	136.84	56.67	6.54
Kelantan	5.2500	102.0000	0.158	76.215	243.576	3477.76	202.21	138.58	71.74	8.23
Terengganu	4.7500	103.0000	0.020	75.393	247.700	3381.89	218.66	138.81	67.57	8.41
Pahang	3.7500	102.5000	0.112	76.351	251.230	2689.00	188.09	123.33	53.07	6.65
Miri	4.4000	113.9900	0.126	63.19	259.50	3114.42	182.49	121.65	62.82	8.73
Kuching	1.5300	110.3000	0.013	37.87	265.52	3991.79	196.65	137.46	80.63	11.1
Bintulu	3.2100	113.4800	0.025	64.00	262.10	3488.12	197.68	138.63	82.04	11.3
Kapit	1.9100	113.6400	0.274	63.98	265.31	4214.16	199.66	140.9	84.82	11.7
Sandakan	5.8000	118.0000	0.099	58.37	58.37	3953.77	147.55	90.754	46.52	7.68
Kota Kinabalu	6.0000	116.0000	0.283	60.56	60.56	2401.74	145.15	88.349	44.04	7.28
Tawau	4.5600	11.6500	0.115	59.02	59.02	2697.97	138.77	82.089	37.9	6.29
Keningau	5.28	5.2800	0.48	60.36	60.36	2683.67	148.6	91.812	47.64	7.86

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Kawasan kajian bagi mengukur kadar pelemahan hujan di Malaysia ialah:

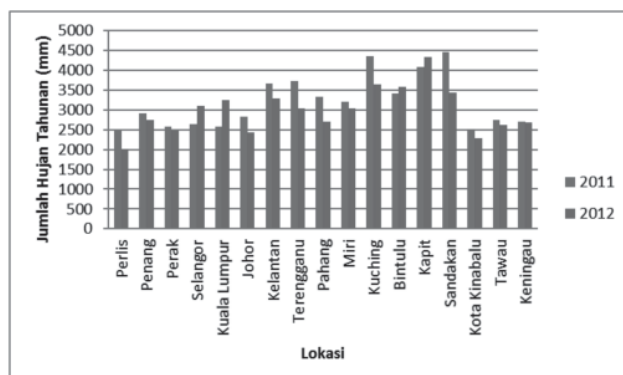
Utara Semenanjung Malaysia – Perlis dan Penang

Barat Semenanjung Malaysia – Perak, Selangor dan Kuala Lumpur

Pantai Timur Semenanjung Malaysia – Pahang, Kelantan dan Terengganu

Selatan Malaysia – Johor

Malaysia Timur – Sabah dan Sarawak



RAJAH 3. Purata Hujan Tahunan bagi tahun 2011 dan 2012 di Malaysia

Rajah 3 menunjukkan purata hujan bagi tahun 2011 dan 2012 bagi negeri-negeri di Malaysia. Lokasi-lokasi di Sabah dan Sarawak menunjukkan bacaan purata hujan tahunan yang paling tinggi bagi kedua-dua tahun. Ini kerana musim Monsun Timur Laut atau disebut sebagai musim tengkujuh bermula pada awal November dan kemudiannya berterusan sehingga awal Mac. Angin ini bertiup secara tetap dari arah timur laut. Semasa tempoh ini, negeri-negeri di pantai timur Semenanjung (Pahang, Terengganu dan Kelantan), kawasan pantai Sarawak dan pantai timur Sabah biasanya mengalami hujan lebat yang berterusan. Rajah 4 jelas menunjukkan negeri-negeri pantai timur, Sabah dan Sarawak dapat dilihat dengan ketara pada musim Monsun Timur Laut, kadar hujan pada negeri tersebut adalah melebihi nilai purata. Hujan lebat yang berlaku biasanya bermula di negeri Kelantan dan Terengganu pada bulan November dan awal Disember. Ia kemudiannya berganjak secara perlahan-lahan ke selatan, biasanya kawasan timur negeri Pahang dan Johor.

Jadual 3 menunjukkan perbandingan nilai-nilai pelemahan hujan pada Jalur- $K_u$  dan Jalur- $K_a$  bagi negeri-negeri di Malaysia. Dapat diperhatikan Jalur  $K_u$  yang beroperasi pada frekuensi 11.7 GHz menunjukkan nilai pelemahan hujan yang rendah berbanding dengan nilai pelemahan hujan pada Jalur  $K_a$  yang beroperasi pada 17.7 GHz. Semakin meningkat frekuensi operasi maka pelemahan hujan akan mengurangkan perambatan gelombang radio pada frekuensi yang melebihi 10 GHz. Fenomena ini akan menyekat panjang jalur sistem komunikasi radio dan membatasi penggunaan frekuensi yang lebih tinggi bagi gelombang mikro.

JADUAL 3. Perbandingan nilai-nilai ramalan pelemahan hujan pada Jalur K<sub>u</sub> dan Jalur K<sub>a</sub>

Lokasi	Jalur-K <sub>u</sub> (dB)				Jalur-K <sub>a</sub> (dB)			
	A <sub>0.001</sub>	A <sub>0.01</sub>	A <sub>0.1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0.001</sub>	A <sub>0.01</sub>	A <sub>0.1</sub>	A <sub>1</sub>
Perlis	31.76	23.22	11.56	2.18	70.12	56.17	30.65	6.34
Pulau Pinang	29.20	20.83	10.13	1.91	65.36	51.17	27.33	5.67
Perak	23.37	16.64	8.06	1.46	53.80	42.18	22.50	4.49
Selangor	30.88	23.08	11.72	2.17	67.86	55.56	30.91	6.26
Kuala Lumpur	27.85	20.62	10.37	1.89	62.33	50.65	27.96	5.59
Johor	28.61	21.61	11.07	2.00	62.26	51.45	28.84	5.70
Kelantan	30.03	21.79	10.77	2.02	65.74	52.24	28.27	5.81
Terengganu	33.45	24.70	12.42	2.35	71.31	57.54	31.58	6.53
Pahang	26.60	19.40	9.62	1.76	59.46	47.59	25.90	5.19
Miri	17.72	11.85	5.4	0.97	23.48	16.22	7.64	1.41
Kuching	18.52	13.04	6.25	1.09	24.25	17.63	8.72	1.57
Bintulu	19.04	13.04	6.09	1.09	24.82	17.54	8.44	1.09
Kapit	18.63	12.92	6.10	1.08	24.34	17.42	8.48	1.54
Sandakan	15.60	9.96	4.35	0.79	15.60	9.96	4.35	0.79
Kota Kinabalu	14.90	9.472	4.13	0.74	20.40	13.52	6.12	1.14
Tawau	14.50	9.33	4.10	0.73	20.10	13.44	6.13	1.13

Rajah 3 menunjukkan lokasi di kawasan Sabah dan Sarawak mempunyai nilai purata hujan yang paling tinggi berbanding di kawasan Semenanjung Malaysia. Jadual 3 pula menunjukkan negeri Terengganu mempunyai ramalan pelemahan hujan yang tinggi pada peratusan masa 0.01% iaitu 24.70 dB pada Jalur Ku. Secara teorinya bila jumlah hujan yang tinggi maka nilai ramalan pelemahan hujan pun turut tinggi. Tetapi lokasi sekitar Sabah dan Sarawak mencatat nilai ramalan pelemahan hujan yang rendah iaitu 12.92 dB seperti di Kapit jika dibanding dengan Terengganu 24.70 dB. Selain daripada jumlah hujan yang tinggi, panjang laluan condong turut memberi kesan kepada pelemahan hujan Panjang laluan condong,  $L_s$  bagi setiap negeri adalah berbeza-beza. Semakin jauh panjang laluan condong  $L_s$  dari satelit ke bumi maka makin tinggi nilai ramalan pelemahan hujan.

Menurut Ippolito (2008) sudut dongak,  $\theta$  mempengaruhi pelemahan hujan. Apabila sudut dongak berkurang nilai pelemahan hujan akan meningkat. Ini kerana terdapatnya banyak atmosfera yang wujud dan berinteraksi dengan gelombang mikro pada lalu bumi-satelit. Akan tetapi sudut dongakan antena bagi Terengganu adalah lebih besar iaitu  $75.39^\circ$  tetapi mendapat ramalan pelemahan hujan 24.70 dB yang tinggi dan menghasilkan panjang laluan condong  $L_s$  yang lebih pendek 4.67 km berbanding beberapa lokasi di Sabah dan Sarawak yang mempunyai  $\theta$  yang rendah tetapi mendapat nilai ramalan pelemahan yang rendah iaitu 12.92 dB seperti di Kapit, Sarawak yang mempunyai panjang laluan condong yang lebih panjang. Ini adalah kerana panjang unjuran mengufuk,  $L_G$  yang diperolehi di Terengganu adalah sangat kecil (disebabkan sudut dongak yang besar) iaitu 1.18 km manakala  $L_G$  di kawasan Sabah dan Sarawak sangat

besar. Perbezaan ini seterusnya memberi kesan terhadap nilai faktor pengurang,  $r_p$  dan juga panjang laluan condong efektif,  $L_{eff}$ . Di samping itu, nilai ramalan pelemahan hujan yang diperolehi juga bergantung kepada latitud lokasi kajian yang mempunyai kedudukan yang berbeza serta ketinggian stesen bumi di atas paras laut yang berbeza di mana setiap parameter ini amat mempengaruhi setiap nilai ramalan yang diperolehi. Panjang laluan condong efektif,  $L_{eff}$  untuk setiap kawasan adalah bergantung kepada frekuensi operasi dan sudut dongakan.

Secara teorinya lokasi dengan sudut dongak yang paling rendah akan mempunyai laluan condong efektif yang panjang (sudut dongak lokasi di Sabah dan Sarawak lebih rendah daripada Semenanjung Malaysia). Sebaliknya di dalam kajian ini adalah tidak seperti jangkaan teori. Kepelbagaian kadar hujan tempatan mempunyai pengaruh ke atas laluan condong efektif. Walau apa pun pemerhatian ini, kesimpulan umum masih boleh dibuat bahawa kawasan yang bersudut dongak tinggi menunjukkan laluan condong efektif pendek disebabkan oleh kepelbagaian kadar hujan. Pelemahan, laluan condong efektif sangat bergantung kepada sudut dongak dan frekuensi operasi.

Malaysia mengalami hujan yang lebat sepanjang tahun dan corak taburan hujan dipengaruhi monsun (Mandeep 2007). Terdapat dua monsun iaitu barat daya dan timur laut yang mempengaruhi jumlah taburan hujan di seluruh Malaysia. Monsun timur laut lebih dikenali sebagai musim tengkujuh manakala monsun barat daya dikenali musim kering. Monsun timur laut kebiasaannya bermula pada awal November dan kemudiannya berterusan sehingga awal Mac. Manakala taburan hujan pada monsun barat daya lebih rendah

yang kebiasanya bermula pada setengah terakhir bulan Mei atau awal bulan Jun dan tamat pada akhir September atau dikenali musim kering. Menurut laman sesawang rasmi Jabatan Meteorologi Malaysia mencatatkan ketika peranginan Monsun Timur Laut memberi ukuran taburan hujan yang paling tinggi seluruh Malaysia terutama di kawasan persisiran pantai Semenanjung Malaysia serta Sabah dan Sarawak kerana angin monsun ini bertiup dari Selatan Laut China tanpa dihalang oleh bentuk muka bumi seperti gunung.

Satu kajian dijalankan bagi mengkaji corak perubahan pelemahan hujan dengan faktor peranginan angin monsun dan fenomena El-Nino dan La-Nina. Bagi mendapatkan corak fenomena El-Nino dan La-Nina, tempoh kajian dipanjangkan selama lima tahun di kawasan Malaysia Timur iaitu di Sabah

dan Sarawak. Tempoh kajian di kawasan Semenanjung Malaysia dikekalkan oleh kerana kekurangan data. Jadual 4 sehingga Jadual 7 merupakan ramalan nilai pelemahan hujan tahunan di setiap lokasi mengikut peratusan masa. Secara puratanya didapati ketika peranginan angin monsun timur laut nilai pelemahan hujan adalah lebih tinggi berbanding ketika berlakunya peralihan angin monsun barat daya. Ilustrasi nilai pelemahan hujan yang lebih jelas mengenai perbandingan nilai pelemahan hujan mengikut monsun tahunan adalah seperti di Rajah 3 iaitu di Kapit, Sarawak. Lokasi ini dipilih kerana kerana ia merupakan salah satu kawasan yang mempunyai taburan hujan yang tinggi sepanjang tahun. Manakala, bagi mengkaji fenomena El-Nino dan La-Nina, corak perubahan nilai pelemahan hujan mengikut tahun dianalisa.

JADUAL 4. Nilai pelemahan hujan mengikut peranginan monsun di Malaysia pada peratusan masa melebihi 0.001%,  $A_{0.001}$

Bulan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Perak	Penang	Kelantan	Kuala Lumpur	Johor	Selangor	Perlis	Terengganu	Pahang
Barat daya	2011	15.66	17.25	16.96	16.59	15.2	16.96	16.46	17.06	16.6
	2012	15.33	16.91	16.64	16.21	14.85	16.64	16.19	16.73	16.26
Timur Laut	2011	17.85	17.42	17.47	17.41	15.97	17.47	16.91	17.69	17.38

Bulan		Pelemahan Hujan (dB)							
		Bintulu	Kapit	Keningau	Kota Kinabalu	Kuching	Miri	Sandakan	Tawau
Barat daya	2008	14.64	14.32	13.62	11.05	13.75	13.48	12.65	12.99
	2009	12.28	12.19	12.55	14.56	12.69	11.29	12.66	11.59
	2010	14.76	15.13	14.77	14.39	13.66	15.22	11.69	12.90
	2011	12.52	12.96	12.65	11.64	12.03	15.22	12.73	12.30
	2012	12.35	12.55	13.41	12.02	12.10	11.60	12.95	12.39
Timur Laut	2008	16.01	14.78	14.73	13.21	15.96	15.59	16.00	13.87
	2009	14.66	14.86	11.12	10.90	15.36	13.3	12.5	11.12
	2010	15.05	14.68	14.55	14.45	15.24	15.29	16.94	14.28
	2011	14.40	14.72	12.97	12.15	15.93	13.96	16.27	13.25

Kajian ini mendapati kawasan Semenanjung Malaysia mahupun Malaysia Timur secara purata mendapati nilai pelemahan hujan pada peranginan monsun barat daya adalah secara lebih rendah berbanding peranginan angin monsun timur laut. Kenyataan ini dapat dibuktikan dengan menganalisa nilai pelemahan hujan di setiap tempat di seluruh Malaysia. Sebagai contoh perbezaan yang ketara di Bintulu, Sarawak, pada tahun 2009 mempunyai nilai pelemahan 12.28 dB pada musim barat daya manakala 14.66 dB pada musim timur laut. Apabila menganalisa corak perubahan secara purata mengikut tahun mendapati pada 2010 hujan pada peratusan masa 0.001% yang paling tinggi manakala pada tahun 2009 adalah paling rendah.

Nilai pelemahan hujan pada peratusan masa 0.01% turut sama iaitu memberi nilai pelemahan hujan paling tinggi ketika musim peranginan monsun timur laut bagi setiap lokasi di Malaysia. Ia dapat dibuktikan apabila corak nilai pelemahan hujan di setiap lokasi yang dipilih adalah sama iaitu lebih rendah pada musim barat daya. Manakala, ketika

musim peranginan monsun barat daya pada tahun 2010 adalah paling tinggi dan rendah pada 2009 di mana Kapit mempunyai pelemahan hujan yang tertinggi pada tahun 2010 iaitu 10.2 dB manakala nilai pelemahan hujan terendah adalah di Tawau iaitu 7.26 dB pada tahun 2009. Nilai pelemahan hujan yang tertinggi pada monsun timur laut pada peratusan masa 0.01% adalah di Kuching iaitu 11.1 dB pada tahun 2008 manakala Tawau (lokasi paling rendah taburan hujan) mempunyai nilai pelemahan hujan paling rendah adalah pada tahun 2009 iaitu 6.93 dB. Kenyataan ini bertujuan menganalisa fenomena El-Nino dan La-Nina.

Pada peratusan masa 0.1%, corak nilai pelemahan hujan pada tahun 2010 mempunyai nilai pelemahan yang tinggi manakala tahun 2009 adalah paling rendah ketika peranginan monsun barat daya tahun. Perkara ini boleh melihat fenomena samada El-Nino ataupun La-Nina. Seperti di Kapit nilai pelemahan hujan sebanyak 4.72 dB pada tahun 2010 dan 3.62 dB pada tahun 2009 pada musim peranginan monsun barat daya. Seperti hasil kajian pada peratusan masa 0.1%

JADUAL 5. Nilai pelemahan hujan mengikut peranginan monsun di Malaysia pada peratusan masa melebihi 0.01%,  $A_{0.01}$ 

Bulanan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Perak	Penang	Kelantan	Kuala Lumpur	Johor	Selangor	Perlis	Terengganu	Pahang
Barat daya	2011	10.64	11.75	11.52	11.57	10.67	11.55	10.99	11.66	11.47
	2012	10.40	11.50	11.28	11.27	10.40	11.26	10.79	11.41	11.20
Timur Laut	2011	12.31	12.19	11.91	12.21	11.27	12.19	11.32	12.14	12.07

Bulanan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Bintulu	Kapit	Keningau	Kota Kinabalu	Kuching	Miri	Sandakan	Tawau	
Barat daya	2008	9.73	9.64	8.66	6.81	9.37	8.73	7.88	8.25	
	2009	8.00	8.05	7.91	9.26	8.56	7.16	7.88	7.26	
	2010	9.82	10.2	9.48	9.14	9.29	9.99	7.22	8.18	
	2011	8.17	8.62	7.97	7.22	8.06	9.99	7.93	7.76	
	2012	8.04	8.32	8.52	7.48	8.12	7.38	8.09	7.82	
Timur Laut	2008	10.8	9.98	9.46	8.31	11.10	10.3	10.20	8.87	
	2009	9.74	10.00	6.91	6.71	10.6	8.60	7.77	6.93	
	2010	10.00	9.91	9.33	9.19	10.50	10.00	10.90	9.16	
	2011	9.55	9.93	8.20	7.57	11.00	9.08	10.40	8.43	

JADUAL 6. Nilai pelemahan hujan mengikut peranginan monsun di Malaysia pada peratusan masa melebihi 0.1%,  $A_{0.1}$ 

Bulanan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Perak	Penang	Kelantan	Kuala Lumpur	Johor	Selangor	Perlis	Terengganu	Pahang
Barat daya	2011	4.92	5.45	5.33	5.48	5.08	5.46	5	5.42	5.39
	2012	4.8	5.32	5.21	5.32	4.94	5.31	4.9	5.3	5.25
Timur Laut	2011	5.78	5.79	5.53	5.82	5.4	5.79	5.17	5.67	5.7

Bulanan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Bintulu	Kapit	Keningau	Kota Kinabalu	Kuching	Miri	Sandakan	Tawau	
Barat daya	2008	4.4	4.41	3.77	2.87	4.33	3.86	3.36	3.58	
	2009	3.55	3.62	3.4	4.03	3.93	3.1	3.36	3.11	
	2010	4.45	4.72	4.16	3.97	4.3	4.48	3.05	3.54	
	2011	3.63	3.9	3.44	3.06	3.67	4.48	3.38	3.34	
	2012	3.57	3.75	3.7	3.18	3.7	3.21	3.46	3.37	
Timur Laut	2008	4.92	4.59	4.15	3.58	5.2	4.62	4.48	3.88	
	2009	4.41	4.62	2.96	2.82	4.97	3.8	3.31	2.95	
	2010	4.56	4.55	4.09	3.99	4.92	4.5	4.81	4.02	
	2011	4.32	4.56	3.55	3.23	5.19	4.03	4.58	3.66	

mendapati Kuching, Sarawak mengalami kesan peranginan timur laut paling tinggi berbanding lokasi lain. Ini kerana, ia mempunyai nilai pelemahan hujan yang tertinggi pada tahun 2008 iaitu 4.92 dB pada peratusan masa 0.001%. Manakala, Tawau mempunyai nilai pelemahan hujan paling rendah adalah pada tahun 2009 iaitu 2.95 dB.

Pada peratusan masa 1% iaitu nilai pelemahan hujan adalah paling tinggi pada tahun 2010 mempunyai nilai pelemahan yang tinggi manakala tahun 2009 adalah paling rendah ketika peranginan monsun barat daya tahun. Analisa pada musim barat daya mendapati, Kapit mempunyai nilai pelemahan hujan yang paling tinggi iaitu 5.2 dB pada tahun

2010. Manakala, nilai pelemahan hujan paling rendah adalah di Kota Kinabalu iaitu 1.8 dB pada tahun 2009. Nilai pelemahan hujan pada peratusan masa 1% adalah tinggi pada tahun 2008 dan 2010 bergantung kepada lokasi kajian. Kuching turut mempunyai nilai pelemahan hujan yang tertinggi pada tahun 2008 iaitu 6.6 dB pada peratusan masa 1%. Manakala, Tawau mempunyai nilai pelemahan hujan paling rendah adalah pada tahun 2009 iaitu 53.6 dB dan mempunyai nilai pelemahan hujan yang tinggi pada tahun 2010 iaitu 3.8 dB. Melihat kepada nilai pelemahan hujan antara angin monsun barat daya serta timur laut di setiap lokasi di se seluruh Malaysia dapat membuktikan bahawa



JADUAL 7. Nilai pelemahan hujan mengikut peranginan monsun di Malaysia pada peratusan masa melebihi 1%,  $A_1$

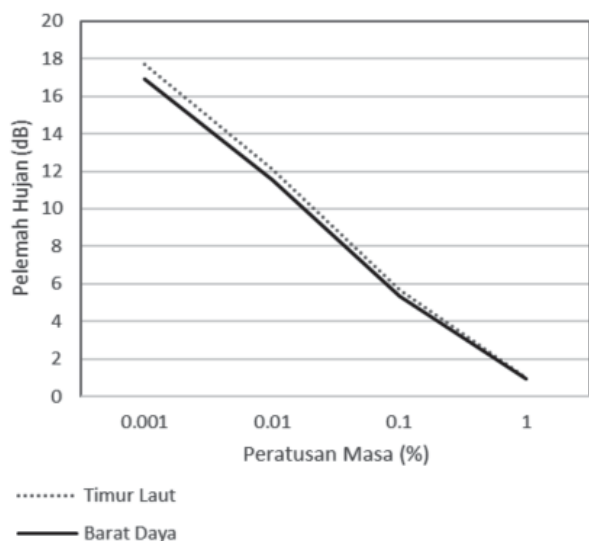
Bulan		Pelemahan Hujan (dB)								
		Perak	Penang	Kelantan	Kuala Lumpur	Johor	Selangor	Perlis	Terengganu	Pahang
Barat daya	2011	0.85	0.96	0.94	0.94	0.85	0.94	0.88	0.95	0.93
	2012	0.83	0.93	0.91	0.91	0.83	0.91	0.86	0.93	0.91
Timur Laut	2011	1.01	1.00	0.97	1.00	0.91	1.00	0.92	1.00	0.99

Bulan		Pelemahan Hujan (dB)							
		Bintulu	Kapit	Keningau	Kota Kinabalu	Kuching	Miri	Sandakan	Tawau
Barat daya	2008	0.76	0.75	0.66	0.5	0.73	0.67	0.59	0.63
	2009	0.6	0.61	0.59	0.72	0.65	0.53	0.59	0.54
	2010	0.77	0.81	0.74	0.71	0.72	0.79	0.53	0.62
	2011	0.62	0.66	0.6	0.53	0.61	0.79	0.6	0.58
	2012	0.61	0.63	0.65	0.56	0.61	0.55	0.61	0.59
Timur Laut	2008	0.86	0.79	0.74	0.63	0.89	0.81	0.81	0.68
	2009	0.77	0.79	0.51	0.49	0.85	0.66	0.58	0.51
	2010	0.79	0.78	0.73	0.71	0.84	0.79	0.88	0.71
	2011	0.75	0.78	0.62	0.56	0.89	0.7	0.83	0.64

peranginan monsun turut memainkan faktor dalam nilai pelemahan hujan.

Rajah 4 adalah ilustrasi lebih jelas menunjukkan nilai pelemahan hujan lebih tinggi pada angin timur laut berbanding angin barat daya. Lokasi yang dipilih adalah Terengganu kerana mempunyai nilai pelemahan hujan antara yang tertinggi di Malaysia. Seajar dengan teori pelemahan hujan, kadar hujan akan mempengaruhi pengaruhnya. Ciri-ciri iklim semasa tempoh pertengahan adalah angin bergerak perlahan. Kebiasaannya pada musim ini, akan kelihatan cerah pada siang hari manakala akan memberi petanda ribut petir serta hujan lebat pada sebelah petang. Fenomena ini turut menyumbang purata jumlah hujan bulan di Malaysia pada setiap dua tempoh peralihan angin monsun.



RAJAH 4. Nilai pelemahan hujan mengikut monsun di Terengganu

Kesimpulannya, adalah dapat dibuktikan nilai pelemahan hujan pada musim timur laut adalah lebih tinggi berbanding ketika angin monsun barat daya. Manakala, secara keseluruhan, corak nilai pelemahan hujan mengikut peratusan masa adalah sama ketika peranginan angin monsun barat daya iaitu mempunyai nilai pelemahan hujan paling tinggi pada tahun 2010 dan rendah pada 2009. Perkara ini adalah lebih ketara disebabkan fenomena yang dinamakan El-Nino iaitu musim kemarau yang berlaku pada tahun 2009 adalah sederhana manakala pada tahun 2008 dan 2010, fenomena La-Nina berlaku dan memberi kesan kepada taburan hujan pada tahun tersebut lebih tinggi seperti rajah yang dilampirkan di Lampiran A iaitu senarai episod-episod yang berlaku sebagai tahun El-Nino dan La-Nina berdasarkan Index Lautan Nino selama 60 tahun oleh NOAA.

KESIMPULAN

Kajian ini menganalisis data kadar hujan bulanan yang diperolehi daripada satelit TRMM 3B43 (V7) bagi setiap lokasi jangka masa dua tahun iaitu Januari 2011 sehingga Disember 2012. Model ITU-R adalah yang paling sesuai diguna pakai di Malaysia berdasarkan kajian terdahulu. Secara keseluruhan, nilai pelemahan bersifat seajar dengan kadar hujan. Berdasarkan kajian ini didapati sudut dongak memainkan peranan nilai pelemahan hujan. Ini dapat dilihat melalui perbandingan antara kawasan Semenanjung Malaysia dan Sabah dan Sarawak di mana negeri-negeri di Semenanjung Malaysia mengalami nilai pelemahan hujan yang tinggi walaupun kawasan Sabah dan Sarawak mempunyai kadar hujan lebih tinggi. Selain itu, kajian ini mendapati peranginan angin monsun turut memberi pengaruh terhadap nilai pelemahan hujan di mana nilai pelemahan hujan adalah tinggi di seluruh Malaysia pada peranginan angin monsun timur

laut berbanding peranginan monsun barat daya. Manakala, bagi melihat corak fenomena El-Nino dan La-Nina, tempoh kajian di Malaysia Timur dipanjangkan kepada lima tahun iaitu Januari 2008 sehingga Disember 2012. Ia hanya dapat dikaji di kawasan Malaysia Timur disebabkan kekurangan data di Semenanjung Malaysia. Hasil kajian mendapati, La-Nina yang berlaku pada tahun 2008 dan 2010 memberi kesan kepada taburan hujan yang lebih tinggi berbanding dengan tahun-tahun yang lain.

## RUJUKAN

- Al-jumaily, A. H. J., Sali, A., Ismail, A., Mandeep, J. S. & Al-saegh, A. M. 2013. Performance Analysis of Rain Attenuation at Ku-band in Malaysia. *Proceeding of the 2013 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpae)*, hlm. 160-163.
- COST. 2002. *COST 225-Final Report Radiowave Propagation Modeling for NewSatComm Services at Ku-Band and Above*. Netherlands: European Space Agency (ESA)
- Google Map. [https://www.google.com/maps/d/edit?mid=z-oTDoYUQ41Yk\\_ZKHaKcyjiA](https://www.google.com/maps/d/edit?mid=z-oTDoYUQ41Yk_ZKHaKcyjiA).
- Ito, C. & Hosoya, Y. (n.d.). The Thuntestorm Ratio As A Regional Climate Parameter: Its effects on different-integration-time rain rate conversion, rain attenuation, site-diversity and rain depolarization (1): 10-13.
- ITU-R Recommendation ITU-R P.618-8-11. 2013. *Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth Space Telecommunication Systems*. Geneva: International Telecommunication Union (ITU).
- ITU-R Recommendation ITU-R P.1511. 2001. *Topography for Earth-to-Space Propagation Modelling*. Geneva: International Telecommunication Union (ITU).
- Karim, M. 2000. Effective Path Length for Terrestrial Microwave Links Prediction based on Rain Attenuation Measurements in Malaysia. MSc Thesis. Universiti Teknologi Malaysia.
- MEASAT. (n.d.). [http://www.measat.com/support\\_customer\\_azimuth.html](http://www.measat.com/support_customer_azimuth.html).
- Mandeep, J. S. 2007. Equatorial Rainfall Measurement on Ku-band Satellite Communication Downlink. *Progress In Electromagnetics Research, PIER* 76: 195-200.
- Sridhar, M., Raju, K. P. & Rao, C. S. 2012. Estimation of Rain Attenuation based on ITU-R Model in Guntur (A. P) India 03(03): 2-6.
- Syed Idris Syed Hassan. 2002. *Siri Syarahan Umum: Kajian Perambatan Isyarat Satelit-Ke Arah Sistem Perhubungan Global yang Berkualiti*. Siri Pelantikan Profesor. Malaysia: Penerbit Universiti Sains Malaysia.
- Rice, P. L. & Holmberg, N. R. 1973. Cumulative time statistics of surface-point rainfall rates, *IEEE Trans, Com* 21: 1131-1136.
- TRMM Precipitation Measurement Mission. <http://TRMM.nasa.gov/TRMM>.
- TRMM Online Visualisation and Analysis System (TOVAS). <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/TOVAS>.
- Yussuff, A. I. O. & Khamis, N. H. H. 2013. Comparison of slant path rain attenuation models using data from a tropical station. *2013 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)*: 228-233.
- Aidawati Mustapha, Farah Aniza Nazri & Mandeep Jit Singh\*
- Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik & Sistem  
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
Malaysia
- \*Penulis koresponden; emel: [mandeep@eng.ukm.my](mailto:mandeep@eng.ukm.my)
- Tarikh serahan: 8 Julai 2014  
Tarikh terima: 11 November 2014