

## Ramalan Pelemahan Hujan di Malaysia Menggunakan Data TRMM

(Prediction of Rain Attenuation in Malaysia Using TRMM Data)

Noor Hidayah Tauhid Ahmad<sup>a,c\*</sup>, Asnor Nadirah Ishak<sup>a,c</sup>, & Mandeep Singh Jit Singh<sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>Program Sarjana Kejuteraan Komunikasi dan Komputer,

<sup>b</sup>Jabatan Elektrik, Elektronik dan Sistem

<sup>c</sup>Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, Bangi, Selangor, Malaysia

\*Corresponding author: [noor.hidayah.tauhid@gmail.com](mailto:noor.hidayah.tauhid@gmail.com)

Received 22 June 2020, Received in revised form 26 August 2020

Accepted 15 September 2020, Available online 30 May 2021

### ABSTRAK

Hujan dilihat sebagai penyebab utama yang menyumbang kepada kemerosotan isyarat gelombang elektromagnetik bagi frekuensi melebihi 10GHz melalui proses resapan, dan penyelerakkan sehingga mengakibatkan isyarat menjadi lemah atau pudar. Perkhidmatan penyiaran satelit yang menggunakan frekuensi jalur Ku (12GHz hingga 18GHz) digunakan secara meluas telah menyebabkan kesesakan, maka jalur Ka digunakan untuk memenuhi permintaan pengguna. Namun, kesan pelemahan hujan terhadap jalur Ka adalah lebih tinggi berbanding jalur Ku. Dalam kajian ini, kesan pelemahan hujan bagi isyarat laluan menurun jalur Ka satelit Measat-5 dianalisis bagi melihat kesan pelemahan hujan dengan menggunakan data TRMM 3B42 untuk tempoh sebelas (11) tahun bermula Januari 2009 hingga Disember 2019 bagi empat belas (14) kawasan kajian. Data yang diperolehi seterusnya diproses bagi mendapatkan data hujan berintegrasi 1 minit menggunakan Model Segal bagi setiap kawasan kajian dan ramalan pelemahan hujan dilaksanakan menggunakan model dari ITU-R P.618-13. Hasil kajian ini merumuskan tiga (3) faktor utama yang mempengaruhi nilai pelemahan hujan iaitu nilai pelemahan spesifik, altitud kedudukan stesen penerima dan sudut dongak antena penerima isyarat satelit. Kesan pelemahan hujan terhadap tahap kebolehsediaan isyarat menunjukkan lapan (8) kawasan kajian adalah boleh menerima 99.90% kebolehsediaan isyarat, manakala selebihnya hanya boleh menerima 99.00% kebolehsediaan isyarat perkhidmatan bagi memenuhi keperluan ketidak bolehsediaan ITU. Secara keseluruhannya, nilai pelemahan hujan di Pantai Barat Semenanjung Malaysia adalah lebih kecil berbanding Pantai Timur Semenanjung Malaysia dan nilai pelemahan hujan di Pantai Timur Semenanjung Malaysia adalah menghampiri nilai pelemahan hujan di Sabah dan Sarawak.

Kata kunci: Pelemahan hujan; TRMM; Jalur Ka; Hujan 1-minit

### ABSTRACT

Rainfall is observed as a main contributing factor in the degradation of electromagnetic signal for frequency above 10GHz through absorption and scattering, resulting a weak or fading signal. Broadcasting satellite service operates in Ku band (12GHz to 18GHz) is widely used has caused congestion, therefore Ka band is exploited to meet the customer demand. However, the rain attenuation effects on Ka band are higher than Ku band. In this study, the rain attenuation effects of Ka band downlink signal of the Measat-5 satellite are analysed to assess the rain fade properties using TRMM 3B42 data for eleven (11) years from January 2009 until December 2019 for fourteen study areas. All data are processed to obtain 1-minute integration data using Segal Model and the prediction of rain attenuation are implemented using ITU-R P.618-13 model. This study summarizes, there are three, (3) main factors that influence the impact of rain attenuation, namely the value of specific attenuation, receiver station altitude and elevation angle of the satellite signal receiver antenna. The signal availability impact on rain attenuation shows, eight (8) study areas could receive 99.90% of service readiness, while the rest at 99.00% to comply with the ITU unavailability requirements. Overall, the value of rain attenuation on the West Coast of Peninsular Malaysia is smaller than the East Coast of Peninsular Malaysia and the value of rain attenuation in the East Coast of Peninsular Malaysia is closer to the value of rain attenuation in Sabah and Sarawak.

Keywords: Rain attenuation; TRMM; Ka Band; 1-minute rain rate

Kedudukan Malaysia yang terletak di rantau khatulistiwa menyebabkan semua kawasan menerima hujan sepanjang tahun. Keamatan hujan di Malaysia berubah mengikut monsun dan memberikan impak kepada sistem komunikasi terutamanya kepada rangkaian komunikasi yang menggunakan frekuensi 10GHz dan lebih tinggi. Rangkaian radio yang beroperasi pada frekuensi ini akan menerima gangguan atmosfera disebabkan fenomena meteorologi, seperti hujan, awan, wap air dan kabus yang membataskan ketersediaan dan kebolehpercayaan rangkaian komunikasi (Maitra et al. 2019).

Kesan pelemahan hujan terjadi akibat proses resapan dan penyelerakkan gelombang radio apabila melalui titisan air hujan. Pelemahan isyarat akibat hujan memberi kesan pelemahan yang sangat ketara terhadap perambatan isyarat gelombang sama ada dari satelit ke antena penerima di bumi atau sebaliknya terutamanya bagi negara-negara tropika yang mengalami kadar hujan yang tinggi sepanjang tahun seperti di Malaysia. Selain itu, nilai pelemahan hujan yang tinggi juga memberi kesan secara langsung kepada kos penyelenggaraan berikutan kuasa yang tinggi diperlukan pada unit penghantar isyarat mengakibatkan penambahan kos pada operasi (Nazri et al. 2018). Ramalan model pelemahan hujan memainkan peranan penting kerana dapat membantu dalam menyediakan anggaran kuasa penghantaran yang hampir tepat supaya suatu nilai kebolehsediaan isyarat perkhidmatan dapat ditentukan. Kebolehpercayaan 100% bagi suatu sistem perhubungan satelit adalah tidak mungkin kerana ia memerlukan kuasa penghantaran yang terlalu besar dan tidak ekonomi (Hasniza 2013).

Hujan merupakan salah satu jenis kerpasan dan taburannya boleh diukur melalui satelit. Data hujan adalah penting bagi menyediakan ramalan cuaca dan iklim bumi. Misi Mengukur Hujan Tropika ('Tropical Rainfall Measuring Mission', TRMM) merupakan platform yang menyediakan data melalui konstelasi satelit TRMM menerusi kerjasama dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Menurut (Mahmud et al. 2015), data TRMM merupakan sumber data kerpasan yang bermanfaat sebagai alternatif kepada data tolok hujan konvensional.

Di Malaysia, aplikasi satelit geopegun yang digunakan secara meluas adalah perkhidmatan siaran satelit yang menggunakan frekuensi jalur Ku (12GHz hingga 18GHz). Permintaan terhadap sektor ini di seluruh dunia amat menggalakkan sehingga berlaku kesesakan terhadap jalur Ku. Sehubungan dengan itu, penyedia perkhidmatan telah mengeksploitasikan jalur Ka (Semire et al. 2015) bagi mengatasi masalah tersebut untuk memenuhi permintaan pengguna. Measat merupakan syarikat Malaysia yang berperanan sebagai operator atau penyendali satelit dibawah seliaannya. Satelit Measat-5 dilancarkan pada slot orbital 119.5° timur, menyediakan transponder bagi jalur Ku dan Ka dengan lebar jalur transponder 513MHz. Kesan pelemahan hujan terhadap jalur Ka adalah lebih tinggi berbanding

jalur Ku. Sehubungan dengan itu, model ramalan terhadap kesan pelemahan hujan adalah penting bagi menyediakan rangkaian komunikasi yang boleh dipercayai menggunakan jalur Ka kepada pengguna. Oleh kerana frekuensi spektrum menjadi semakin padat dari semasa ke semasa, laluan menurun bagi isyarat satelit geopegun beralih ke frekuensi yang lebih tinggi, seperti jalur C dipindahkan ke jalur Ku dan kini ke jalur Ka (Omotosho et al. 2017). Kini, jalur Ka telah dikenalpasti sebagai alternatif kepada perkhidmatan jalur Ku yang telah stabil penggunaannya.

Kajian-kajian terdahulu menggunakan satelit Measat-3 yang terletak pada slot orbital 91.5° Timur sebagai rujukan pengiraan sudut dongak antena penerima isyarat. Kini, transponder jalur Ka telah dilancarkan menerusi satelit Measat-5 pada orbital slot 119.5° Timur. Oleh yang demikian, terdapat perbezaan berkenaan sudut dongak antena penerima isyarat yang menjadi salah satu input parameter terhadap ramalan pelemahan hujan. Selain itu, ketepatan ramalan adalah bergantung kepada ketersediaan data dan tempoh masa pengumpulan data. Kajian ini menggunakan data TRMM 3B42 iaitu data hujan 3 jam yang mempunyai kelebihan untuk mengkaji kesan perubahan diurnal, dengan mengambil tempoh hujan selama 11 tahun bagi menjamin kestabilan statistik bagi memenuhi syor dari International Telecommunication Union (ITU) iaitu ITU-R P. 837-7 (I.T.U 2017). Hasil dari ramalan pelemahan hujan bagi jalur Ka, dapat digunakan sebagai rujukan kepada penyedia perkhidmatan siaran satelit dan juga penyelidik lain untuk melaksanakan penyelidikan berterusan bagi meningkatkan dan memperbaiki kualiti penerimaan isyarat pada sistem satelit bagi iklim tropika yang menerima kadar hujan yang tinggi sepanjang tahun.

#### METODOLOGI KAJIAN

Kajian-kajian terkini yang menjadikan Malaysia sebagai kawasan kajian berkenaan pelemahan hujan bagi jalur Ka-Band, model pertukaran data hujan kepada 1 minit dan model ramalan pelemahan hujan yang terbaik telah diperhalusi untuk dijadikan panduan terhadap kajian yang dilaksanakan. Untuk kajian ini, model Segal (Segal 1986) dipilih sebagai model pertukaran data hujan dari 60 minit kepada 1 minit, yang merupakan antara model yang bersesuaian untuk kawasan tropika (Chun et al. 2013) dan (Selamat et al. 2014), manakala model ITU-R P.618-13 digunakan bagi mendapatkan ramalan pelemahan hujan. Carta aliran kaedah kajian bagi keseluruhan proses kerja adalah dalam Rajah 1.

Untuk kajian ini, sejumlah empat belas (14) kawasan kajian di seluruh Malaysia telah dikenalpasti berdasarkan populasi dan keadaan muka bumi, merangkumi lapan (8) lokasi kajian di bahagian Semenanjung Malaysia dan enam (6) lokasi di bahagian Malaysia Timur. Dalam kajian ini, dua (2) kawasan tanah tinggi iaitu Cameron Highland, Pahang dan Kundasang, Sabah telah dipilih selain bandar-bandar lain yang mempunyai jumlah populasi yang tinggi. Kawasan kajian diplotkan seperti dalam Rajah 2.

Misi TRMM adalah untuk memantau, mengkaji dan mengumpul serta mengukur hujan dan pertukaran haba pendam (tenaga) di kawasan tropika dan subtropika. Dataset TRMM terdiri daripada produk yang dihasilkan untuk mengkaji hujan di kawasan tropika. Produk kerpasan satelit ini meliputi pemerhatian terhadap kesinaran, suhu gelombang mikro, pemantulan radar, kadar hujan, profil hujan menegak, dan pemanasan konvensional. Data 3B42 merupakan kombinasi data TRMM Imej Gelombang Mikro (TRMM Microwave Imager precipitation) iaitu TMI; TRMM produk 2A12, yang dikalibrasi bersama data TRMM Kombinasi Kerpasan Instrument (TRMM Combined Instrument precipitation) iaitu TCI; TRMM produk 2B31 (Huffman et al. 2017). Kajian ini menggunakan data TRMM 3B42 bagi tempoh sebelas (11) tahun bermula Januari 2009 hingga Disember 2019. Data TRMM 3B42 dimuat turun melalui laman sesawang keluaran NASA iaitu <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> pada November 2019 hingga Februari 2020.

#### PERTUKARAN DATA HUJAN BERINTEGRASI 1 MINIT

Sampel data hujan dan kaedah pengiraan kadar hujan tahunan, dilaksanakan seperti berikut:

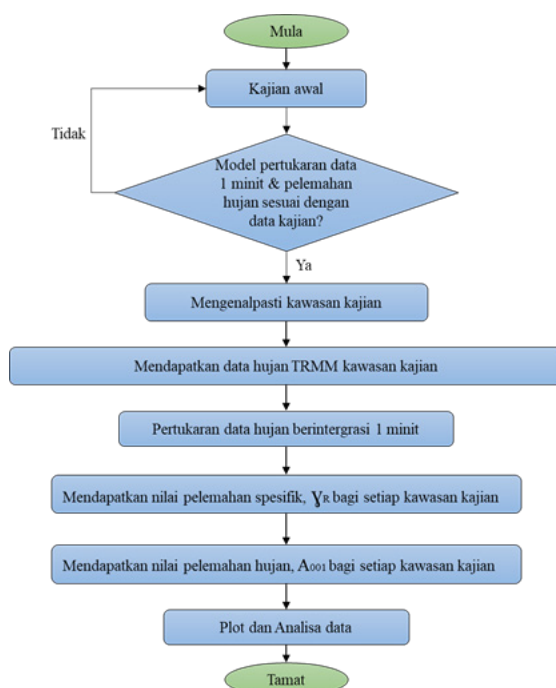
$$1\text{Tahun} = 365 \times \frac{24}{8} = 2920$$

$$\text{Kadar hujan setahun} = \frac{\text{Bilangan sampel}}{2920} \times 100\%$$

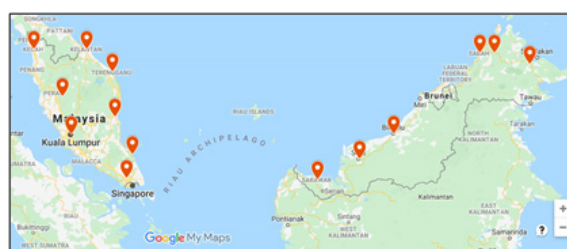
Bagi tempoh dari 2009 hingga 2019, terdapat 2 tahun lompat iaitu pada tahun 2012 dan 2016. Oleh yang demikian, jumlah sampel data pada tahun tersebut adalah 2928. Formula akhir pengiraan kadar hujan bagi tempoh 2009 hingga 2019 adalah seperti berikut:

$$\text{Kadar hujan keseluruhan} = \frac{\text{Bilangan sampel}}{32136} \times 100\%$$

Keputusan memproses data 3B42 diplotkan menggunakan perisian Microsoft Excel dalam bentuk graf kadar hujan melawan peratusan masa. Nilai kadar hujan pada peratusan 0.01, 0.1 dan 1.0 direkodkan sebagai input kepada model bertukaran 1 minit menggunakan Model



RAJAH 1. Carta aliran bagi keseluruhan proses kajian



RAJAH 2. 14 lokasi kajian di Malaysia

Segal. Formula pertukaran kadar hujan bagi model Segal adalah seperti berikut:

$$\rho_{\tau}(P) = R_{\tau}(P) / R_{\tau}(P)$$

dengan

$$\rho_{\tau}(P) = aP^b$$

di mana  $\rho_{\tau}(P)$  adalah faktor penukaran,  $R_{\tau}(P)$  adalah kadar hujan melebihi pada kebarangkalian berlakunya  $P$  untuk integrasi masa 1 minit,  $R_{\tau}(P)$  adalah kadar hujan sepadan pada  $\tau$  minit integrasi masa, manakala  $a$  dan  $b$  adalah pekali regresi yang diperolehi daripada data cerapan. Untuk kajian ini, nilai parameter  $a$  dan  $b$  adalah menggunakan nilai yang telah dikenalpasti melalui kajian (Chun et al. 2013) iaitu  $a = 1.539$  dan  $b = -0.0635$ , manakala nilai  $R_{\tau}(P)$  adalah bersamaan  $R180(P)$ .

Nilai pelemahan spesifik bagi setiap kawasan kajian diperolehi dengan menggunakan Model ITU.R P-838-3 (I.T.U 2005) dengan formula berikut:

$$Y_R = k(R_{0.01})^{\alpha}$$

Di mana  $k$  dan  $\alpha$  adalah pekali yang diperolehi berdasarkan frekuensi isyarat,  $f$  (GHz) dalam julat 1 hingga 1000GHz. Measat-5 menggunakan polarisasi menegak (vertical polarization) oleh itu, nilai pekali  $k = 0.09611$  dan  $\alpha = 0.9847$ .

#### PENGIRAAN PELEMAHAN HUJAN BAGI SETIAP KAWASAN KAJIAN

Pengukuran nilai pelemahan hujan melebihi peratusan masa tahunan 0.01% iaitu  $A_{0.01}$  diperolehi menggunakan Model ITU-R P.618-13 (I.T.U 2017) yang menggariskan langkah-langkah pengukuran nilai pelemahan menerusi formula:

$$A_{0.01} = \tilde{a}_R L_E \text{ (dB)} \quad (1)$$

Dimana  $Y_R$  adalah pelemahan spesifik dan  $L_E$  adalah panjang laluan efektif.

$$h_R = h_0 + 0.36 \text{ km} \quad (2)$$

$$L_s = \begin{cases} \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta}, & \theta \geq 5^\circ \\ \frac{2(h_R - h_s)}{\left[ \sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right]^{1/2} + \sin \theta}, & \theta < 5^\circ \end{cases} \quad (3)$$

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (4)$$

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \frac{\sqrt{L_G \gamma_R}}{f} - 0.38 (1 - e^{-2L_G})} \quad (5)$$

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[ 31 \left( 1 - e^{-\frac{\zeta}{1+\zeta}} \right) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right]} \quad (6)$$

$$L_R = \begin{cases} \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \zeta}, & \zeta > \theta \\ \frac{h_R - h_s}{\sin \zeta}, & \zeta \leq \theta \end{cases} \quad (7)$$

$$\zeta = \tan^{-1} \left( \frac{h_R - h_s}{L_G r_{0.01}} \right) \quad (8)$$

$$\chi = \begin{cases} 36 - |\varphi|, & |\varphi| < 36^\circ \\ 0, & |\varphi| \geq 36^\circ \end{cases} \quad (9)$$

$$L_E = L_R v_{0.01} \text{ km} \quad (10)$$

Di mana;

- $\theta$  Sudut dongok antena
- $\varphi$  Latitud lokasi kawasan kajian
- $A_{0.01}$  Nilai pelemahan hujan melebihi peratusan masa tahunan 0.01%
- $f$  Frekuensi operasi
- $h_0$  Nilai purata tahunan bagi ketinggian isoterma  $0^\circ\text{C}$
- $h_s$  Ketinggian stesen penerima Bumi daripada aras laut (km)
- $L_s$  Panjang laluan condong
- $L_G$  Unjuran mengufuk
- $L_E$  Panjang laluan efektif
- $R_e$  Jejari bumi iaitu 8500km
- $r_{0.01}$  Faktor pengurangan mengufuk, bagi 0.01 peratusan masa.
- $v_{0.01}$  Nilai faktor pelarasan menegak

Untuk ramalan pelemahan hujan bagi peratusan yang berbeza dalam julat 0.001% hingga 5% diperolehi berdasarkan ramalan pelemahan melebihi 0.01% daripada purata masa tahunan menerusi formula.

$$A_p = A_{0.01} \left( \frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)} \quad (11)$$

$$\beta = \begin{cases} 0, & \text{jika } p \geq 1\% \text{ atau } |\varphi| \geq 36^\circ \\ -0.005(|\varphi| - 36), & \text{jika } p < 1\% \text{ dan } |\varphi| < 36^\circ \text{ dan } \theta \geq 25^\circ \\ -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta, & \text{selainnya, (12)} \end{cases}$$

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

### TABURAN HUJAN DI MALAYSIA

Corak taburan hujan tahunan di Malaysia bagi tahun 2019 hingga tahun 2009 yang diperoleh menerusi data TRMM melalui laman sesawang Giovanni adalah seperti dalam Rajah 3. Berdasarkan kepada corak taburan hujan, taburan hujan di Malaysia menunjukkan sebahagian besar negeri-negeri di Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur mengalami keadaan cuaca lembap dan kering dan juga taburan hujan tahunan yang tidak sekata. Perkara ini terjadi kerana kadar hujan bergantung kepada beberapa faktor seperti tiupan angin, litupan awan, bentuk muka bumi dan juga perubahan iklim global (Ibrahim et al. 2016). Malaysia mengalami dua musim monsun iaitu Monsun Barat Daya (MBD) yang bermula pada bulan Jun hingga September dan Monsun Timur Laut (MTL), di samping dua musim peralihan antara monsun iaitu pada bulan Oktober dan bulan April hingga Mei (Satari et al. 2015).

Malaysia menerima jumlah hujan tahunan yang lebih tinggi semasa MTL yang berlaku pada bulan November hingga Mac (Wan Maisarah et al. 2019).

Rajah 4 menunjukkan purata hujan tahunan bagi setiap lokasi kajian. Berdasarkan taburan hujan tahunan dari tahun 2009 hingga 2019 yang diperolehi dari data hujan TRMM 3B42 bagi setiap lokasi kajian, kawasan kajian di Sarawak iaitu Kuching, Sibu dan Bintulu menunjukkan purata hujan tertinggi dengan masing-masing berjumlah 4641.34mm, 3750.81mm dan 3325.25mm. Manakala purata hujan terendah adalah di Mersing, Johor dengan jumlah 1992.98mm, dan kedua terendah berjumlah 2063.42mm di Kota Kinabalu, Sabah.

Jumlah taburan hujan di Malaysia turut dipengaruhi oleh fenomena El-Nino dan La-Nina. Rajah 5 menunjukkan rekod data dari National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) yang diekstrak bermula dari tahun 2009 bagi indeks Oceanic Niño Index (ONI). Rajah 6 menunjukkan perbandingan taburan hujan tahunan bagi kawasan kajian di Malaysia mengikut wilayah bagi tempoh 2009 hingga 2019. Di Pantai Barat Semenanjung Malaysia, pada tahun 2015 dan 2016 menunjukkan jumlah hujan yang terendah. Perkara ini terjadi berikutan fenomena El-Nino pada keamatan kuat berdasarkan ONI yang melanda Malaysia (Ng et al. 2018).

Seperti di Pantai Barat, kawasan Pantai Timur turut menerima kesan fenomena El-Nino pada tahun 2015 dan 2016. Purata hujan tahunan di kawasan Pantai Timur adalah berjumlah 2707.47mm manakala purata hujan tahunan di kawasan Pantai Barat adalah lebih rendah dengan nilai 2521.92mm.

Kawasan kajian di Sarawak menunjukkan jumlah purata hujan tahunan berjumlah 3905.80mm, merupakan yang tertinggi berbanding kawasan-kawasan kajian lain. Kuching menerima jumlah hujan tertinggi di Malaysia dengan purata 4641.34mm bagi tahun 2009 hingga 2019. Jumlah hujan tahunan di Sarawak turut berkurang sekitar tahun 2015-2016 berikutan fenomena El-Nino kuat yang melanda Asia. Kadar purata jumlah hujan tahunan di Sabah adalah berjumlah 2605.17mm. Seperti kawasan kajian di Semenanjung Malaysia, Sabah turut menerima kesan dari fenomena El-Nino dengan pengurangan jumlah hujan sekitar tahun 2015 dan 2016.

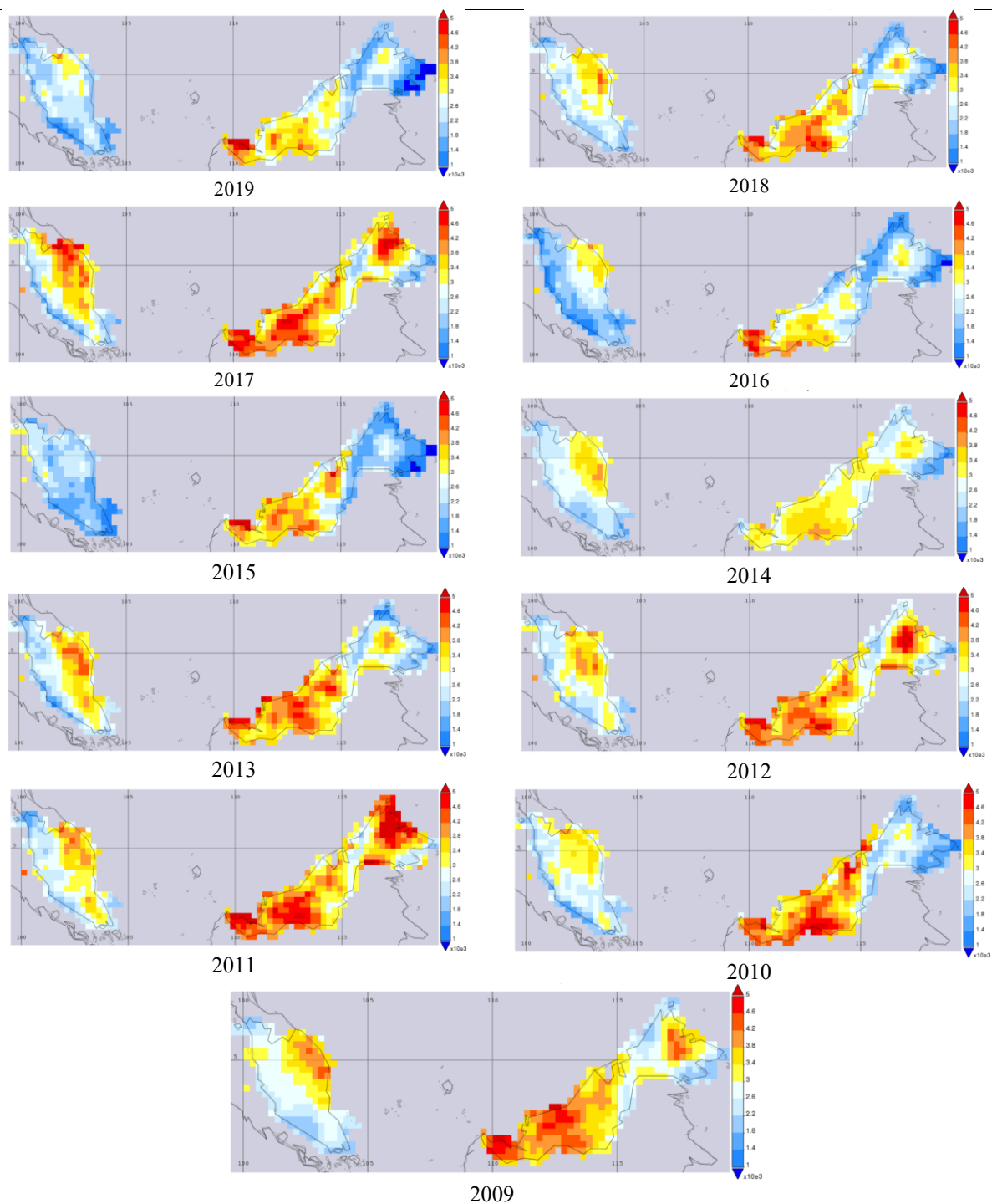
### KEPUTUSAN ANALISA CORAK TABURAN HUJAN 1-MINIT DI MALAYSIA

Data hujan TRMM 3B42 dari tahun 2009 hingga 2019 telah dianalisis bagi mendapatkan taburan hujan 1 minit menggunakan Model Segal. Rajah 7 menunjukkan perbandingan taburan kadar hujan 1-minit bagi setiap kawasan kajian. Secara keseluruhannya, didapati bahawa, kadar taburan hujan 1-minit adalah rendah di kawasan tanah tinggi iaitu di Cameron Highland, Pahang dan Kundasang, Sabah walaupun kawasan tersebut menerima menerima purata hujan tahunan melebihi 2500 mm.

Selain itu, Kota Kinabalu turut memberikan nilai terendah berikutan penerimaan hujan yang rendah dengan purata hujan tahunan 2063.42mm. Manakala, kawasan Kuching, Sarawak menunjukkan kadar hujan 1-minit tertinggi di Malaysia di ikuti dengan Kota Bahru, Kelantan. Jadual 1 menunjukkan nilai kadar hujan pada 0.01, 0.1 dan 1 peratusan masa bagi setiap kawasan kajian. Kajian (Al-Saman et al. 2020) mendapati, Malaysia merupakan negara tropika yang mempunyai kadar hujan pada 0.01 peratusan masa tertinggi jika dibandingkan dengan kajian yang dilaporkan di seluruh dunia. Hasil dapatan kajian iaitu nilai  $R_{0.01}$  digunakan bagi mendapatkan nilai pelemahan spesifik,  $\gamma_R$ . Jadual 2 menunjukkan keputusan mengira nilai  $\gamma_R$  bagi setiap kawasan kajian yang akan digunakan dalam analisa pengiraan pelemahan hujan.

### ANALISA DAN KEPUTUSAN NILAI PELEMAHAN HUJAN

Maklumat geografi bagi setiap kawasan kajian dan sudut dongak bagi antenna penerima untuk isyarat muat turun satelit Measat-5 merupakan parameter yang diperlukan dalam pengiraan pelemahan hujan adalah seperti dalam Jadual 3. Hasil pengiraan nilai pelemahan hujan bagi peratusan masa yang berbeza iaitu pada  $A_1$ ,  $A_{0.1}$ ,  $A_{0.01}$  dan  $A_{0.001}$  turut dirumuskan dalam Jadual 3.

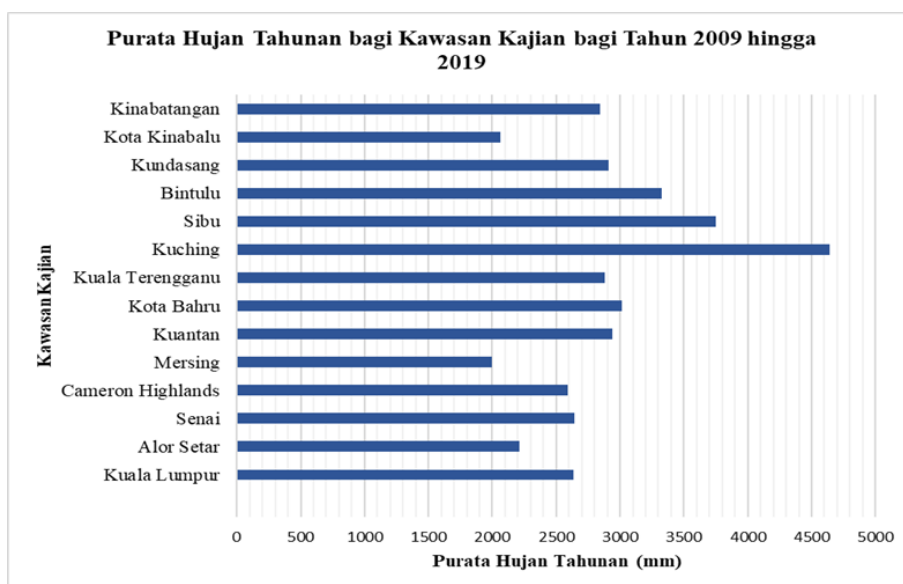


RAJAH 3. Taburan hujan bagi tahun 2019 hingga 2009

Rajah 8 menunjukkan perbandingan nilai pelemahan hujan dengan peratusan masa yang berbeza bagi kawasan kajian di Pantai Barat dan tanah tinggi Semenanjung Malaysia. Nilai pelemahan hujan bagi Kuala Lumpur, Alor Setar dan Senai menunjukkan nilai yang hampir sama bagi setiap peratusan masa. Namun, kawasan tanah tinggi iaitu Cameron Highland, Pahang menunjukkan nilai pelemahan hujan yang lebih rendah walaupun nilai purata hujan tahunan di kawasan ini berjumlah 2592.32mm, iaitu lebih tinggi berbanding Alor Setar dengan jumlah 2215.52mm.

Kajian (Mustapha et al. 2014) menyatakan bahawa, semakin panjang laluan condong,  $L_s$  dari satelit ke bumi, maka semakin tinggi nilai ramalan pelemahan hujan. Bagi kawasan kajian Cameron Highland yang terletak di kawasan tanah tinggi dengan altitud 1.4322km, nilai pelemahan spesifik yang rendah dan panjang laluan condong,  $L_s$  yang pendek adalah faktor utama yang menyumbang kepada nilai rendah terhadap ramalan pelemahan hujan.

Kajian (Ahmed et al. 2018) menyatakan, peningkatan pada sudut dongakan antenna penerima akan mengakibatkan



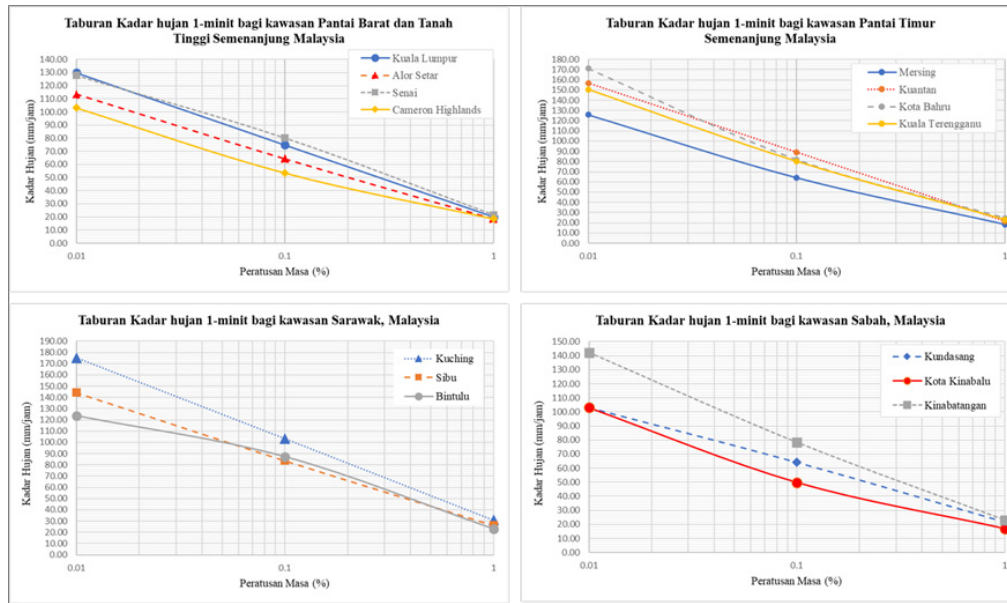
RAJAH 4. Purata hujan tahunan bagi setiap lokasi kajian bagi tahun 2009 hingga 2019

2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5										

RAJAH 5. Indeks ONI bagi El-Nino dan La-Nina dari NOAA



RAJAH 6. Taburan hujan tahunan bagi kawasan kajian di Malaysia bagi tahun 2009 hingga 2019 mengikut wilayah



RAJAH 7. Taburan kadar hujan 1-minit bagi kawasan kajian di Malaysia mengikut wilayah

JADUAL 1. Nilai kadar hujan pada peratusan masa 0.01, 0.1 dan 1 bagi kawasan kajian

Kawasan	Latitud (°N)	Longitud (°E)	Purata Hujan Tahunan (mm)	Kadar hujan pada peratusan, $R_o$ (mm/jam)		
				$R_{0.01}$	$R_{0.1}$	$R_1$
Kuala Lumpur	3.14344	101.68851	2636.85	129.89	74.81	20.01
Alor Setar	6.1263	100.36716	2215.52	113.40	64.13	18.47
Senai	1.60203	103.64437	2643.01	127.83	80.16	21.55
Cameron Highlands	4.47212	101.38014	2592.32	103.09	53.44	18.47
Mersing	2.43091	103.83611	1992.98	127.83	64.13	18.47
Kuantan	3.76338	103.22018	2940.04	156.69	89.07	21.55
Kota Bahru	6.1253	102.23761	3013.33	171.13	81.94	24.62
Kuala Terengganu	5.32962	103.13701	2883.52	150.51	80.16	23.09
Kuching	1.5535	110.35929	4641.34	175.25	103.32	30.78
Sibü	2.28728	111.83053	3750.81	144.32	83.72	26.16
Bintulu	3.17132	113.0419	3325.25	123.71	87.28	23.09
Kundasang	5.98603	116.5783	2906.71	103.09	64.13	21.55
Kota Kinabalu	5.9804	116.07345	2063.42	103.09	49.88	16.93
Kinabatangan	5.5865	117.85008	2845.39	142.26	78.38	23.09

pengurangan nilai pelemahan hujan. Di samping itu, kajian dari (Ting et al. 2013) merumuskan bahawa, bagi sudut dongak kawasan kajian yang melebihi 50°, penurunan dalam sudut dongakan antenna penerima akan mengakibatkan peningkatan dalam pelemahan hujan. Ini bermakna, semakin kecil nilai sudut dongak, maka semakin besar nilai pelemahan hujan.

Walaupun nilai sudut dongak di Cameron Highland adalah lebih kecil iaitu 68.1299° berbanding nilai di Senai iaitu 71.2892°, namun kesan sudut dongak ini adalah minimal kerana pengaruh nilai  $L_s$  diperhatikan adalah lebih dominan.

Perbandingan nilai pelemahan hujan dengan peratusan masa yang berbeza bagi kawasan kajian di Pantai Timur

Semenanjung Malaysia adalah seperti pada Rajah 9. Mersing menunjukkan corak pelemahan hujan yang rendah berbanding Kota Bahru, Kuala Terengganu dan Kuantan. Hasil analisis ini adalah sejajar dengan nilai pelemahan spesifik yang terendah diterima bagi kawasan kajian Mersing iaitu 11.23dB/km. Di samping itu, Mersing mempunyai nilai sudut dongak tertinggi berbanding kawasan-kawasan kajian di pantai timur iaitu 71.3914° dan perkara ini merupakan antara faktor yang menyumbang kepada nilai pelemahan hujan yang rendah.

Bagi kawasan kajian di Sarawak, Rajah 10 menunjukkan perbandingan nilai pelemahan hujan dengan peratusan masa yang berbeza bagi setiap kawasan kajian di negeri Sarawak, Malaysia. Kuching menunjukkan nilai pelemahan



JADUAL 2. Nilai pelemahan spesifik,  $\gamma_R$ , bagi setiap kawasan kajian

Kawasan	Pelemahan Spesifik, $\gamma_R$ (dB/km)
Kuala Lumpur	11.59
Alor Setar	10.14
Senai	11.41
Cameron Highlands	9.23
Mersing	11.23
Kuantan	13.94
Kota Bahru	15.20
Kuala Terengganu	13.40
Kuching	15.56
Sibu	12.85
Bintulu	11.04
Kundasang	9.23
Kota Kinabalu	9.23
Kinabatangan	12.67

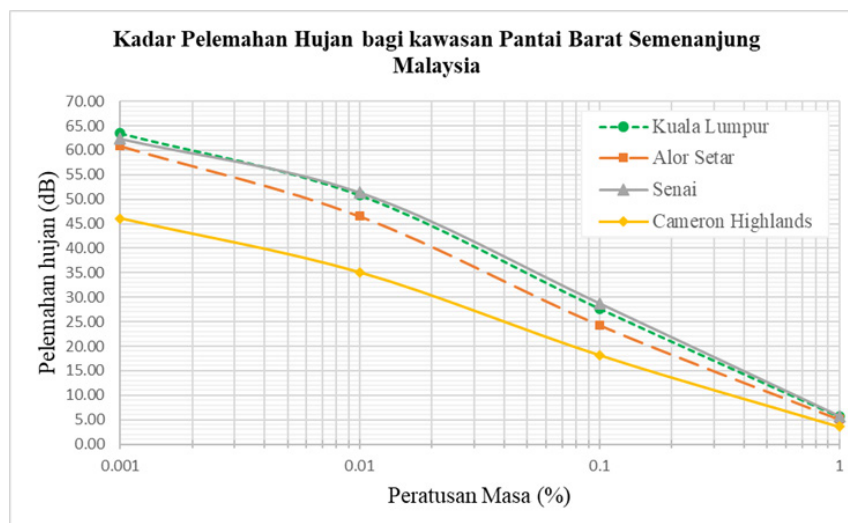
JADUAL 3. Maklumat geografi dan nilai pelemahan hujan bagi peratusan masa 1, 0.1, 0.01 dan 0.001 bagi setiap kawasan kajian

Bil	Kawasan	Sudut dongak (°)	Azimut (°)	Altitud (km)	Pelemahan Hujan (dB)			
					$A_1$	$A_{0.1}$	$A_{0.01}$	$A_{0.001}$
1	Kuala Lumpur	68.7905	99.6856	0.0603	5.62	27.69	50.83	63.49
2	Alor Setar	66.4923	107.0989	0.0098	5.05	24.29	46.54	60.90
3	Senai	71.2892	95.6217	0.0173	5.69	28.70	51.34	62.33
4	Cameron Highlands	68.1299	103.4026	1.4322	3.59	18.19	35.09	46.11
5	Mersing	71.3914	98.6014	0.0151	5.61	28.07	50.76	62.36
6	Kuantan	70.3986	102.6668	0.0128	6.52	31.84	57.50	70.65
7	Kota Bahru	68.5486	108.9513	0.0137	6.81	32.07	59.64	75.70
8	Kuala Terengganu	69.8288	107.5548	0.0164	6.28	30.13	55.73	70.29
9	Kuching	79.0919	99.5638	0.0078	7.56	37.72	65.02	75.96
10	Sibu	80.5829	106.5082	0.0095	6.61	33.04	58.12	69.34
11	Bintulu	81.5344	116.0461	0.0089	5.89	29.47	52.85	64.34
12	Kundasang	82.1612	153.9228	1.2476	3.84	19.53	37.07	47.87
13	Kota Kinabalu	81.8899	150.1144	0.0137	5.08	25.21	46.72	58.92
14	Kinabatangan	83.1426	163.5169	0.0405	6.55	31.87	57.74	71.16

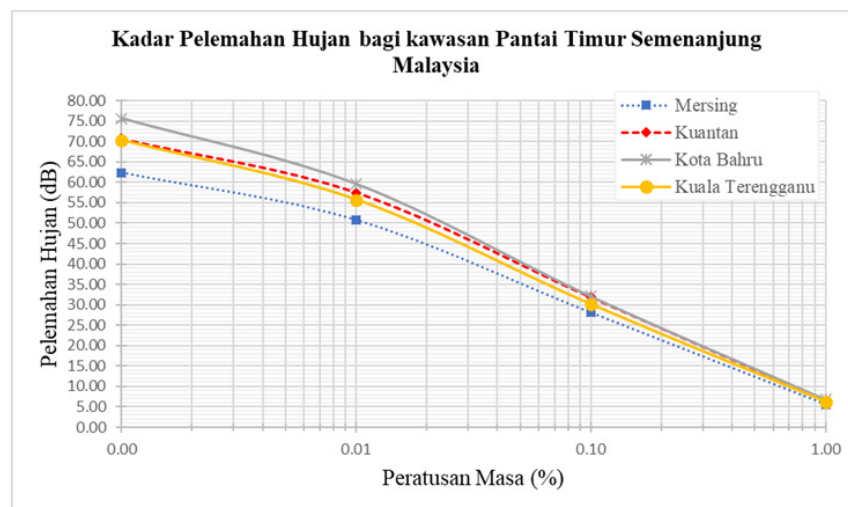
hujan tertinggi selaras dengan nilai pelemahan spesifik yang tinggi iaitu 15.56dB/km. Manakala Sibu dan Bintulu menunjukkan kadar pelemahan hujan yang lebih rendah dengan nilai pelemahan spesifik masing-masing 12.85dB/km dan 11.04db/km. Nilai pelemahan spesifik yang tinggi di kawasan Sarawak adalah sejajar dengan penerimaan hujan yang tinggi di kawasan kajian ini dengan purata hujan tahunan 4641.34mm bagi Kuching. Manakala Sibu dan Bintulu purata hujan tahunan masing-masing berjumlah 3750.81mm dan 3325.25mm.

Rajah 11 menunjukkan perbandingan nilai pelemahan hujan dengan peratusan masa yang berbeza bagi kawasan kajian di negeri Sabah, Malaysia. Kundasang menunjukkan corak pelemahan hujan yang terendah walaupun menerima

hujan tertinggi di Sabah dengan nilai purata hujan tahunan 2906.71mm berbanding Kinabatangan dan Kota Kinabalu dengan purata hujan tahunan masing-masing 2845.39mm dan 2063.42mm. Namun, nilai pelemahan hujan yang rendah di Kundasang adalah dipengaruhi oleh faktor nilai pelemahan spesifik yang rendah iaitu 9.23dB/km, di samping nilai altitud yang tinggi iaitu 1.2476km yang telah memberikan nilai yang kecil terhadap panjang laluan condong,  $L_s$ . Melalui kajian ini juga, didapati kawasan Kota Kinabalu turut menunjukkan nilai pelemahan spesifik yang sama dengan kawasan kajian Kundasang iaitu 9.23dB/km. Namun nilai pelemahan hujan di Kota Kinabalu adalah lebih tinggi berbanding Kundasang kerana panjang laluan condong,  $L_s$  yang lebih panjang berikutan altitud di kawasan



RAJAH 8. Pelemahan hujan bagi kawasan Pantai Barat dan Tanah Tinggi Semenanjung Malaysia



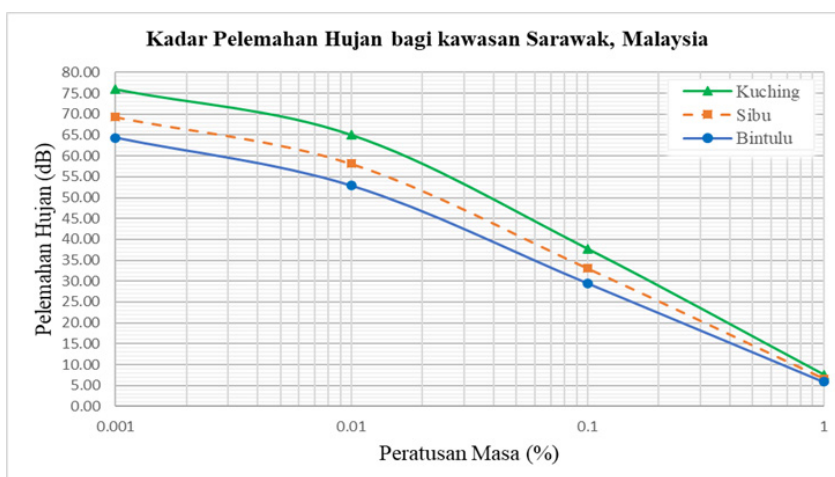
RAJAH 9. Pelemahan hujan bagi kawasan Pantai Timur Semenanjung Malaysia

Kota Kinabalu adalah rendah dengan nilai 0.0137km. Kinabatangan Sabah menunjukkan nilai pelemahan hujan tertinggi sejajar dengan nilai pelemahan spesifik yang tinggi iaitu 12.67dB/km.

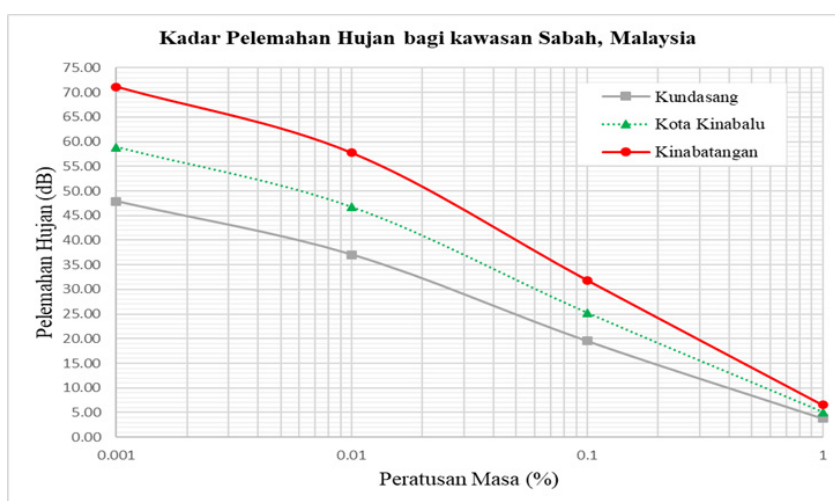
Pemerhatian terhadap perbandingan nilai pelemahan hujan di Semenanjung Malaysia dan Malaysia Timur mendapati, secara keseluruhannya, nilai pelemahan hujan adalah sedikit lebih tinggi di kawasan kajian di Malaysia Timur. Keputusan kajian turut menunjukkan bahawa, nilai pelemahan hujan di Pantai Barat adalah lebih kecil berbanding Pantai Timur Semenanjung Malaysia. Malahan, nilai pelemahan hujan di Pantai Timur menghampiri nilai pelemahan hujan di Sabah dan Sarawak.

Perkara utama yang mempengaruhi keputusan hasil kajian ini adalah jumlah hujan yang diterima bagi setiap kawasan kajian. Di samping itu, faktor lain yang menyumbang kepada dapatan hasil kajian adalah altitud kawasan kajian dan juga sudut dongak antena penerima isyarat.

Melalui kajian ini, didapati bahawa sudut dongak antena penerima adalah lebih kecil bagi kawasan semenanjung Malaysia. Secara teorinya, kawasan kajian dengan sudut dongak yang rendah akan mempunyai laluan condong efektif yang panjang dan meningkatkan nilai pelemahan hujan. Perkara ini terhasil melalui pelbagai interaksi gelombang mikro yang wujud di atmosfera pada isyarat laluan menurun satelit-Bumi. Sekiranya jumlah hujan di setiap kawasan kajian adalah sama, kesan sudut dongak terhadap pelemahan hujan dijangka dapat diperhatikan. Kawasan Pantai Barat Semenanjung Malaysia mempunyai sudut dongak yang terkecil berbanding kawasan kajian lain. Namun kesan pelemahan hujan adalah lebih rendah kerana menerima jumlah hujan yang lebih sedikit berbanding kawasan kajian lain. Kawasan Pantai Timur Semenanjung Malaysia mempunyai nilai sudut dongak yang hampir sama dengan kawasan Pantai Barat, namun jumlah hujan yang diterima adalah lebih tinggi, oleh itu memberikan kesan pelemahan hujan yang lebih besar. Nilai pelemahan di kawasan Pantai Timur dan Malaysia



RAJAH 10. Pelemahan hujan bagi kawasan Sarawak, Malaysia



RAJAH 11. Pelemahan hujan bagi Sabah Sarawak, Malaysia

JADUAL 4. Nilai pelemahan hujan maksimum dan minimum bagi peratusan masa 1, 0.1, 0.01 dan 0.001 mengikut wilayah/topologi

Wilayah/Topologi	Pelemahan Hujan (dB)							
	A1		A0.1		A0.01		A0.001	
	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak	Min
Pantai Barat Semenanjung	5.69	5.05	28.70	24.29	51.34	46.54	63.49	60.90
Tanah Tinggi	3.84	3.59	19.53	18.19	37.07	35.09	47.87	46.11
Pantai Timur Semenanjung	6.81	5.61	32.07	28.07	59.64	50.76	75.70	62.36
Malaysia Timur	7.56	5.08	37.72	25.21	65.02	46.72	75.96	58.92

Timur tidak menunjukkan perbezaan yang ketara, kecuali bagi kawasan Kuching. Ini dipengaruhi oleh sudut dongak antenna penerima di kawasan Malaysia Timur adalah lebih besar jika dibandingkan dengan Semenanjung Malaysia, oleh yang demikian, kesan pelemahan hujan adalah dapat dikurangkan walaupun menerima hujan yang lebih banyak.

Hasil keseluruhan kajian turut mendapati bahawa kawasan kajian pada kedudukan tanah tinggi iaitu di

Cameron Highland, Pahang dan Kundasang, Sabah menunjukkan nilai pelemahan hujan yang rendah walaupun menerima hujan yang tinggi. Menerusi dapatan hasil kajian, diperhatikan bahawa ketinggian stesen penerima isyarat satelit dari aras laut akan menyumbang kepada panjang laluan condong,  $L_s$ . Semakin tinggi kedudukan stesen, semakin pendek arak  $L_s$ , oleh yang demikian, nilai pelemahan hujan akan berkurangan.

JADUAL 5. Jadual tahap kebolehsediaan isyarat bagi setiap kawasan kajian

Kawasan	Kebolehsediaan Isyarat
Kuala Lumpur	99.90%
Alor Setar	99.90%
Senai	99.90%
Cameron Highlands	99.90%
Mersing	99.90%
Kuantan	99.00%
Kota Bahru	99.00%
Kuala Terengganu	99.00%
Kuching	99.00%
Sibu	99.00%
Bintulu	99.90%
Kundasang	99.90%
Kota Kinabalu	99.90%
Kinabatangan	99.00%

#### RAMALAN PELEMAHAN HUJAN DAN KETERSEDIAAN ISYARAT KOMUNIKASI JALUR Ka

Kebolehsediaan (availability) isyarat komunikasi adalah sangat bergantung kepada kebolehpercayaan sistem untuk beroperasi dalam apa jua keadaan. Nilai maksimum pelemahan berjumlah 30dB adalah dibenarkan dalam merekabentuk sistem komunikasi dari antena pemancar ke penerima. Peratus kebolehsediaan adalah mewakili peratusan tahunan di mana isyarat komunikasi tersedia. Jadual 4 menunjukkan pelemahan hujan mengikut peratusan masa dengan pembahagian mengikut wilayah dan juga topologi meliputi setiap kawasan kajian.

Jadual 5 merupakan ringkasan bagi tahap kebolehsediaan isyarat laluan menurun jalur Ka bagi setiap kawasan kajian. Hasil dari kajian mendapati, kebolehsediaan isyarat pada 99.99% adalah tidak dapat direalisasikan kerana nilai pelemahan pada 0.01 peratusan masa adalah melebihi 30dB. Dari hasil analisa, lapan (8) kawasan kajian adalah boleh menerima 99.90% kebolehsediaan isyarat, manakala enam (6) kawasan kajian hanya boleh menerima 99.00% kebolehsediaan isyarat perkhidmatan.

#### KESIMPULAN

Corak kadar hujan seminit dengan menggunakan model Segal dan nilai parameter pelemahan spesifik,  $\gamma_R$  bagi setiap kawasan kajian telah diperoleh menggunakan data TRMM 3B42 bagi tahun 2009 hingga 2019. Analisa nilai ramalan pelemahan hujan menggunakan Model ITU-R P.618-13 menunjukkan, kawasan Kuching, Sarawak memperoleh nilai tertinggi manakala Cameron Highland, Pahang menunjukkan nilai terendah. Secara keseluruhannya, nilai pelemahan hujan adalah lebih tinggi di kawasan kajian di Malaysia Timur berbanding di Semenanjung Malaysia. Nilai pelemahan hujan di Pantai Barat Semenanjung Malaysia

adalah lebih kecil berbanding dengan Pantai Timur Semenanjung Malaysia. Di samping itu, turut diperhatikan bahawa, nilai pelemahan hujan di Pantai Timur menghampiri nilai pelemahan hujan di Sabah dan Sarawak. Kajian ini turut mengenalpasti perkara utama yang mempengaruhi nilai pelemahan hujan iaitu jumlah hujan yang diterima bagi setiap kawasan kajian, altitud kawasan kajian dan juga sudut dongak antena penerima isyarat. Pemerhatian hasil kajian mendapati nilai panjang laluan condong,  $L_s$  memberikan kesan yang lebih dominan terhadap pelemahan hujan berbanding sudut dongak antena penerima.

Kebolehsediaan isyarat pada 99.99% adalah tidak dapat disediakan untuk setiap kawasan kajian. Dengan jumlah empat belas (14) kawasan kajian, lapan (8) kawasan kajian adalah boleh menerima 99.90% kebolehsediaan isyarat, manakala selebihnya hanya boleh menerima 99.00% kebolehsediaan isyarat perkhidmatan bagi memenuhi keperluan ketidakbolehsediaan ITU.

#### PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada pihak NASA menerusi platform Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) dalam menyediakan akses kepada data TRMM.

#### PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

#### RUJUKAN

Ahmed, R. K. & Hamd, H. I. 2018. Elevation Angle Influence in Geostationary and Non-Geostationary Satellite System. 2018 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE). Anjuran IEEE. Kurdistan Region, Iraq.

- Al-Saman, A. M., Cheffena, M., Mohamed, M., Azmi, M. H. & Ai, Y. 2020. Statistical analysis of rain at millimeter waves in tropical area. *IEEE Access* 8(51044 - 51061).
- Chun, O. W. & Mandeep, J. S. 2013. Empirical methods for converting rainfall rate distribution from several higher integration times into a 1-minute integration time in Malaysia. *GEOFIZIKA* 30(143-154).
- Hasniza, H. 2013. Kajian Pelemahan perambatan isyarat komunikasi satelit oleh hujan pada jalur Ku dan Ka di Malaysia. Sarjana, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Huffman, G. & Bolvin, D. 2017. Readme Document for the Tropical Rainfall Measurement Mission (Trmm) Version 7. National Aeronautics and Space Administration Goddard Earth Science Data Information and Services Center (GES DISC).
- I.T.U. 2005. Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods. *Rec. ITU-R P.838-3*.
- I.T.U. 2017. Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Earth-Space Telecommunication Systems. *Recommendation ITU-R P.618-13*.
- I.T.U. 2017. Recommendation Itu-R P.837-7 (06/2017), Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling. ITU-R P.837-7. Geneva, International Telecommunication Union (ITU). *Rec. ITU-R P.837-7*.
- Ibrahim, S., Sahlan, N. S. & Singh, M. S. J. 2016. Kajian hubungan kait tekanan dan suhu terhadap taburan kerpasan di Malaysia ketika fenomena enso. *Jurnal Kejuruteraan* 28(53-64).
- Mahmud, M. R., Numata, S., Matsuyama, H., Hosaka, T. & Hashim, M. 2015. Assessment of effective seasonal downscaling of trmm precipitation data in Peninsular Malaysia. *Remote Sens.* 7(4092-4111).
- Maitra, A., De, A. & Adhikari, A. 2019. Rain and rain-induced degradations of satellite links over a tropical location. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 67(8): 5507-5518.
- Mustapha, A., Nazri, F. A. & Singh, M. J. 2014. kajian pelemahan hujan pada jalur Ku dan jalur Ka di Malaysia menggunakan data satelit Trmm. *Jurnal Kejuruteraan* 26(45-54).
- Nazri, F. A., Zamani, N. S. M. & Singh, M. J. 2018. Analisis ramalan pelemahan hujan Semenanjung Malaysia menggunakan petarekaan berkontur. *Jurnal Kejuruteraan* 30(77-82).
- Ng, C. K.-C., Goh, C.-H., Lin, J.-C. & Tan, M.-S. 2018. Water Quality Variation During a Strong El Niño Event in 2016: A Case Study in Kampar River, Malaysia. *Spinger Environ Monit Assess*
- Omosho, T. V., Akinwumi, S. A., Ometan, O. O., Adewusi, M. O., Mandeep, J. S. & Abdullah, M. 2017. Earth-space rain attenuation prediction: Its impact at Ku, Ka and V-band over some equatorial stations. *Journal of Informatics and Mathematical Sciences* 9(359-374).
- Satari, S. Z., Zubairi, Y. Z., Hussin, A. G. & Hassan, S. F. 2015. Some statistical characteristic of Malaysian wind direction recorded at maximum wind speed: 1999-2008. *Sains Malaysiana* 44(1521-1530).
- Segal, B. 1986. The Influence of raingage integration time on measured rainfall-intensity distribution functions. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 3(662-671).
- Selamat, S., Marzuki, A. S. M., Azlan, A. T. M., Naemat, A. & Khalil, K. 2014. 60-Min to 1-Min Rainfall Rate Conversion Using East Malaysia Data. IEEE Student Conference on Research and Development. Anjuran IEEE.
- Semire, F. A., Mohd-Mokhtar, R., Ismail, W., Mohamad, N. & Mandeep, J. S. 2015. Modeling of rain attenuation and site diversity predictions for tropical regions. *Annales Geophysicae* 33(321-331).
- Ting, T. S., Chun, O. W. & Mandeep, J. S. 2013. Analisis kesan frekuensi dan sudut dongakan terhadap pelemahan hujan di Malaysia. *Jurnal Kejuruteraan* 25(19-23).
- Wan Maisarah, W. I., Tangang, F. & Neng, L. J. 2019. *Ramalan Hujan Ekstrim*. Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia.