

## Penganalisaan Julat Hujan Bulanan Terburuk Di Malaysia Dari Tahun 2017 Hingga 2019

(Worst Month Rain Rate Analysis in Malaysia from 2017 to 2019)

Roshilah Ramli<sup>a,\*</sup> & Mandeep Jit Singh<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

<sup>b</sup>Pusat Sains Angkasa, Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

\*Corresponding author: roshilahramli@gmail.com

Received 17 September 2021, Received in revised form 1 April 2022

Accepted 3 May 2022, Available online 30 November 2022

### ABSTRAK

Kemerosotan isyarat gelombang mikro pada jalur frekuensi lebih daripada 10 GHz adalah disebabkan oleh faktor keamatan hujan yang tinggi di kawasan beriklim tropika dimana objektif kajian adalah menganalisa julat hujan di Malaysia. Justeru itu, ramalan pelemahan hujan ke atas perambatan isyarat elektromagnet menggunakan kadar hujan bersela masa 1 minit adalah penting. Kajian ini menggunakan data hujan bersela masa 60 minit yang dicerap di 10 stesen penceraap Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia di seluruh Malaysia dalam tempoh 3 tahun iaitu daripada 2017 sehingga 2019. Model Segal telah dipilih sebagai model penukaran data hujan berintegrasi 1 minit disebabkan ralat kebarangkalian yang kecil serta bersesuaian untuk kawasan tropika. Ramalan taburan hujan bulanan terburuk pula dilaksanakan dengan memilih model ITU-R P.841-5. Hasil daripada kajian ini mendapati bahawa kawasan Sarawak menunjukkan nilai kadar hujan paling tinggi berbanding kawasan Semenanjung Malaysia. Selain daripada itu, ramalan kadar hujan bulanan terburuk turut mendapati nilai pekali bulan yang paling buruk,  $Q_1$  (1.2) dan  $\beta$  (0.35) yang diusulkan oleh model International Union Telecommunication (ITU-R) adalah tidak bersesuaian untuk Malaysia yang terletak di kawasan tropika di mana menerusi kajian, nilai baru untuk parameter  $Q_1$  dan  $\beta$  telah diperolehi supaya anggaran yang lebih ( $Q_1 = 1.7$  dan  $\beta = 1.22$ ) baik untuk persamaan bulan terburuk dapat dihasilkan. Hasil kajian ini bukan sahaja sebagai persediaan menghadapi banjir malahan boleh dijadikan garis panduan dalam mereka bentuk sistem perhubungan satelit yang lebih efisien.

Kata kunci: integrasi masa; kadar hujan; hujan bulanan terburuk; faktor  $Q$

### ABSTRACT

The degradation of radio wave signals in the frequency band more than 10 GHz is due to the factor of high rainfall intensity in tropical climates. Therefore, the prediction of rainfall attenuation on the propagation of using 1 minute integration time of rainfall rate is important. This study uses 60 minute integration time of rain rate, observed at 10 station of the Department Irrigation and Drainage Malaysia through out Malaysia in a period of 3 years from 2017. The Segal's model was selected as the 1 minute integrated rainfall data conversion method due to the small probability error as well as the suitability for the tropics. The worst month rainfall distribution forecast was implemented by choosing the ITU-R model P.841-5. The result of this study has found that Sarawak showed the highest rain rate value compared to the Peninsular Malaysia. Apart from that, the worst month rain rate forecast also found the value of worst month coefficient,  $Q_1$  and  $\beta$  proposed by the International Union Telecommunication (ITU-R) model are not suitable for Malaysia where the new parameter value for  $Q_1$  and  $\beta$  were obtained so that better estimation for the worst month statistic could be published. The results of this study are not only in preparation for flooding but can also be used as a guideline in designing a more efficient satellite communications system.

Keywords: Integration time; rainfall rate distribution; worst month;  $Q$  factor

## PENGENALAN

Rekabentuk dan prestasi kecekapan sistem komunikasi ruang angkasa bergantung kepada kesan atmosfera bumi seperti pelemahan hujan, penyerapan gas, pelemahan awan, kilauan troposfera, dan sudut rendah yang menghilang pada penyebaran gelombang radio. Penyebaran gelombang elektromagnetik pada frekuensi yang melebihi 10 GHz dipengaruhi oleh pelemah hujan, yang menyebabkan gangguan pada isyarat yang dipancarkan di mana kerosakan penyebaran ini lebih kritikal di zon tropika dan khatulistiwa berbanding dengan zon sederhana. Malaysia adalah salah satu kawasan tropika lembap yang dicirikan oleh kadar hujan yang tinggi dengan ukuran hujan yang lebat terutamanya semasa musim tengkujuh yang boleh mengakibatkan hujan lebat dan banjir ekstrem. Faktor hujan lebat yang berlaku hampir sepanjang tahun ini menyebabkan gangguan terhadap isyarat data satelit semasa proses penyerapan dan penyelerakan gas atmosfera terhadap kandungan wap air di dalam udara atau lebih dikenali sebagai pelemah hujan (*rain attenuation*) (Ng et al. 2017).

Hujan merupakan kerpasan iaitu kandungan atau jumlah bentuk air yang jatuh dari atmosfera ke bumi di satu kawasan tertentu pada tempoh masa tertentu (Jalal 2015). Cuaca di Malaysia lazimnya mempunyai keseragaman suhu dan purata suhu tahunan adalah kira-kira 27°C di kawasan tanah pamah dan mengalami kelembapan serta indeks hujan yang tinggi disebabkan oleh faktor iklim yang dipengaruhi oleh corak tiupan angin monsun barat daya berlaku pada Mei sehingga September dan angin monsun timur laut yang sering berlaku pada November sehingga Mac. Perubahan corak tiupan angin ini mempengaruhi perubahan kadar hujan yang ketara dan mempunyai keamatan hujan berbeza dari segi masa dan ruang yang mewakili pembolehhawak ruang dan masa (Surati et al. 2014).

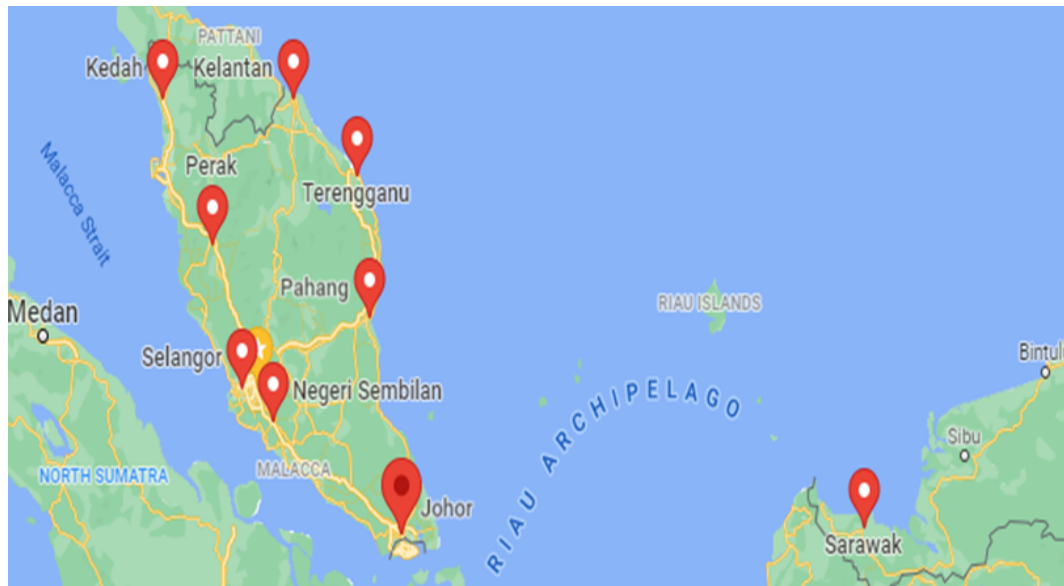
Tahap pelemahan hujan meningkat dengan drastik apabila berlakunya peningkatan dari segi kadar hujan,

frekuensi operasi, ketumpatan hujan dan kadar masa yang efektif sekaligus mengurangkan kebolehpercayaan dan ketersediaan terhadap prestasi pautan komunikasi radio dimana statistik kesan penyebaran bulan rujukan yang berkaitan dengan kriteria prestasi ini dinamakan sebagai statistik bulan terburuk. Masa integrasi, agihan taburan purata data kumulatif dan taburan bulan terburuk dimana julat bulan dimana hujan adalah paling lebat (nilai yang besar) teruk dalam jangkamasa 12 bulan. Jangkamasa yang paling lama adalah antara faktor penting yang diambil kira untuk statistik kadar hujan dalam menentukan model pelemahan hujan kerana mungkin terdapat kes di mana kemerosotan berlaku oleh satu bulan dalam setahun kerana perubahan corak cuaca tempatan. Hujan bulanan terburuk ditakrifkan sebagai kadar hujan tertinggi, pelemah hujan, atau parameter pengukuran lain untuk peratusan waktu tertentu berdasarkan data bulanan yang menyumbang kepada perancangan pautan komunikasi yang tepat dan boleh dipercayai.

Justeru itu, di dalam kajian ini prestasi ramalan kadar hujan dengan mengkaji kesan kadar hujan tahunan dan bulanan terburuk terhadap hubungan komunikasi pada tahap frekuensi melebihi 10 GHz dijalankan dengan menggunakan data hujan dalam sela masa 60 minit. Data daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia digunakan untuk tempoh tiga (3) tahun bermula pada tahun Januari 2017 sehingga Disember 2019 di sepuluh (10) buah lokasi stesen pencerap hujan seperti di dalam Jadual 1 dan Rajah 1. Kadar hujan ini digunakan untuk mendapatkan hubungan statistik bulanan terburuk dengan taburan kadar hujan tahunan. Statistik ramalan pengagihan purata kumulatif kadar hujan bulanan terburuk dan hubungannya dengan purata kadar hujan tahunan dibandingkan nilai daripada model ITU-R P.581-2 dan didapati nilai  $Q1 = 1.7$  dan  $\beta = 1.22$  yang diperolehi menunjukkan bahawa nilai global yang dicadangkan oleh ITU-R adalah tidak sesuai untuk Malaysia yang terletak di kawasan beriklim tropika.

JADUAL 1. Parameter lokasi kajian Stesen Pencerapan Hujan JPS

Lokasi	No Stesen	Latitud (°N)	Longitud (°E)
Kedah	6297401	05° 48' 50'	100° 43' 45'
Pulau Pinang	5303053	05° 21' 45'	100° 27' 35'
Perak	4511111	04° 27' 40'	100° 54' 05'
Selangor	2914122	02° 57' 23'	101° 26' 03'
Pahang	3833002	03° 10' 05'	102° 58' 35'
Kelantan	6122064	05° 00' 00'	101° 34' 45'
Terengganu	5331048	05° 21' 20'	102° 53' 10'
Johor	1334108	01° 45' 50'	103° 43' 10'
Melaka	2322412	02° 12' 00'	102° 18' 00'
Sarawak	1403001	02° 21' 13'	112° 08' 00'



RAJAH 1. Peta lokasi 10 Stesen Pencerap Hujan yang dipilih

#### MODEL PENUKARAN KADAR HUJAN

Bahagian ini membincangkan tentang kajian kepustakaan model-model penukaran kadar hujan dari sela masa 60 minit kepada 1 minit yang bersesuaian untuk kawasan tropika amnya. Data kadar hujan bersela masa 1 minit digunakan kerana data hujan yang dicerap dengan sela masa yang lebih pendek memberi kesan terhadap perubahan pantas bagi keadaan taburan tokokan kadar hujan yang lebat dalam sela masa. Banyak kajian-kajian lepas telah dijalankan di kawasan tropika untuk mengenalpasti model penukaran kadar hujan yang terbaik untuk sela masa yang lebih panjang kepada kadar hujan sela masa 1 minit. Di antaranya adalah kajian Mandeep dan Hassan, 2008 yang membandingkan kadar hujan model penukaran dengan data cerapan di kawasan asia tenggara menggunakan model Segal, Burgueno, Chebil dan Rahman serta Moupfouma dan Martin. Daripada kajian tersebut didapati model Segal memberikan keputusan yang terbaik (Mandeep & Hassan 2008).

#### MODEL SEGAL

Model Segal dibina berdasarkan konsep taburan kumulatif kadar hujan untuk sela masa yang berbeza di 47 lokasi (Segal, 1986) di seluruh Kanada pada tahun 1986. Ia dibangunkan oleh Pusat Penyelidikan Komunikasi Kanada (Communications Research Centre) berdasarkan pangkalan data rekod hujan yang mempunyai resolusi tinggi 10 tahun (Segal, 1986) di mana tempoh masa ini juga diambil untuk mempelajari corak hujan yang sekata di kawasan yang mempunyai pelbagai iklim dan bentuk muka bumi.

Pangkalan data yang diperolehi dicatatkan dengan menggunakan kaedah tolok hujan yang boleh mengumpul sebanyak 0.25 mm hujan untuk kesemua kadar hujan melebihi 15 mm/jam (*Meteorology Department Malaysia*, 2017). Rajah 3 dalam makalah Segal 1986 menunjukkan

peta Negara Kanada untuk 7 zon iklim hujan yang ditentukan oleh Consultative Committee on International Radio (CCIR) bertujuan untuk mengkaji isyarat perambatan radio yang dicadangkan oleh Segal. Penentuan zon-zon ini adalah berdasarkan perbezaan magnitud dan corak taburan kadar hujan. Hukum kuasa digunakan sebagai faktor penukaran model adalah seperti berikut:

$$R_1(P) = \rho_\tau(P)R_\tau(P) \quad (1)$$

$$\rho_\tau(P) = aP^b \quad (2)$$

Di mana  $R_1(P)$  mewakili masa integrasi kadar hujan 1-minit dan  $R_\tau(P)$  dan kadar hujan di  $\tau$ -integrasi dengan kemungkinan kejadian yang sama  $P$ . Manakala,  $a$  dan  $b$  adalah pekali regresi yang diperolehi berdasarkan regresi pengagihan hujan.

Model ini telah digunapakai secara meluas dan kajian (Chun et al. 2013) telah menyediakan nilai pekali regresi untuk kawasan di Malaysia. Sehubungan dengan itu, 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  $R_{180}(P)$ . Formula akhir bagi pertukaran data ke 1 minit menggunakan model Segal bagi kajian ini untuk memplotkan graf kadar hujan 1 min,  $R_1(P)$  melawan peratusan masa adalah seperti berikut:

$$R_1(P) = 1.539P^{-0.0635} R_{180}(P) \quad (3)$$

#### MODEL BURGUENO

Model Burgueno (1988) dibangunkan pada tahun 1988 dengan menggunakan kaedah empirik di mana prinsip kuasa undang-undang langsung diperkenalkan. Model ini menggunakan data hujan seketika jangka pendek selama

49 tahun yang direkodkan di Barcelona, Sepanyol (CCIR-zon-L) dengan menggunakan alat pengukur hujan Jardí yang mampu merekodkan carta hujan secara berterusan sehingga 10s (kuasi-merta). Namun demikian, disebabkan hujan yang telah menjejaskan komunikasi gelombang mikro, di mana ia tidak dapat berfungsi dengan kadar hujan kuasi-merta maka ramalan perubahan pelemahan hujan tidak dapat dilakukan dengan optimum. Persamaan model Burgueño mengaplikasikan prinsip suaian hukum kuasa seperti di bawah:

$$R_1(P) = aR_\tau^b(P) \tag{4}$$

Di mana  $R_1$  dan  $R_\tau$  adalah hujan dengan kadar masa 1-minit dan  $\tau$ -integrasi dengan kebarangkalian masa yang sama masing-masing manakala,  $a$  dan  $b$  ialah nilai pekali penukaran yang diperoleh daripada analisa regresi.

MODEL CHEBIL DAN RAHMAN

Model Chebil dan Rahman 1999 adalah model yang dibangunkan untuk meramal kadar hujan menggunakan proses penukaran bagi sela masa integrasi 60 kepada 1 minit untuk memenuhi iklim Malaysia daripada tahun 1991 sehingga 1998. Data hujan pada sela masa 60 minit diperolehi daripada Jabatan Meteorologi Malaysia untuk 82 stesen dalam tempoh masa 12 tahun di Semenanjung Malaysia (Chebil dan Rahman, 1999). Model ini dibangunkan dengan mengambilkira sisihan harian bagi gangguan perolakan kejadian hujan manakala stratiform kejadian hujan yang mengakibatkan hujan lebat diabaikan. Berdasarkan kepada pengubahsuaian faktor penukaran Segal termasuk parameter tambahan iaitu eksponen yang dikenali sebagai Undang-Undang Eksponen Kuasa, Persamaan model Chebil dan Rahman adalah seperti berikut:

$$\rho_{60}(P) = R_1(P)/R_{60}(P) \tag{5}$$

Manakala, diberikan di dalam *Power-Exponential Law* berikut:

$$\rho_{60}(P) = P^b + ce^{(dP)} \tag{6}$$

di mana  $R_1$  dan  $R_{60}$  adalah kadar hujan dengan masa integrasi 1 minit dan masa integrasi selama 60 minit manakala  $a$ ,  $b$ ,  $c$  dan  $d$  merupakan parameter pekali regresi yang diperoleh daripada analisa statistik hujan data.

MODEL MOUPFOUMA DAN MARTIN

Moupfouma dan Martin (1995) membangunkan model penukaran menggunakan kadar hujan berintegrasi masa 1 hingga 60 minit pada tahun 1995. Model ramalan ini menggunakan data cerapan hujan daripada Rutherford Appleton Lab (1985) di Chilbolton, United Kingdom yang dikumpulkan menggunakan tolok hujan *tipping bucket* dari

tahun 1985 hingga 1992. Model penukaran hujan ini adalah model kaedah empirikal yang berdasarkan hukum kuasa di mana ia boleh meramalkan kadar hujan taburan kumulatif untuk kawasan sederhana dan tropika berdasarkan persamaan berikut:

$$P(R \geq r) = 100 \left\{ \frac{[R(\tau \text{ min})_{0.01} + 1]}{r + 1} \right\}^b \times \exp\{u[R(1\text{min})_{0.01} - r] - \ln(10^4)\}, \tag{7}$$

$$R(1 \text{ min})_{0.01} = [R(\tau \text{ min})_{0.01}]^\alpha \tag{8}$$

$$\alpha = 0.987[\tau (\text{min})]^{0.061} \tag{9}$$

$$b = \{[r - R(1 \text{ min})_{0.01}]/R(1 \text{ min})_{0.01}\} \times \ln [1 + r/R(1\text{min})_{0.01}], \tag{10}$$

$$u = \ln(10^4) / (R(1\text{min})_{0.01} \exp\{-\lambda[rR(1\text{min})_{0.01}]^\gamma\}) \tag{11}$$

dimana  $R(\tau \text{ min})_{0.01}$  adalah kadar hujan melebihi 0.01% daripada  $\tau$ -minit. Pekali bagi  $r$  adalah kadar purata hujan 1 minit (mm/j) yang melebihi kebarangkalian kejadian  $P$  dalam setahun dengan syarat  $r \geq 2$  mm/j. Parameter  $\lambda$  dan  $\gamma$  pula adalah pekali regresi yang bergantung kepada kemerosotan pengagihan kumulatif kadar hujan dan kesan topografinya.

DEFINISI HUJAN BULANAN TERBURUK

Konsep hujan bulanan terburuk memainkan peranan penting terhadap perambatan isyarat gelombang dari stesen pemancar satelit ke bumi atau sebaliknya dengan berkesan selain daripada berkepentingan di dalam merekabentuk sistem komunikasi satelit. Selain daripada itu, statistik bulan terburuk boleh juga digunakan untuk mengkaji kadar hujan, pelemahan hujan dan polarisasi silang.

Hujan bulanan terburuk didefinisikan sebagai bulan yang mempunyai kebarangkalian tertinggi yang melebihi tempoh masa yang ditetapkan di dalam 12 bulan berturut-turut. Statistik bulan terburuk pada peratusan masa kadar hujan tertentu dapat diperolehi dengan menyusun lengkung komposit menggunakan kebarangkalian kadar hujan tertinggi yang diperolehi pada mana-mana bulan dalam tempoh masa yang ditetapkan. Statistik hujan bulanan terburuk dan hubungannya dengan purata hujan tahunan adalah berdasarkan persamaan berikut:

$$Q = \frac{X}{Y} \tag{12}$$

Di mana,  $X$  adalah kebarangkalian purata bulanan terburuk,  $Y$  pula ialah kebarangkalian purata hujan tahunan untuk garis ambang yang sama dan parameter  $Q$ , yang bertindak sebagai fungsi tahap kejadian dan kawasan iklim berjulat 1

hingga 12 yang mewakili garis bulan dalam masa setahun. Lanjutan daripada hasil kajian terhadap parameter Q pada kawasan yang berbeza, sekaligus mencetuskan model peramalan ITU-R P.841-5 yang mewakili peratusan lebih purata hujan bulanan terburuk,  $P_w$  daripada purata lebih peratusan masa tahunan, P.

$$P_w = Q_1 p^{(1-\beta)} \quad (13)$$

ITU-R turut mencadangkan hubungan antara Q dan Y di mana, faktor Q juga dinyatakan dalam cara yang sama menggunakan hukum kuasa hubungan (ITU-R P.581-2, 1990):

$$Q = Q_1 Y^{(-\beta)} \quad (14)$$

$$\text{di mana, } \left(\frac{Q_1}{12}\right)^{1/\beta} < Y < 3\%. \quad (15)$$

Parameter  $Q_1$  dan  $\beta$  adalah pekali yang bergantung pada iklim kawasan kajian tersebut. Untuk kegunaan global, ITU-R telah menetapkan untuk nilai faktor  $Q_1$  ialah 2.85 dan  $\beta$  ialah 0.13. Manakala untuk kawasan tropika pula nilai yang ditetapkan adalah  $Q_1=1.7$  dan  $\beta=1.22$ . Ini adalah kadar ITU-R yang ditetapkan untuk Indonesia dan memandangkan Malaysia adalah tropika beriklim khatulistiwa, maka faktor ini dapat diambil kira untuk mendapatkan nilai peramalan yang lebih jitu dan seterusnya perbandingan keputusan dapat dilakukan.

#### KAEDAH KAJIAN

Data cerapan hujan dengan sela masa 60 minit bagi setiap lokasi untuk tempoh 3 tahun (2017 sehingga 2019) diperolehi dari Bahagian Pengurusan Sumber Air dan Hidrologi, Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. Bahagian ini membincangkan proses kajian yang dijalankan bagi mendapatkan statistik hujan bulanan terburuk di dalam tempoh masa tiga tahun bagi seluruh Malaysia berdasarkan kawasan kajian yang telah dipilih. Secara umumnya kaedah kajian ini dilakukan dengan pemilihan model penukaran kadar hujan yang akan digunakan dalam kajian ini dikenalpasti berdasarkan kajian kepustakaan yang dilakukan. 10 lokasi stesen pencerap hujan di seluruh Malaysia dipilih sebagai kawasan kajian.

Data hujan ditukar kepada kadar hujan bersela masa 1 minit menggunakan model penukaran yang telah dipilih iaitu Model Segal. Proses pengutipan data taburan hujan dilakukan dengan menggunakan peralatan tolok hujan, yang dipasang dengan prosedur 4H (dedahan) di sesuatu kawasan Tolok hujan mempunyai sistem log mampu merekod pelbagai masa termasuk data hujan satu minit secara automatik apabila menyukat titisan hujan turun bagi setiap tip.

Data cerapan hujan pada sela masa 60 minit yang diperolehi diproses dan dianalisa dengan menggunakan

Model Segal sebagai model penukaran kadar hujan pada sela masa 1 minit. Faktor pemilihan model ini adalah kerana ia adalah model penukaran yang paling bersesuaian dengan cuaca di Malaysia yang beriklim tropika serta mempunyai ralat relatif yang rendah. Berikut adalah asas kaedah pengiraan kadar hujan tahunan untuk sela masa 60 minit yang dijalankan:

$$1 \text{ Tahun} = 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 8760 \text{ jam}$$

Kadar hujansetahun(Rp)

$$= \frac{\text{Bilangan sampel/jam}}{8760} \times 100\%$$

Seterusnya pengiraan kadar hujan tahunan pada sela masa 1 minit dilakukan seperti berikut:

$$1 \text{ Tahun} = 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 60 \text{ minit}$$

$$= 525600$$

Kadar hujan setahun(Rp)

$$= \frac{\text{Bilangan sampel/jam}}{525600} \times 100\%$$

Keputusan hasil pengiraan penukaran kadar hujan dipersembahkan dalam bentuk jadual dan graf bagi memudahkan proses perbandingan dan analisa dibuat dengan nilai ramalan model ITU-R. Penganalisaan data dilakukan dengan formula yang dibincangkan di dalam bahagian definisi hujan bulanan terburuk.

#### KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

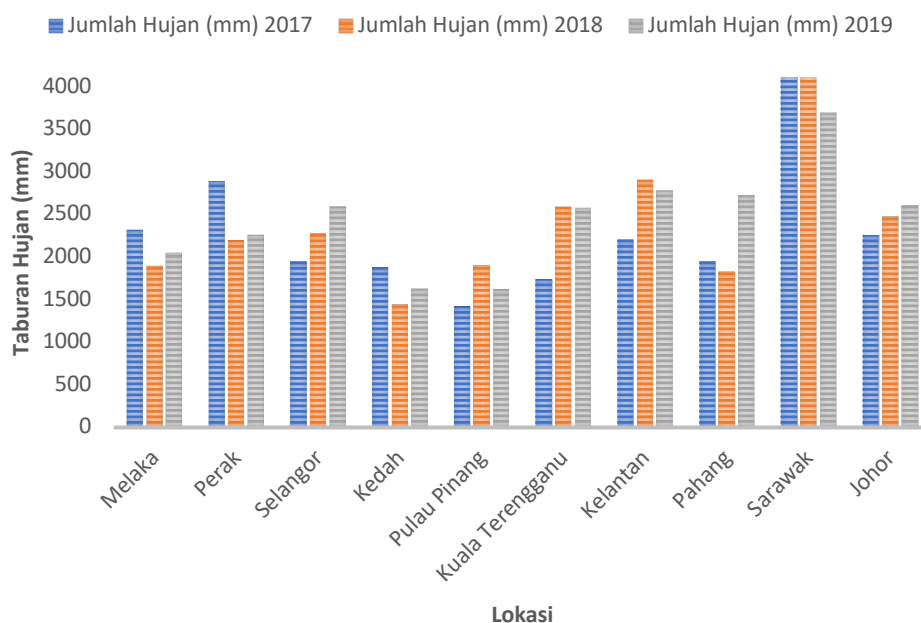
Berikut adalah keputusan hasil pengiraan penukaran kadar hujan yang dipersembahkan dalam bentuk jadual dan graf bagi memudahkan proses perbandingan dan analisa. Rajah 2 menunjukkan purata taburan hujan di mana stesen yang mengalami keamatan hujan yang tinggi pada tahun 2017 sehingga 2019 adalah stesen di Sarawak disebabkan faktor geografi dan tiupan angin monsun yang menjadi faktor utama kepada keamatan hujan. Stesen cerapan hujan di Kelantan juga memberikan purata yang agak tinggi iaitu 3153mm di mana semasa Monsun Timur Laut 2019/2020, sebanyak tujuh episod hujan lebat menyeluruh telah berlaku pada bulan November dan Disember 2019 sehingga mengakibatkan beberapa kawasan di Kelantan, Terengganu, Pahang, Johor, Negeri Sembilan dan Sarawak mengalami banjir sumber daripada (Jabatan Meteorologi Malaysia 2019) selain daripada masalah El Nino dan La Niña yang merupakan fasa panas dan sejuk dalam fenomena ENSO yang melibatkan perubahan corak tekanan permukaan

atmosfera yang berselang-seli di kawasan tropika. Berdasarkan pemerhatian, kadar hujan tahunan tertinggi adalah pada tahun 2017 sehingga awal tahun 2018 iaitu pada ketika kejadian fenomena La Niña lemah. Menurut (Mastura Mahmud 2018), sebanyak 13% kejadian La Niña yang serentak dengan Indian Ocean Dipole (IOD) iaitu Indian Ocene Dipole yang negatif akan menyebabkan hujan yang

berlebihan daripada paras normal dan ada juga kejadian di mana fenomena La Niña yang lemah bersamaan fasa IOD yang negatif akan menyebabkan keadaan yang kering daripada paras normal berlaku sebanyak 11% daripada biasa manakala fenomena El-Nino pula berlaku pada tahun 2018 hingga pertengahan tahun 2019 yang memberikan kesan kepada jumlah penerimaan hujan.

JADUAL 2. Nilai kadar hujan bulanan secara purata untuk setiap tahun bagi tiga tahun (2017 sehingga 2019) untuk satu minit pada peratusan masa 0.01 (99.99% masa dalam setahun)

Lokasi	Kadar Hujan Satu Minit Bulanan (mm/jam)											
	Jan	Feb	Mac	Apr	Mei	Jun	Jul	Ogos	Sep	Okt	Nov	Dis
Kedah	87	127	125	124	126	127	111	137	118	130	130	110
Pulau Pinang	90	109	147	156	134	141	130	124	129	145	115	118
Perak	92	134	127	127	118	95	105	120	145	142	131	108
Selangor	145	135	159	145	119	123	126	135	163	145	146	148
Pahang	131	128	152	152	117	105	113	126	147	138	162	115
Kelantan	115	96	128	116	159	137	147	115	125	137	130	137
Terengganu	87	128	126	128	123	126	112	138	115	130	149	112
Johor	113	109	131	120	127	116	133	143	148	129	150	117
Melaka	94	107	123	110	155	107	134	140	158	145	135	106
Sarawak	138	146	136	142	131	122	150	159	124	148	150	158



RAJAH 2. Taburan hujan tahunan bagi tahun 2017 sehingga 2019 di Malaysia

Berdasarkan Jadual 2, jelas dapat dilihat corak kadar hujan semakin tinggi menjelang bulan November iaitu 150 mm/jam di Johor, 162 mm/jam di Pahang, 149 mm/jam di Terengganu dan berkurangan pada bulan Disember. Bagi negeri-negeri di pantai timur Semenanjung Malaysia, November, Disember dan Januari merupakan bulan yang mempunyai hujan maksimum manakala Jun dan Julai merupakan bulan kering di kebanyakan negeri. Perkara ini

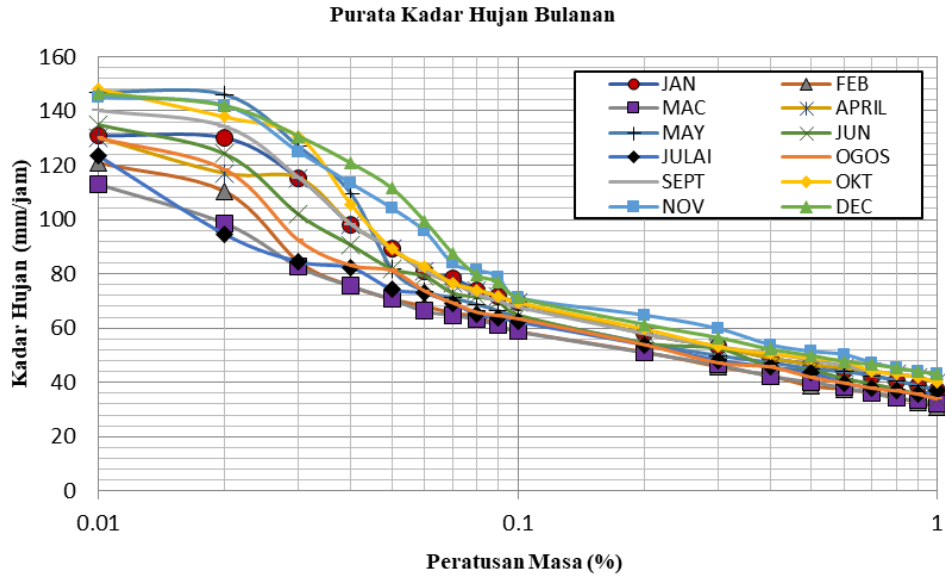
dapat dibuktikan dengan melihat paparan pada Jadual 3, di mana dapat dibuktikan kadar hujan bulanan untuk bulan Jun bagi semua lokasi kajian di Semenanjung Malaysia mempunyai bacaan yang agak rendah berbanding dengan bulan lain. Fenomena monsun barat daya yang bermula pada bulan Mei sehingga pertengahan bulan September menyebabkan tiupan angin pada ketika ini adalah daripada arah barat daya secara konsisten.

JADUAL 3. Nilai kadar hujan pada peratusan masa 0.01 (99.99%), 0.1(99.9%) dan 1(99%) bagi kawasan kajian

Kawasan	Kadar hujan pada peratusan, $R_o$ (mm/jam)		
	$R_{0.01}$	$R_{0.1}$	$R_1$
Kedah	113.4	63.23	20.01
Pulau Pinang	127.89	51.66	18.47
Perak	103.09	53.44	21.55
Selangor	129.74	69.5	18.47
Pahang	98.96	49.32	18.47
Kelantan	109.27	53.44	21.55
Terengganu	115.46	55.22	24.62
Johor	115.31	52.72	23.09
Melaka	115.46	50.88	21.47
Sarawak	129.89	64.21	26.16

Berdasarkan analisa yang telah dibuat terhadap data cerapan hujan, secara keseluruhannya didapati bahawa, kadar taburan hujan 1-minit adalah rendah Pahang dan Perak walaupun kawasan tersebut menerima purata hujan tahunan yang agak tinggi. Manakala Sarawak menunjukkan kadar hujan 1-minit tertinggi di Malaysia di ikuti dengan Kota Bahru, Kelantan disebabkan oleh pelbagai kejadian cuaca ekstrem menjadikan purata hujan tahunan yang tinggi. Jadual 3 menunjukkan nilai kadar hujan pada 0.01, 0.1 dan 1 peratusan masa bagi setiap kawasan kajian di mana pada bahagian seterusnya iaitu analisis hujan bulanan terburuk, kadar hujan yang akan digunakan adalah nilai kadar hujan pada 0.01 peratusan masa yang diperolehi daripada nilai integrasi 1-minit iaitu  $R_{0.01}$  (mm/j). 0.01% bersamaan dengan 99.99% masa dalam satu tahun dimana kadar hujan diukur. Jadual 3 taburan hujan adalah dari 2017-2019.

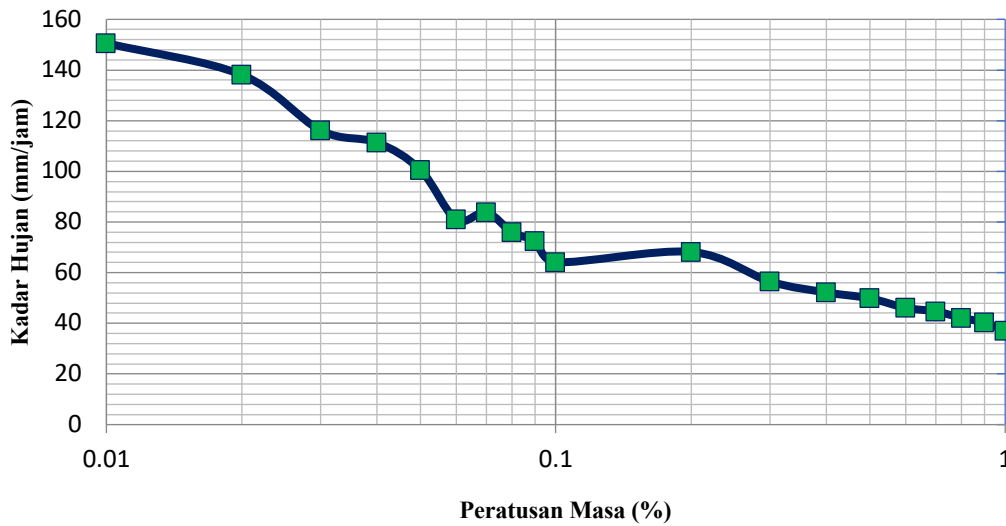
Selanjutnya, penganalisan statistik hujan bulanan terburuk yang berlaku Malaysia untuk jangkamasa tiga tahun dilakukan. Mengikut definisi, bulan terburuk tahunan untuk ambang pra-dipilih adalah bulan yang mempunyai kebarangkalian tertinggi melebihi julat masa dalam tempoh 12 bulan berturut-turut. Di atas sebab, bulan terburuk boleh diiktiraf untuk julat ambang yang telah ditetapkan. Rajah 3 menunjukkan hasil analisis bulanan terburuk untuk tempoh tiga tahun di seluruh Malaysia manakala Rajah 4 menunjukkan purata keseluruhan bulan yang telah dicapai. Statistik kadar hujan bulanan terburuk sangat penting dilakukan dalam usaha untuk mencapai rangkaian komunikasi berkualiti tinggi. Ini adalah kerana kemerosotan rangkaian dijangka lebih tinggi pada bulan yang paling drastik julat hujan harian.



RAJAH 3. Purata kadar hujan bulanan

Daripada pemerhatian yang dilakukan, dapat di lihat pada kadar peratusan masa melebihi 0.01 dan 0.001 di Jadual 3. Didapati kadar hujan yang paling banyak sepanjang tahun berlaku pada bulan Oktober. Itu adalah bulan terburuk dibandingkan dengan semua bulan lainnya.

Keputusan yang dibentangkan menunjukkan bahawa kadar hujan bulanan berbeza antara 87 mm/jam hingga 148.3 mm/jam pada kadar peratusan masa 0.01%. Manakala purata kadar hujan tahunan mencapai 150.61 mm/jam.

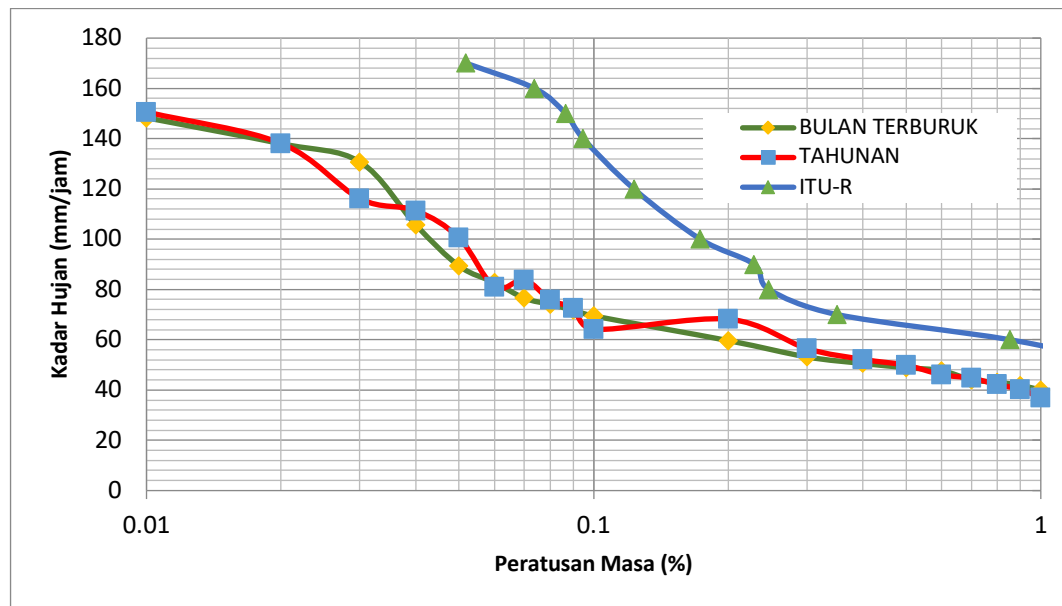


RAJAH 4. Taburan Purata Hujan

Walau bagaimanapun, kadar hujan pada peratusan masa 0.01% adalah kadar yang dipertimbangkan dalam keseluruhan analisis statistik. Menggunakan kadar hujan tertinggi yang dikesan melebihi peratusan masa, nilai kebarangkalian bulanan tertinggi bagi semua taburan kumulatif bulanan dapat direalisasikan. Analisis statistik bulan terburuk dianggap sebagai alat penting yang harus

digunakan untuk mewujudkan saluran tanpa wayar dalam sistem komunikasi berkeperluan tinggi. Statistik untuk bulan yang paling teruk seperti kadar hujan dan pelemahan hujan boleh dianggarkan dengan menggunakan model cadangan ITU-R P.841-5 di mana kadar hujan diteliti pada bulan yang berhujan lebat berdasarkan data pengukuran sebenar yang direkodkan di Malaysia.





RAJAH 5. Kadar Ukuran Purata Hujan Tahunan, Bulanan Terburuk dan ITU-R

JADUAL 4. Statistik kadar hujan bulanan terburuk dan tahunan pada peratusan masa 0.01 %

Kadar Hujan (mm/jam)	Kadar Hujan Tahunan (Ukuran)	Kadar Hujan Bulanan,		Ralat Ramalan ITU-R	Peratusan Ralat Ramalan ITU-R
		Ukuran	Ramalan ITU-R		
20	0	0	0	0	0
40	0.9	1	2.60	1.6	160%
50	0.5	0.4	1.56	1.16	290%
60	0.25	0.2	0.85	0.65	325%
70	0.09	0.092	0.35	0.258	280%
80	0.06	0.065	0.25	0.185	284%
90	0.055	0.05	0.23	0.18	360%
100	0.04	0.042	0.17	0.128	305%
120	0.027	0.035	0.12	0.085	243%
140	0.02	0.027	0.095	0.068	252%
150	0.018	0.025	0.086	0.061	244%

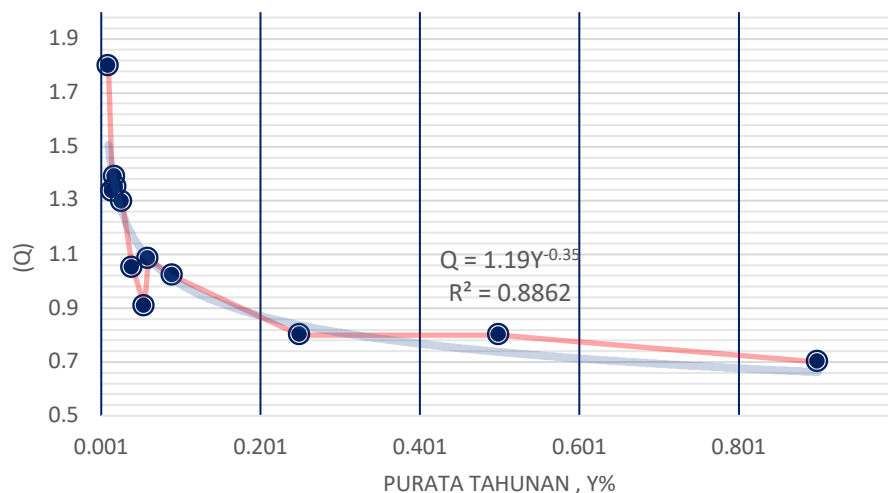
Rajah 5 menunjukkan kebarangkalian kadar hujan untuk data tahunan yang diukur, ukuran bulan terburuk, dan bulan terburuk yang diramalkan oleh model ITU-R. Hasil yang diramalkan oleh model ITU turut menunjukkan bahawa kadar hujan yang diramalkan pada bulan yang berhujan lebat adalah jauh lebih besar daripada nilai tahunan dan bulanan terburuk yang diukur di semua peratusan masa.

Jadual 4. menunjukkan perbandingan nilai bagi parameter  $Q_1$  dan  $\beta$  daripada data pengukuran yang disahkan menggunakan kaedah regresi linear di mana, nilai parameter  $Q$  baru diperolehi di kawasan kajian di Malaysia ini adalah hampir sama dengan nilai ITU-R yang telah dicadangkan untuk kawasan beriklim tropika. Bagi rantau tropika, satu-satunya nilai parameter  $Q_1$  dan  $\beta$  yang ada adalah dari Indonesia yang ditentukan daripada eksperimen kesan hujan gelombang mikro terrestrial di mana data Ka-band digunakan.

Berdasarkan pemerhatian pada Rajah 6 dapat dibuktikan melalui hubungan hukum kuasa yang telah diterangkan sebelum ini bahawa nilai ramalan ITU-R yang disyorkan untuk  $Q_1$  dan  $\beta$  adalah tidak konsisten dengan analisis bulan terburuk berdasarkan statistik purata tahunan. Nilai baru berdasarkan analisis untuk parameter  $Q_1$  dan  $\beta$  dicadangkan seperti di dalam Jadual 5 bagi mencapai anggaran yang lebih baik untuk statistik kesan hujan bulanan terburuk di Malaysia.

JADUAL 5. Ukuran nilai  $Q_1$  dan  $\beta$  untuk kawasan tropika

Lokasi	$Q_1$	$\beta$
Purata untuk		
Malaysia	1.2	0.35
Indonesia (Juy et al. 1989)	1.7	0.22
ITU-R (2016)	2.85	0.13
USM (Mandeep & Hassan, 2008)	1.39	0.3



RAJAH 6. Parameter Q

## KESIMPULAN

Menerusi hasil kajian ramalan kadar hujan yang diperolehi, nilai baru untuk parameter Q1 dan  $\beta$  dicadangkan untuk mendapatkan anggaran yang lebih baik bagi statistik bulan terburuk iaitu Q1= 1.2 dan  $\beta=0.35$  untuk Malaysia amnya. Hasil akhir keseluruhan kajian ramalan analasi hujan bulanan terburuk yang boleh digunakan sebagai rujukan bagi penyedia perkhidmatan satelit serta penyelidik lain untuk meningkatkan dan memperbaiki kualiti penerimaan isyarat sistem satelit bagi kawasan iklim tropika.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih pada pihak Universiti Kebangsaan Malaysia untuk kerjasama yang di berikan bagi menyiapkan kajian ini.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

## RUJUKAN

- Burgueno, A., Puigserver, M. and Vilar, E. 1988. Influence of rain gauge integration on the rain rate statistics used in microwave communications. *Ann. Telecommun.* 43: 522-527.
- Chebil, J. & Rahman, T. A. 1999. Rain rate statistical conversion for the prediction of rain attenuation in Malaysia. *Electronics Letters* 35(12): 1019-1021.
- Jalal J. H.A. 2015. Rain effect on Ku Band Satellite System. *Electrical and Electronics Engineering: An International Journal* 4(2): 13-23.
- M. Juy, R. Maurel, and M. Rooryck. 1990. Monthly distribution of rain rate and attenuation measured in Indonesia. In *Proc. URSI Commission F Open Symp. Regional Factors Predicting Radio Wave Attenuation Due Rain*, 1990, pp. 155-159.
- Mandeep, J. S. & Hassan, S. I. S. 2008. 60- to 1-min rainfall-rate conversion: comparison of existing prediction methods with data obtained in the Southeast Asia region. *J Appl Meteorol Climatol* 47(3):925-930.
- Meteorology Department Malaysia. 2017. Laporan Tahunan 2017 Jabatan Meteorologi Malaysia. Meteorology Department Malaysia 90. www.met.gov.my.
- Moupfouma, F. & Martin, L. 1995. Modelling of the rainfall rate cumulative distribution for the design of satellite and terrestrial communication systems. *International Journal of Satellite Communications* 13(October 1994): 105-115.
- Ng, Y.-Y., Singh, M. S. J. & Thiruchelvam, V. 2017. Performance analysis of 60-min to 1-min integration time rain rate conversion models in Malaysia. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 167(-): 1-13.
- Segal, B. 1986. The influence of rain gauge integration time on measured rainfall-intensity distribution functions. *J Atmos Ocean Technol* 3: 662-671.
- Surati, S., Azah, S.M.M., Azlinda, T.M.A.T., Amran, N. & Khaidir, K. 2014. Conversion of 5-min and 10-min to 1-min average rainfall rate using East Malaysia data. *IEEE Asia Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE)*, hlm. 115-118.