

## Klimatologi Hujan Diurnal dan Bayu Laut-Darat di Semenanjung Malaysia (Climatology of Diurnal Rainfall and Land-Sea Breeze in Peninsular Malaysia)

AHMAD FAIRUDZ JAMALUDDIN, FREDOLIN TANGANG\*, WAN MAISARAH WAN IBADULLAH,  
LIEW JUNENG, DIONG JEONG YIK, ESTER SALIMUN, AMBUN DINDANG  
& MUHAMMAD HELMI ABDULLAH

### ABSTRAK

*Kajian ini bertujuan memahami klimatologi kitaran hujan diurnal dan mekanismanya di Semenanjung Malaysia berdasarkan analisis data cerapan. Analisis jumlah, kekerapan dan keamatan hujan diurnal memperlihatkan 4 peristiwa hujan diurnal yang utama, iaitu: kejadian hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun di kaki bukit Banjaran Titiwangsa adalah lebat dan sering berlaku; kejadian hujan sepanjang hari di pantai timur semenanjung (sub-rantauan PT) semasa monsun timur laut adalah lebat dan sering berlaku; kejadian hujan pada pagi di lembah-pedalaman semenanjung (sub-rantauan LP) semasa monsun timur laut adalah rendah walaupun hujan lebat sering berlaku pada petangnya; dan kejadian hujan pagi maksimum di pantai barat semenanjung (sub-rantauan PB) semasa Jun-Julai-Ogos-September-Oktober-November (JJASON) merupakan kejadian hujan yang melampau namun kekerapannya adalah rendah. Di sub-rantauan PB, kelajuan angin permukaan yang kuat berbanding lemah pada aras troposfera yang lebih tinggi semasa musim peralihan monsun menyebabkan ricih angin bergerak ke atas. Sebaliknya, kombinasi angin monsun dan bayu laut semasa monsun barat daya menyebabkan ricih angin bergerak ke troposfera bawah. Semasa monsun timur laut, luluran angin sejuk dan bayu laut menyebabkan kelajuan angin adalah kuat pada permukaan sehingga ke aras 2 km tinggi di timur semenanjung. Ini menyebabkan zon perolakan yang tertumpu di sub-rantauan PT pada pagi meluas sehingga ke sub-rantauan LP pada waktu petang.*

*Kata kunci: Bayu laut-darat; hujan diurnal; Semenanjung Malaysia*

### ABSTRACT

*This study aims to provide a basic understanding of diurnal rainfall climatology and its mechanisms in Peninsular Malaysia by utilising observation data. The analysis of rainfall amount, frequency and intensity showed 4 main diurnal rainfall events: the occurrence of afternoon rainfall maximum at the foothills of Titiwangsa Mountain Range during the inter-monsoon periods was heavy and frequently occurred; the occurrence of rainfall throughout entire day over the east coast of peninsula (PT sub-region) during northeast monsoon was heavy and frequently occurred; the occurrence of entire day rain over the inland-valley (LP sub-region) area during northeast monsoon was low despite heavy rainfall often occurred in the afternoon; and the occurrence of morning rainfall maximum was an extreme rainfall event but with low in frequency over the west coast of peninsula (PB sub-region) during June-July-August-September-October-November (JJASON). During the inter-monsoon periods, stronger surface wind and weaker at higher tropospheric level caused vertical wind shear over the PB sub-region. On the other hand, superimposition of monsoonal flow and sea breeze during southwest monsoon resulted downward shear in the sub-region. During the northeast monsoon, combination of cold surges and sea breezes modulate strong wind from the surface up to 2 km height. This causes a convection zone which was confined over the PT sub-region in the morning to extend into LP sub-region in the afternoon.*

*Keywords: Diurnal rainfall; land-sea breeze; Peninsular Malaysia*

### PENGENALAN

Semenanjung Malaysia merupakan satu kawasan unik yang mengunjur ke selatan dari tanah besar Asia Tenggara, dikelilingi oleh Laut China Selatan di timur, dan Selat Melaka serta Laut Andaman di barat. Dengan perbezaan suhu yang ketara antara darat dan laut di sekelilingnya serta kehadiran Banjaran Titiwangsa yang mengunjur ke selatan di tengah-tengah semenanjung, Semenanjung Malaysia dicirikan oleh beberapa kitaran hujan diurnal yang unik. Klimatologi kitaran hujan diurnal dan hubungannya dengan

monsun di Semenanjung Malaysia pernah dikaji oleh Lim (1979), Nieuwolt (1968), Oki dan Musiaki (1994) serta Ramage (1964). Kajian lepas ini telah mengelompokkan hujan diurnal di Semenanjung Malaysia kepada 3 sub-rantauan iaitu pantai barat, kawasan pedalaman dan pantai timur. Walau bagaimanapun, kekurangan data seperti bilangan stesen, tempoh data serta perubahan drastik guna tanah telah menyebabkan pengelompokan sub-rantauan ini menjadi kurang tepat dan perlu dikaji semula. Sebagai contoh, kawasan kaki bukit di Banjaran Titiwangsa

mempunyai pola hujan diurnal yang berbeza berbanding kawasan pantai dan pedalaman semenanjung (Richard 2010; Suhaila et al. 2010) tidak dikelaskan secara khusus oleh Lim (1979), Nieuwolt (1968), Oki dan Musiaka (1994) serta Ramage (1964). Ini menyebabkan pemahaman iklim di kawasan tersebut menjadi terbatas.

Di Semenanjung Malaysia, fenomena cuaca seringkali dikaitkan dengan kehadiran bayu laut-darat. Ramage (1964) mengaitkan ribut petir dan hujan petang di barat semenanjung sebagai kesan daripada perambatan bayu laut ke darat. Perambatan bayu laut ini menyebabkan penumpuan kelembapan di aras rendah troposfera berlaku di kawasan tersebut. Berdasarkan hasil uji kaji berangka oleh Qian et al. (2012), mereka mendapati bahawa perenggan depan bayu laut terbentuk di kawasan pesisir pantai pada waktu tengah hari. Dalam tempoh enam hingga tujuh jam seterusnya, bayu laut menguat menyebabkan perenggan bergerak ke depan sehingga 30 hingga 50 km ke kawasan pedalaman. Pelemahan bayu laut pada lewat petang menyebabkan perenggan bayu laut kembali ke pesisir pantai. Bayu darat secara amnya lebih lemah dan lebih cetek daripada bayu laut. Kajian terdahulu seperti Lim (1979) dan Ramage (1964) telah mengaitkan pembentukan garis badai Sumatra (SSL) sebagai pertembungan antara dua bayu darat, iaitu dari pantai barat semenanjung dan pantai timur Sumatera. SSL seringkali berlaku semasa monsun barat daya dan dikatakan menyumbang secara signifikan kepada jumlah hujan maksimum pada waktu pagi di sepanjang pantai barat Semenanjung Malaysia.

Topografi Semenanjung Malaysia yang unik dengan semenanjung yang sempit, rupa bumi yang kompleks dan dikelilingi lautan, menyebabkan Semenanjung Malaysia merupakan kawasan yang sesuai bagi kajian mekanisma kitaran hujan diurnal. Walau bagaimanapun, sebelum mekanisma kitaran hujan diurnal dapat dikenal pasti, klimatologi kitaran diurnal perlulah lengkap, mutakhir dan difahami terlebih dahulu. Lanjutan itu, kajian ini memfokus kepada pengelompokan sub-rantauan kitaran hujan diurnal dan bayu laut-darat di Semenanjung Malaysia.

## DATA DAN KAEDAH

### DATA PENCERAPAN PERMUKAAN

Data pencerapan permukaan dari stesen meteorologi utama dengan resolusi setiap jam digunakan bagi menggambarkan corak taburan hujan dan angin diurnal di Semenanjung Malaysia. Data hujan dan angin setiap jam ini diperoleh dari 24 stesen meteorologi utama yang berselerak lokasinya di Semenanjung Malaysia (Rajah 1). Nama, lokasi dan altitud stesen meteorologi utama ini disenaraikan dalam Jadual 1. Data hujan setiap jam yang dikumpulkan di stesen meteorologi adalah menggunakan tolok hujan. Had ambang 0.2 mm/jam digunakan untuk menentukan kejadian adanya hujan. Sebaliknya, angin diurnal yang dirujuk sebagai bayu laut dan bayu darat permukaan pula dicerap menggunakan anemometer dan

JADUAL 1. Senarai nama stesen, indikator, lokasi dan altitud stesen meteorologi utama

Nama Stesen	Indikator Stesen	Lokasi	Altitud (m)
Bayan Lepas	48601	5.30U 100.27T	2.4
Butterworth	48602	5.47U 100.38T	3.3
Alor Setar	48603	6.20U 100.40T	3.9
Chuping	48604	6.48U 100.27T	21.7
Sitiawan	48620	4.22U 100.70T	6.7
Sepang	48650	2.73U 101.70T	16.1
Melaka	48665	2.27U 102.25T	8.5
Batu Pahat	48670	1.87U 102.99T	6.3
Lubok Merbau	48623	4.80U 100.90T	77.5
Ipoh	48625	4.57U 101.10T	50.1
Cameron Highlands	48632	4.47U 101.37T	1545.0
Subang	48647	3.12U 101.55T	26.6
Petaling Jaya	48648	3.10U 101.65T	60.8
Batu Embun	48642	3.96U 102.35T	49.5
Temerloh	48653	3.46U 102.38T	39.1
Muadzam Shah	48649	3.05U 103.08T	33.3
Kluang	48672	2.02U 103.32T	88.1
Senai	48679	1.63U 103.67T	37.8
Kota Bharu	48615	6.17U 102.28T	4.36
Kuala Krai	48616	5.53U 102.20T	58.3
Kuala Terengganu Airport	48618	5.38U 103.10T	5.2
Kuala Terengganu Town	48619	5.33U 103.13T	35.1
Kuantan	48657	3.78U 103.22T	15.23
Mersing	48674	2.45U 103.84T	43.6

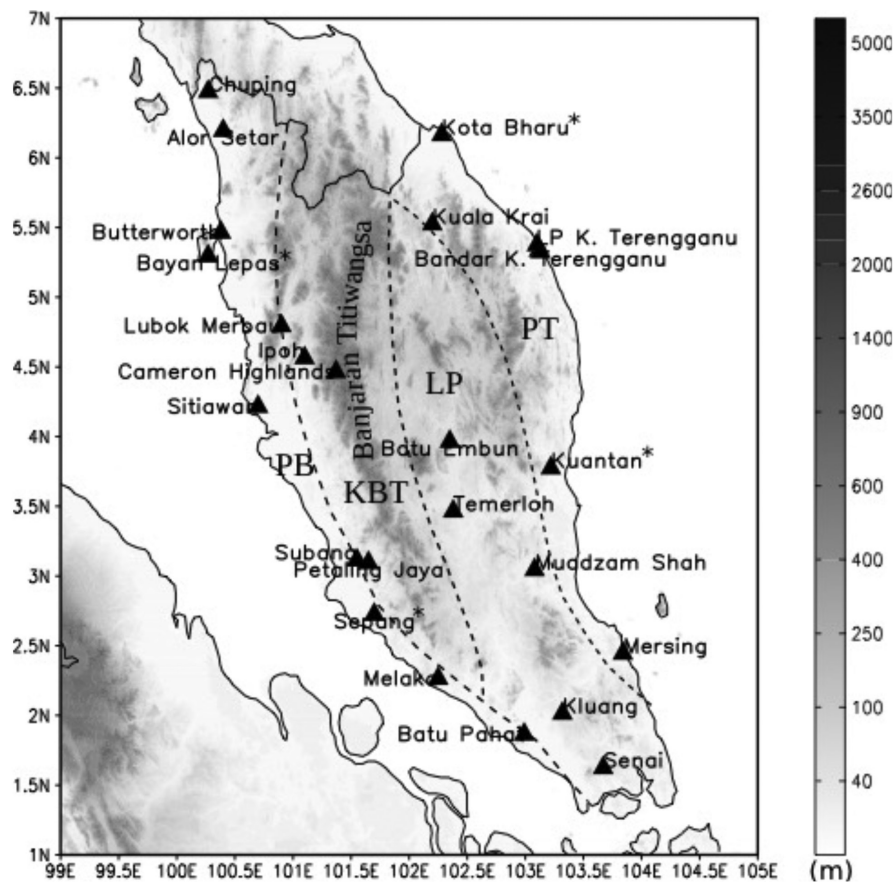
petunjuk arah angin pada ketinggian 10 m dari permukaan bumi.

#### DATA PENCERAPAN UDARA ATAS

Pencerapan udara atas yang digunakan dalam kajian adalah terdiri daripada pencerapan radiosonde dan belon pilot. Di Malaysia, pencerapan udara atas pada 08:00 MST dan 20:00 MST adalah merujuk kepada pencerapan radiosonde manakala 14:00 MST dan 02:00 MST belon pilot. Terdapat empat stesen pencerapan radiosonde yang digunakan iaitu Bayan Lepas, Lapangan Terbang Antarabangsa Kuala Lumpur (Sepang), Kota Bharu dan Kuantan (lokasi stesen ditunjukkan dalam Rajah 1). Data radiosonde yang digunakan adalah pada selang 4 saat, dari paras permukaan ke atmosfera atas (Pralungo et al. 2014). Empat stesen pencerapan belon pilot turut terletak di lokasi yang sama seperti pencerapan radiosonde, iaitu Bayan Lepas, Sepang, Kota Bharu dan Kuantan. Belon dilepaskan dua kali sehari, iaitu pada 14:00 MST dan 02:00 MST dengan kelajuan angin dan arahnya diukur menggunakan teropong Theodolit. Tempoh data bagi pencerapan radiosonde dan belon pilot ini dihadkan kepada 12 tahun (tahun 2001 hingga 2012).

#### ANALISIS DATA

Bagi merangka kaedah kajian yang lebih berkesan mengenai klimatologi hujan diurnal di Semenanjung Malaysia, pengelompokan secara musiman terhadap sub-rantau hujan diurnal dilakukan. Ini bertujuan menghimpunkan kawasan dengan ciri-ciri hujan diurnal musiman yang sama dalam satu kelompok. Lim (1979), Nieuwolt (1968), Oki dan Musiaki (1994), Ramage (1964) dan Richard (2010) telah mengelaskan corak taburan hujan diurnal di Semenanjung Malaysia kepada 3 sub-rantau utama berdasarkan lokasi stesen dan rajah isopleth. Di kepulauan Benua Maritim, kaedah pengelompokan ke sub-rantau tertentu, iaitu menggunakan: Rajah isopleth dan topografi; atau analisis pengelompokan secara empirik merupakan dua kaedah pengelompokan berbeza yang sering dilakukan. Sebagai contoh, Aldrian (1999) dan Wyrski (1956) telah menggunakan kaedah topografi dan rajah isopleth bagi menentukan kelompok corak taburan hujan harian di Indonesia. Sebaliknya, Aldrian (2001) serta Aldrian dan Dwi Susanto (2003) pula menggunakan kaedah korelasi berganda dalam mengelompok corak taburan hujan di lokasi yang sama seperti Aldrian (1999) dan Wyrski (1956).



RAJAH 1. Lokasi stesen meteorologi utama dan stesen pencerapan udara atas (\*) yang digunakan dalam kajian. Analisis pengelompokan membahagikan kitaran hujan diurnal di Semenanjung Malaysia kepada empat sub-rantau yang berbeza, iaitu PB (pantai barat), KBT (kaki bukit Banjaran Titiwangsa), LP (lembah-pedalaman) dan PT (pantai timur). Keadaan muka bumi di Semenanjung Malaysia diplot menggunakan data GIBCO - 30 arc-second interval grid

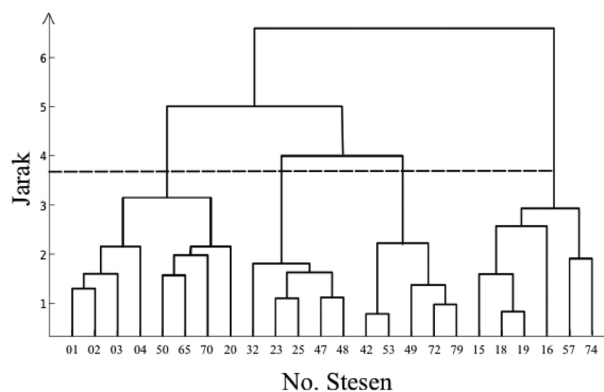
Kaedah analisis pengelompokan yang digunakan dalam kajian adalah *Hierarchical Aligned Cluster Analysis* (HACA) (Ahamad et al. 2014; Dominick et al. 2012; Santos et al. 2014). HACA adalah teknik biasa yang digunakan untuk mengumpul data ke dalam sesuatu kelompok, dengan kedua-dua tahap homogeniti dalam kumpulan dan tahap heterogeniti antara kumpulan yang tinggi (McKenna 2003). HACA dilakukan dengan mengira jarak Euclidean antara stesen dengan kaedah Ward sebagai kriterianya. Kaedah ini bergantung pada penggabungan dua stesen pada setiap langkah analisis hierarki dengan memilih pasangan dengan ralat jumlah kuasa dua yang terkecil di dalam kumpulan fungsinya (Gong & Richman 1995; Wilks 2006). Kaedah ini dianggap baik kerana ia memberikan hasil yang baik dengan saiz sampel yang lebih kecil (Gong & Richman 1995). Sebagai contoh, Santos et al. (2014) telah menggunakan kaedah ini untuk mengelompok corak taburan hujan harian kepada 6 sub-rantauan di Amazon, Brazil.

Penganalisan data dibuat secara musiman merangkumi semua musim iaitu monsun timur laut (Disember-Februari (DJF)), musim peralihan monsun pertama (Mac-Mei (MAM)), monsun barat daya (Jun-Ogos (JJO)) dan musim peralihan monsun kedua (September-November (SON)). Analisis kitaran hujan diurnal memberi tumpuan kepada tiga parameter hujan, iaitu jumlah, keamatan dan kekerapan. Jumlah hujan didefinisikan sebagai jumlah hujan terkumpul dalam setiap jam, manakala keamatan hujan sebagai jumlah hujan terkumpul hanya dalam jam yang ada merekodkan hujan (Zhou et al. 2008). Kekerapan hujan pula ditakrifkan sebagai kekerapan sesuatu jam merekodkan jumlah hujan yang melebihi 0.2 mm/jam. Analisis angin diurnal pula merujuk kepada kelajuan dan arah bayu laut-darat pada jam yang tertentu.

#### CORAK TABURAN HUJAN DIURNAL ANALISIS PENGELOMPOKAN

Kitaran hujan diurnal merupakan asas kepada corak taburan hujan harian di Semenanjung Malaysia. Rajah 2 memaparkan dendrogram bagi purata musiman jumlah hujan setiap jam di 24 stesen meteorologi utama. Analisis dendrogram dilakukan bagi membolehkan ciri-ciri hujan diurnal bermusim yang sama dihipunkan ke dalam satu sub-rantauan.

Secara amnya, tiga sub-rantauan berasingan dapat diperhatikan, iaitu: pantai barat semenanjung (terdiri dari stesen Bayan Lepas, Butterworth, Alor Setar, Chuping, Sepang, Melaka, Batu Pahat dan Sitiawan); pedalaman semenanjung (terdiri dari stesen Cameron Highlands, Lubuk Merbau, Ipoh, Subang, Petaling Jaya, Batu Embun, Temerloh, Muadzam Shah, Kluang dan Senai); dan pantai timur semenanjung (terdiri dari stesen Kota Bharu, Bandar Kuala (K.) Terengganu, Lapangan Terbang (LP) Kuala (K.) Terengganu, Kuala Krai, Kuantan dan Mersing). Berdasarkan Rajah 2 juga, kawasan pedalaman semenanjung boleh dipecahkan lagi kepada dua sub-rantauan, iaitu kawasan di kaki bukit Banjaran Titiwangsa



RAJAH 2. Dendrogram penyelesaian pengelompokan menunjukkan pembentukan empat sub-rantauan kitaran hujan diurnal di Semenanjung Malaysia. 24 stesen meteorologi utama dianalisa dengan nombor stesen merujuk kepada 2 digit terakhir indikator stesen masing-masing (sila rujuk Jadual 1)

dan lembah-pedalaman. Keputusan ini adalah konsisten dengan Richard (2010) dan Suhaila et al. (2010) yang menyatakan bahawa kaki bukit Banjaran Titiwangsa mempunyai corak taburan hujan yang berbeza berbanding kawasan pantai dan pedalaman semenanjung. Walau bagaimanapun, analisis pengelompokan HACA hanya bergantung kepada jarak Euclidean yang minimum antara pasangan stesen tanpa mengambil kira lokasi dan corak jumlah hujan yang dicerap di stesen. Lanjutan itu, proses silang-periksa dengan lokasi dan rajah isoplet (Rajah 3) stesen meteorologi dilakukan. Ini bertujuan untuk memastikan pengelompokan sub-rantauan hujan diurnal adalah bersesuaian dan boleh dipercayai.

#### CORAK TABURAN JUMLAH HUJAN DIURNAL

Berdasarkan analisis pengelompokan HACA, kitaran hujan diurnal di Semenanjung Malaysia boleh dikelompokkan kepada 4 sub-rantauan, iaitu pantai barat (PB), kaki bukit Banjaran Titiwangsa (KBT), lembah-pedalaman (LP) dan pantai timur (PT) semenanjung. Proses silang-periksa dengan rajah isoplet dan lokasi memperlihatkan corak taburan hujan diurnal yang homogeniti antara stesen-stesen di dalam sub-rantauan masing-masing (Rajah 3).

Semasa monsun timur laut, sub-rantauan PT menerima hujan yang paling tinggi kesan daripada pendedahan secara terus kepada angin monsun timur laut yang kuat dan lembap. Hujan dicatatkan berterusan sepanjang hari dengan jumlah hujan yang melebihi 0.4 mm/jam (Rajah 3(s)-3(x)). Sub-rantauan LP pula mencatatkan hujan renyai pada waktu pagi (0.2 mm/jam), yang menjadi lebat pada waktu petang dan awal malam (Rajah 3(n)-3(r)). Sebaliknya, di bahagian terlindung angin Banjaran Titiwangsa, hujan diurnal adalah lebih lemah berbanding di kawasan timur Semenanjung Malaysia (Rajah 3(a)-3(m)). Ini disebabkan oleh kesan pengeringan angin monsun timur laut apabila melepasi kawasan tanah tinggi Banjaran Titiwangsa (Lim 1979). Walaupun begitu, hujan di barat semenanjung (sub-rantauan PB dan KBT) masih dicatatkan berlaku



terutamanya pada waktu petang dan awal malam (Rajah 3(a)-3(m)).

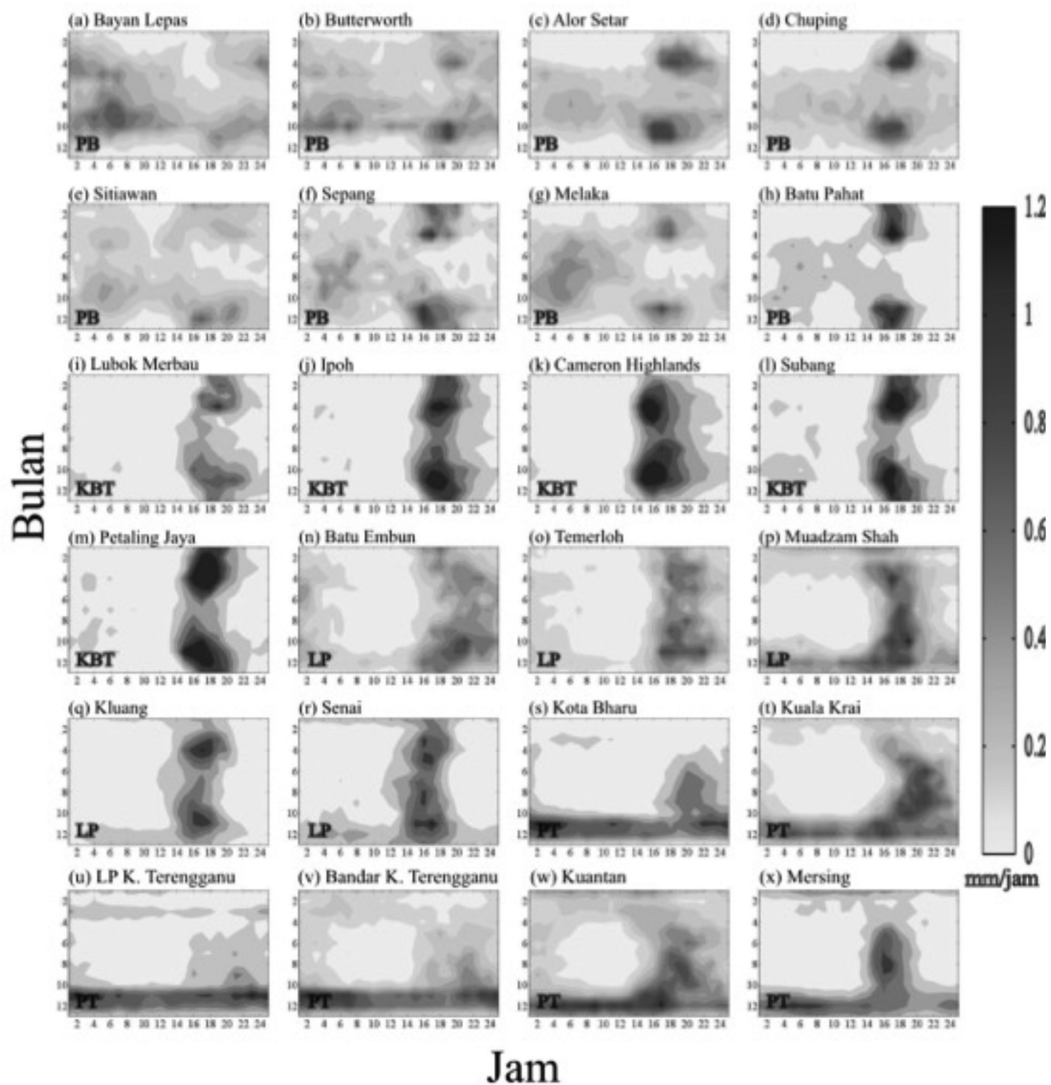
Pada waktu pagi (02:00 MST hingga 09:00 MST) semasa monsun barat daya, hujan pagi maksimum dicerap berlaku di sub-rantauan PB (Rajah 3(a)-3(h)). Untuk sub-rantauan KBT, yang terletak lebih jauh di pedalaman (> 50 km dari garis pantai, di barat Semenanjung Malaysia), hujan pagi maksimum ini tidak terjadi (Rajah 3(i)-3(m)). Corak hujan pagi maksimum di sub-rantauan PB dan KBT ini adalah disebabkan oleh SSL yang merambat ke timur, yang mulai melemah dan berpecah sebaik sahaja melanda pesisiran pantai (Lo & Orton 2016). Sebaliknya, bahagian terlindung angin Banjaran Titiwangsa, hujan diurnal berlaku pada waktu petang dan awal malam. Walau bagaimanapun, hujan petang dan awal malam di sub-rantauan LP dan PT ini adalah kurang lebat berbanding kejadian hujan semasa monsun timur laut (Rajah 3(n)-3(x)).

Semasa musim peralihan monsun (MAM dan SON), sub-rantauan KBT yang terdedah kepada sistem perolakan

tempat yang kuat, hujan petang yang lebat yang melebihi 1.0 mm/jam dicatatkan antara jam 15:00 MST dan 19:00 MST (Rajah 3(i)-3(m)). Sebagai perbandingan, bagi sub-rantauan PB dan LP, walaupun hujan petang maksimum berlaku semasa tempoh tersebut, namun jumlahnya adalah jauh lebih rendah (kurang dari 0.6 mm/jam) daripada di sub-rantauan KBT (Rajah 3(a)-3(h) dan Rajah 3(n)-3(r)). Menariknya, untuk sub-rantauan PT, hujan petang maksimum hanya berlaku semasa SON (Rajah 3(s)-3(x)). Keadaan kering di sub-rantauan PT semasa MAM disebabkan oleh berlakunya aliran rentas-khatulistiwa yang mengangkut kelembapan dari sub-rantauan ini ke selatan khatulistiwa (Loh et al. 2016; Siew et al. 2014).

#### CORAK TABURAN KEKERAPAN DAN KEAMATAN HUJAN DIURNAL

Perubahan kekerapan dan keamatan hujan diurnal dalam sesuatu musim boleh terjadi tanpa bergantung kepada perubahan dalam jumlah hujan diurnal (Becker 2009).



RAJAH 3. Komposit isopleth bulanan jumlah hujan setiap jam di 24 stesen meteorologi utama. Jam dalam Masa Piawaiian Malaysia (MST). Sub-rantauan kitaran hujan diurnal dipaparkan di sebelah kiri bawah setiap peta komposit

Sebagai contoh, purata musiman jumlah hujan diurnal pada kadar purata boleh jadi terdiri daripada peristiwa hujan diurnal yang melampau dan bilangan hujan renyai yang kurang. Kejadian hujan diurnal yang melampau menyebabkan kejadian banjir kilat dan tanah runtuh (Abdul & Mapjabil 2017; Jaafar et al. 2011). Lanjutan itu, kepelbagaian statistik, seperti kekerapan dan keamatan hujan diurnal, boleh menjadi lebih bermaklumat berbanding hanya berdasarkan jumlah hujan diurnal. Jadual 2 dan 3 memaparkan purata musiman kekerapan dan keamatan hujan pada jam-jam terpilih di 4 sub-rantau kitaran hujan diurnal, masing-masing.

Semasa monsun timur laut, kawasan di timur semenanjung (sub-rantau PT dan LP) menerima kekerapan hujan yang tinggi setiap jam berbanding di barat Semenanjung Malaysia. Kekerapan hujan setiap jam dengan peratusan sekitar 15% dicatatkan di sub-rantau PT, manakala sekitar 10% di sub-rantau LP. Walau bagaimanapun, keadaan berubah pada petang di sub-rantau LP, dengan peratusan kekerapannya meningkat melebihi 13% (Jadual 2). Sama seperti kekerapan, keamatan hujan diurnal di sub-rantau LP adalah rendah

pada pagi sebelum meningkat sehingga melebihi 4.0 mm/jam pada petang (sama seperti keamatan hujan pada waktu petang di sub-rantau PT) (Jadual 3). Ini mencadangkan bahawa hujan monsun adalah tertumpu di kawasan pesisir pantai timur semenanjung pada waktu pagi sebelum meluas sehingga ke sub-rantau LP pada waktu petang. Di barat semenanjung (sub-rantau PB dan KBT), peratusan kekerapan hujan diurnal adalah rendah (<5%) yang kemudiannya meningkat melebihi 10%, terutamanya di sub-rantau KBT pada waktu petang (Jadual 2).

Semasa monsun barat daya, kekerapan hujan diurnal secara amnya berkurangan di seluruh Semenanjung Malaysia. Pengurangan ini termasuklah kejadian hujan pagi maksimum di sub-rantau PB (< 7%) (Jadual 2). Walau bagaimanapun, keamatan hujan pagi maksimum adalah tinggi dengan bacaan yang melebihi 4 mm/jam pada 02:00 MST hingga 08:00 MST. Ini menggambarkan peristiwa perambatan SSL ke sub-rantau PB adalah peristiwa hujan diurnal yang melampau, namun dengan kekerapan yang rendah. Di bahagian terlindung angin Banjaran Titiwangsa (sub-rantau LP dan PT) pula mencatatkan kekerapan hujan sederhana (~ 10%) dengan

JADUAL 2. Kekerapan hujan (%) pada jam terpilih di 4 sub-rantau kitaran hujan diurnal Semenanjung Malaysia

Musim	Jam (MST)	PB (%)	KBT (%)	LP (%)	PT (%)
DJF	02:00	3.5	4.3	7.6	13.2
	05:00	3.0	3.7	8.9	13.5
	08:00	2.8	2.8	8.8	13.1
	11:00	1.9	2.1	9.2	13.9
	14:00	3.3	6.6	13.5	13.2
	17:00	7.7	14.1	13.2	13.0
	20:00	6.3	12.6	9.1	10.2
	23:00	3.7	5.8	7.8	10.8
MAM	02:00	4.2	4.6	3.3	4.9
	05:00	4.4	3.5	3.1	4.7
	08:00	4.5	2.0	2.9	4.3
	11:00	2.8	1.5	2.0	3.1
	14:00	3.8	9.5	9.1	4.9
	17:00	7.7	19.0	11.2	6.3
	20:00	8.6	16.6	7.1	6.0
	23:00	5.7	10.2	4.7	5.2
JJO	02:00	5.3	3.7	2.7	5.5
	05:00	7.6	4.0	2.8	3.9
	08:00	6.9	3.7	2.2	2.5
	11:00	4.8	2.4	1.7	1.6
	14:00	4.4	4.6	4.6	4.2
	17:00	4.6	11.1	9.4	9.3
	20:00	5.2	8.9	8.8	9.1
	23:00	4.8	6.6	4.7	7.3
SON	02:00	7.3	7.1	6.1	11.8
	05:00	9.0	6.3	4.7	10.5
	08:00	7.3	4.4	4.5	8.0
	11:00	5.3	2.6	2.5	7.5
	14:00	6.4	14.2	8.7	8.6
	17:00	10.5	21.6	14.1	13.4
	20:00	11.2	19.1	11.2	13.0
	23:00	8.4	15.4	8.0	12.3

keamatan hujan melebihi 4 mm/jam pada waktu petang. Joseph et al. (2008) menyifatkan kejadian hujan petang di sub-rantau ini adalah disebabkan oleh pertembungan antara gelombang gunung dan perenggan bayu laut di sub-rantau LP yang kemudiannya merambat ke sub-rantau PT pada lewat petang.

Semasa musim peralihan monsun (MAM dan SON), sub-rantau KBT yang terdedah kepada sistem perolakan tempatan yang kuat, mencatatkan kekerapan hujan yang paling tinggi dengan peratusan sekitar 20% pada 17:00 MST dan 20:00 MST (Jadual 2). Sebagai perbandingan, bagi sub-rantau PB dan LP, walaupun kekerapan hujan adalah tinggi pada waktu petang, namun kekerapannya adalah jauh lebih rendah (kurang daripada 15%) berbanding di sub-rantau KBT. Sama seperti kekerapan, keamatan hujan diurnal pada waktu petang di sub-rantau PB dan LP adalah sekitar 4 mm/jam berbanding melebihi 5 mm/jam di sub-rantau KBT (Jadual 3). Ini menggambarkan bahawa jumlah hujan yang tinggi pada waktu petang di sub-rantau KBT adalah dipengaruhi oleh kekerapan dan keamatan hujan yang tinggi pada waktu tersebut.

Sub-rantau PB pula memperlihatkan dua tempoh keamatan hujan maksimum semasa SON, iaitu pada 02:00 MST ke 08:00 MST dan 14:00 MST ke 20:00 MST. Ini menggambarkan hujan diurnal di sub-rantau PB adalah dipengaruhi oleh perambatan SSL pada waktu pagi dan hujan perolakan pada petangnya.

#### ANGIN PERMUKAAN

Sebagai kawasan yang dikelilingi laut, kesan bayu laut dan bayu darat ke atas corak tiupan angin permukaan adalah besar (Abu Samah & Joo Tick 2004; Jamaluddin et al. 2017; Lim 1979). Pada keadaan petang yang terik cahaya matahari, bayu laut dengan kelajuan maksimum 5 m/s selalunya terjadi dan bayu ini boleh mencapai beberapa puluh kilometer ke kawasan pedalaman semenanjung (Nieuwulf 1968; Oki & Musiaka 1979; Ramage 1964). Pada waktu malam, proses sebaliknya berlaku dengan bayu darat yang lebih lemah kelajuannya berbanding bayu laut boleh terjadi di kawasan pesisiran pantai. Rajah 4 memaparkan halaju angin permukaan secara reruag pada jam-jam terpilih di Semenanjung Malaysia.

JADUAL 3. Keamatan hujan (mm/jam) pada jam terpilih di 4 sub-rantau kitaran hujan diurnal Semenanjung Malaysia

Musim	Jam (MST)	PB (mm/jam)	KBT (mm/jam)	LP (mm/jam)	PT (mm/jam)
DJF	02:00	2.5	1.8	2.9	3.8
	05:00	2.6	2.1	2.8	4.2
	08:00	2.5	2.0	2.9	3.9
	11:00	2.0	1.7	3.2	3.8
	14:00	3.0	3.6	3.6	4.0
	17:00	5.0	5.4	4.6	4.1
	20:00	3.5	4.0	3.5	3.6
	23:00	2.4	2.4	3.1	3.5
MAM	02:00	3.9	2.7	3.5	3.1
	05:00	4.1	2.5	3.0	3.0
	08:00	4.0	2.6	3.1	2.5
	11:00	3.3	2.9	2.9	3.0
	14:00	4.3	5.4	4.7	3.5
	17:00	6.0	6.9	5.9	4.1
	20:00	4.1	4.9	4.5	3.0
	23:00	3.2	2.7	3.9	3.6
JJA	02:00	4.5	2.1	3.1	2.2
	05:00	4.8	2.5	2.9	1.8
	08:00	4.6	2.6	2.4	2.0
	11:00	4.0	3.2	2.8	2.0
	14:00	3.3	4.2	4.1	4.4
	17:00	2.8	4.8	5.1	5.5
	20:00	2.7	3.6	4.6	4.9
	23:00	3.1	1.9	3.4	3.6
SON	02:00	4.0	2.1	2.6	3.3
	05:00	4.6	2.4	2.9	3.0
	08:00	4.1	2.2	1.6	3.1
	11:00	3.4	2.9	2.4	3.1
	14:00	4.5	5.3	4.3	4.0
	17:00	5.1	6.8	5.5	5.1
	20:00	3.8	5.5	4.6	4.3
	23:00	2.8	2.3	3.5	3.7

Semasa monsun timur laut, sub-rantau PT yang terdedah secara terus kepada angin monsun telah menyebabkan angin permukaannya berayun pada arah yang sama sepanjang hari (Rajah 4(a)-4(d)). Angin permukaan seterusnya terbias ke arah selatan dengan kelajuan yang berkurangan di utara sub-rantau LP, akibat daripada halangan Banjaran Titiwangsa di tengah semenanjung (Rajah 4(a)-4(d)) (Tangang et al. 2008). Kawasan terlindung angin Banjaran Titiwangsa (iaitu di sub-rantau PB dan KBT) pula mengalami keadaan yang berbeza. Angin barat yang berhubung-kait dengan bayu laut mendominasi arah angin di sub-rantau PB dan KBT pada 14:00 MST dan 20:00 MST. Berbeza dengan bayu laut, kejadian bayu darat didapati kuat pada jam 02:00 MST sehingga 08:00 MST dengan beberapa kawasan di pantai barat semenanjung (sub-rantau PB dan KBT) mencatatkan kelajuan purata yang melebihi 4 m/s (Rajah 4(a)-4(b)).

Semasa monsun barat daya, angin monsun di paras 850 hPa lazimnya berarah barat daya berbanding arah tenggara pada paras permukaan di Semenanjung Malaysia (Jamaluddin et al. 2017; Lim 1979). Perbezaan arah angin monsun ini disebabkan oleh kedudukan palung hampir-khatulistiwa yang berganjak ke arah utara pada paras troposfera yang lebih rendah (Atkinson & Ramage 1991; Atkinson & Sadler 1970; Harris et al. 1969). Secara keseluruhannya, angin permukaan di Semenanjung Malaysia didominasi oleh bayu laut yang berarah selatan (melebihi 40% daripada keseluruhan arah angin) dengan kelajuan maksimum yang mencecah 5.5 m/s (tidak ditunjukkan). Interaksi antara daya kecerunan tekanan permukaan dan angin monsun tenggara pada petang menyebabkan angin permukaan di barat semenanjung terbias menjadi bayu laut yang berarah selatan (Jamaluddin et al. 2017; Lim 1979). Bayu laut berarah selatan ini adalah kuat pada 14:00 MST sebelum mengurang pada 20:00 MST (Rajah 4(k)-4(l)). Sama seperti bayu laut, bayu darat adalah jelas kelihatan di seluruh Semenanjung Malaysia. Bayu darat yang diperkuatkan oleh angin monsun barat daya (dengan kelajuan purata yang mencapai 2 m/s) dapat diperhatikan di sub-rantau LP dan PT pada 02:00 MST dan 08:00 MST (Rajah 4(i)-4(j)).

Semasa musim peralihan monsun, angin permukaan adalah lemah pada waktu malam dan pagi dan mempunyai komponen ke arah laut, manakala pada siang hari, kelajuan angin meningkat dengan cepat dan mempunyai komponen ke arah darat (Rajah 4(e)-4(h) & Rajah 4(m)-4(p)) (Abu Samah & Joo Tick 2004). Tanpa pengaruh angin monsun, daya kecerunan tekanan permukaan yang terbentuk selari dengan garis pantai pada waktu petang dan awal pagi berperanan mengubah arah bayu laut-darat ke arah yang berserenjang dengan garis pantai (Jamaluddin et al. 2017; Lim 1979). Pada petang, sub-rantau PB mengalami bayu laut berarah barat/barat daya berbanding timur/timur laut di sub-rantau PT (Rajah 4(g), 4(h), 4(o) dan 4(p)). Sebaliknya, pada awal pagi, angin permukaan (bayu darat) berubah ke timur/timur laut di sub-rantau PB berbanding barat/barat daya di sub-rantau PT (Rajah 4(e), 4(f), 4(m) dan 4(n)). Di pedalaman semenanjung (sub-rantau KBT

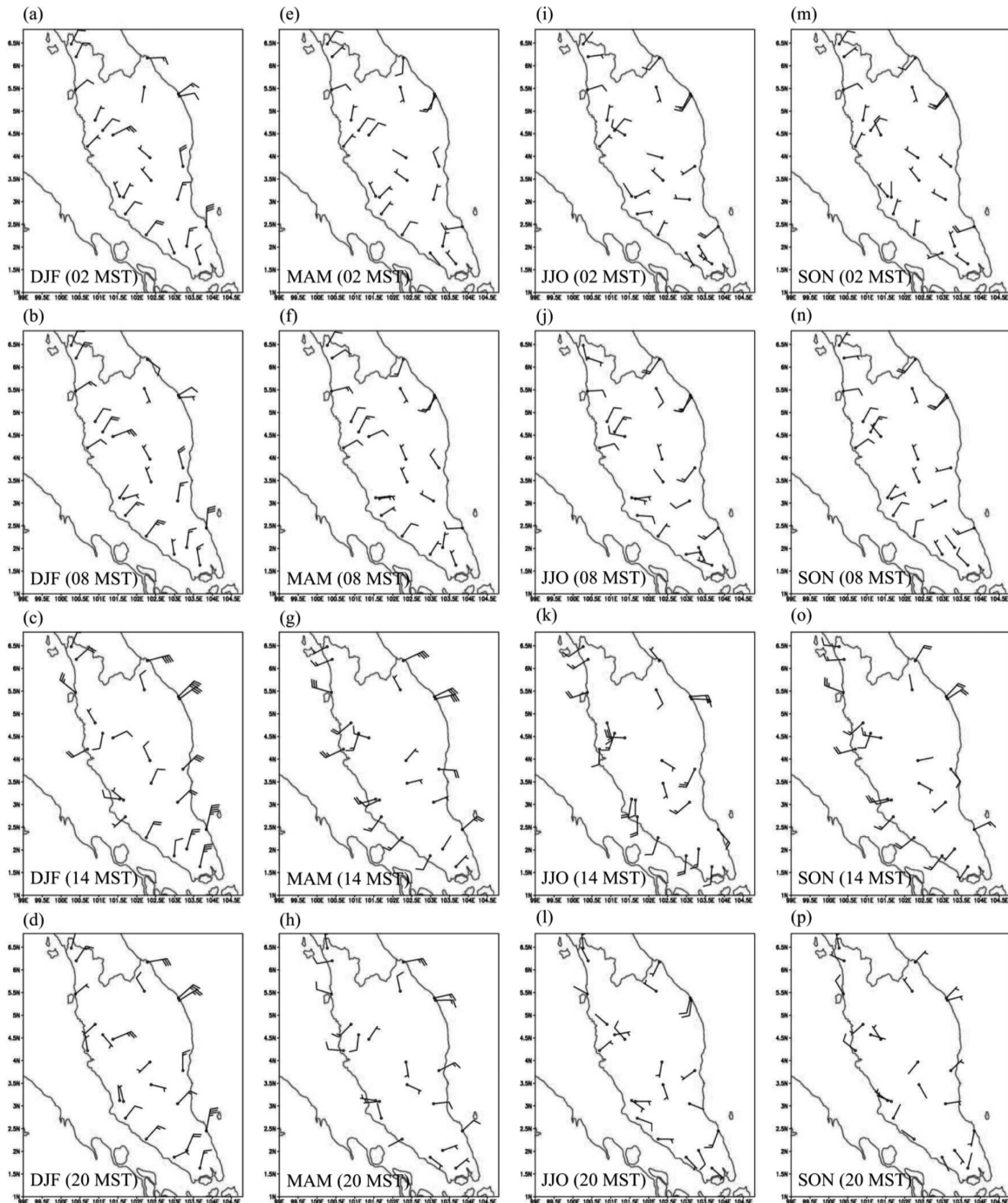
dan LP), arah angin permukaan secara relatifnya sama seperti di persisiran pantai, namun dengan kelajuan angin yang berkurangan.

#### PERANAN BAYU LAUT-DARAT TERHADAP KERAGAMAN HUJAN DIURNAL

Analisis pengelompokan di bahagian atas menunjukkan terdapatnya beberapa peristiwa hujan diurnal yang dapat dihubungkan dengan bayu laut-darat, antaranya; hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun di barat semenanjung (sub-rantau KBT dan PB); keadaan yang kering pada petang semasa monsun barat daya di barat semenanjung (sub-rantau KBT dan PB); hujan lebat yang konsisten sepanjang hari semasa monsun timur laut di sub-rantau PT; hujan renyai yang kemudiannya bertukar menjadi lebat pada waktu petang di sub-rantau LP semasa monsun timur laut; dan hujan pagi maksimum semasa monsun barat daya dan SON di sub-rantau PB. Kajian lepas (Jamaluddin et al. 2017; Oki & Musiaka 1994; Ramage 1964; Richard 2010) mencadangkan bahawa pengangkutan kelembapan oleh bayu laut-darat sebagai faktor utama yang mencorak taburan hujan diurnal di rantau ini. Dalam seksyen ini, peranan bayu laut-darat dalam memodulasi corak taburan hujan diurnal di Semenanjung Malaysia diuraikan lebih lanjut. Sebagai maklumat tambahan kepada angin permukaan diurnal (seperti ditunjukkan pada perenggan sebelum ini), angin mendarat dari permukaan sehingga 2100 m tinggi pada 02:00 MST, 08:00 MST, 14:00 MST dan 20:00 MST di Bayan Lepas dan Sepang (pantai barat semenanjung) dan Kota Bharu serta Kuantan (pantai timur semenanjung) diplotkan (Rajah 5). Dalam rajah ini, pemilihan pelbagai aras ketinggian adalah bertujuan melihat pengaruh monsun terhadap kedalaman dan halaju bayu laut-darat tempatan. Sebagai contoh, semasa musim peralihan monsun (MAM), pada jam 14:00 MST (Rajah 5(a)), angin barat daya (bayu laut) adalah dominan dari permukaan sehingga ketinggian 900 m, manakala angin di atas 1200 m menunjukkan aliran kembali bayu laut.

*Hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun di barat semenanjung* Pada pagi (02:00 MST dan 08:00 MST) semasa musim peralihan monsun (MAM dan SON), kawasan di barat semenanjung mengalami angin permukaan yang lemah (sekitar 0.5 m/s) dan pelbagai hala (Rajah 4). Namun begitu, pada ketinggian yang melebihi 1200 m, halaju angin adalah lebih konsisten (> 2 m/s) dengan angin timur laut semasa MAM dan barat daya semasa SON (Rajah 5). Pada sebelah petang (14:00 MST dan 20:00 MST), ciri angin berubah seiring dengan penukaran bayu darat ke bayu laut. Kawasan di pantai barat semenanjung mengalami angin permukaan barat/barat daya yang kuat (> 3.0 m/s) berbanding purata musiman JJO dengan kelajuan sekitar 2 m/s (Rajah 4). Hubungan songsang kelajuan bayu laut semasa monsun dan tanpa pengaruh monsun ini juga dapat diperhatikan di kepulauan Borneo dan Jawa (Qian 2008; Qian et al. 2012, 2010).





RAJAH 4. Komposit angin permukaan pada jam terpilih di Semenanjung Malaysia. Musim dan jam ditunjukkan di sebelah kiri bawah setiap peta komposit. Cangkuk angin penuh menunjukkan kelajuan angin 2 m/s, separuh 1 m/s dan tiada cangkuk angin kurang daripada 1 m/s

Namun begitu, pada ketinggian melebihi 1200 m, bayu laut didapati melemah (sekitar 1 m/s) berbanding purata musiman JJO dengan kelajuan sekitar 5 m/s (Rajah 5). Pengurangan kelajuan bayu laut dengan ketinggian semasa musim peralihan monsun ini menggalakkan ricih angin menegak di rantauan tersebut (Jamaluddin et al. 2017; Lim 1979). Selain itu, pada waktu petang, kedalaman arah angin dari Selat Melaka (bayu laut) didapati meningkat berbanding pada pagi (Rajah 5). Ini mempromosikan

lebih pengangkutan kelembapan dari Selat Melaka ke rantauan tersebut.

*Keadaan yang kering pada petang semasa monsun barat daya di barat semenanjung* Semasa JJO, angin monsun pada troposfera rendah di Semenanjung Malaysia adalah tenggara, iaitu selari dengan garis pantai (Rajah 4) (Atkinson & Sadler 1970; Harris et al. 1969; Jamaluddin et al. 2017; Masseran & Razali 2016;). Walau bagaimanapun,

pada petang (14:00 MST dan 20:00 MST), interaksi antara daya kecerunan tekanan permukaan yang berarah barat daya dan angin monsun yang berarah tenggara menyebabkan tiupan bayu laut bertukar arah kepada selatan. Jamaluddin et al. (2017) menunjukkan bahawa tiupan bayu laut berarah selatan ini bergerak selari dengan Banjaran Titiwangsa. Ini telah menyebabkan aliran udara terpecah kepada dua komponen, iaitu bergerak selari dengan banjaran dan satu lagi bergerak menaik ke puncak banjaran. Pecahan komponen angin ini meningkatkan pencapahan kelembapan yang seterusnya memodulasi keadaan yang lebih kering di barat semenanjung. Selain itu, angin permukaan yang lemah (sekitar 2 m/s), namun sangat kuat (> 5 m/s) pada ketinggian yang melebihi 1200 m (Rajah 4 & 5) mempromosikan ricih angin ke troposfera bawah (Jamaluddin et al. 2017). Rajah skematik peranan bayu laut terhadap hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun dan keadaan yang lebih kering semasa monsun barat daya di barat semenanjung ditunjukkan pada Rajah 6(a) dan Rajah 6(b).

*Hujan lebat yang konsisten sepanjang hari di sub-rantauan PT dan hujan renyai yang kemudiannya bertukar menjadi lebat pada waktu petang di sub-rantauan LP semasa monsun timur laut* Terdapat perbezaan yang ketara corak taburan hujan diurnal antara sub-rantauan LP dan PT semasa monsun timur laut (Rajah 3 & Jadual 3). Walaupun kedua-dua sub-rantauan mengalami hujan sepanjang hari, hujan petang maksimum hanya berlaku di sub-rantauan LP. Pada waktu petang (14:00 MST dan 20:00 MST), bayu laut yang dipertingkatkan kekuatannya dengan kehadiran angin monsun bertindak memperluaskan halangan orografik (iaitu kawasan yang mengalami kelajuan nyahpecutan angin monsun timur laut) ke sub-rantauan LP (Rajah 4 & 5). Peluasan halangan orografik ini menyebabkan penumpuan kelembapan meluas sehingga ke sub-rantauan LP (Jamaluddin et al. 2017; Ooi et al. 2011; Richard 2010). Sebaliknya, pada waktu pagi (02:00 MST dan 08:00 MST), hadangan angin monsun timur laut oleh bayu darat mengurangkan keluasan hadangan orografik. Ini menyebabkan hujan diurnal dihadkan ke sub-rantauan PT (Rajah 4 & 5). Rajah skematik peranan bayu darat dan bayu laut terhadap corak taburan hujan diurnal semasa monsun timur laut di timur semenanjung (sub-rantauan PT dan LP) ditunjukkan pada Rajah 6(c) dan Rajah 6(d).

*Hujan pagi maksimum semasa monsun barat daya dan SON di sub-rantauan PB* Hujan pagi maksimum semasa Jun sehingga November (JJASON) di sub-rantauan PB dianalisis dengan membandingkan corak bayu darat di pantai barat semenanjung (Bayan Lepas dan Sepang) semasa MAM, dan monsun barat daya serta SON (JJASON) (Rajah 5). Kajian lepas (Jamaluddin et al. 2017; Lo & Orton 2016) menyatakan bahawa pembentukan SSL lazimnya bermula pada awal pagi (sekitar 02:00 MST) di Selat Melaka sebelum menguat dan merambat ke persisir pantai barat semenanjung pada lewat paginya. Rajah 5 memperlihatkan bayu darat adalah menguat pada 02:00 MST semasa MAM

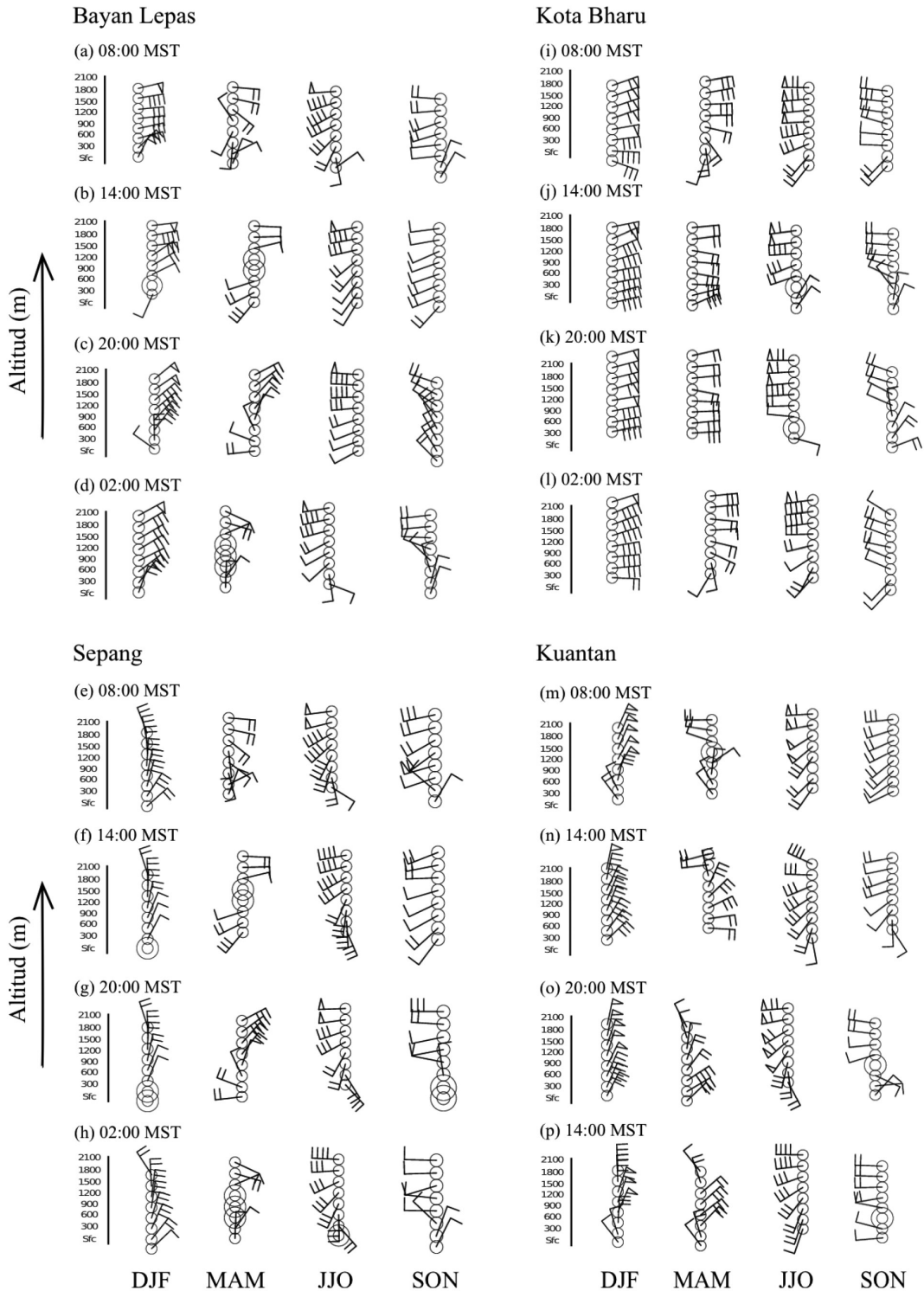
dan JJASON sebelum mulai melemah pada 08:00 MST. Menariknya, pada 08:00 MST, perbezaan arah angin pada ketinggian melebihi 1200 m adalah ketara antara kedua musim iaitu, angin timuran semasa MAM berbanding angin baratan semasa JJASON. Ini menggambarkan keperluan angin baratan pada aras troposfera yang lebih tinggi (> 1200 m) bagi membantu menggerakkan sistem perolakan SSL ke persisiran pantai barat semenanjung. Rajah skematik peranan bayu darat terhadap pembentukan dan perambatan SSL semasa JJASON ditunjukkan pada Rajah 6(e) dan Rajah 6(f).

#### RINGKASAN DAN KESIMPULAN

Kajian ini membincangkan klimatologi dan keragaman bermusim kitaran hujan diurnal dan bayu laut-darat di Semenanjung Malaysia. Ini merangkumi penggunaan data hujan dan angin yang lebih meluas berbanding kajian terdahulu (Niuewolt 1968; Oki & Musiaka 1994; Ramage 1964; Richard 2010). Di samping itu, pengelompokan sub-rantauan kitaran hujan diurnal di Semenanjung Malaysia telah dipecahkan kepada 4 sub-rantauan (berbanding 3 bagi kajian terdahulu) dengan setiap sub-rantauan memaparkan ciri-ciri kitaran hujan diurnal yang unik dan tersendiri. Setiap sub-rantauan didapati masih mengekalkan ciri-ciri keseragaman antara stesen, walaupun bilangan sub-rantauan bertambah.

Kitaran hujan diurnal di Semenanjung Malaysia adalah berbeza antara musim dan sub-rantauan. Secara keseluruhannya terdapat 4 peristiwa unik hujan diurnal yang dapat dikenal pasti di Semenanjung Malaysia iaitu; hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun di sub-rantauan KBT; hujan lebat yang konsisten sepanjang hari semasa monsun timur laut di sub-rantauan PT; hujan renyai yang kemudiannya bertukar menjadi lebat pada waktu petang di sub-rantauan LP semasa monsun timur laut; dan hujan pagi maksimum semasa monsun barat daya dan SON di sub-rantauan PB. Sejajar dengan 4 peristiwa hujan diurnal tersebut, analisis kekerapan dan keamatan hujan diurnal menunjukkan bahawa: kejadian hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun di sub-rantauan KBT adalah lebat dan sering berlaku; kejadian hujan sepanjang hari di sub-rantauan PT semasa monsun timur laut adalah lebat dan sering berlaku; kejadian hujan sepanjang hari di sub-rantauan LP semasa monsun timur laut adalah rendah walaupun hujan lebat sering berlaku pada petangnya; dan kejadian SSL di sub-rantauan PB semasa JJASON merupakan kejadian hujan yang melampau namun kekerapannya adalah rendah.

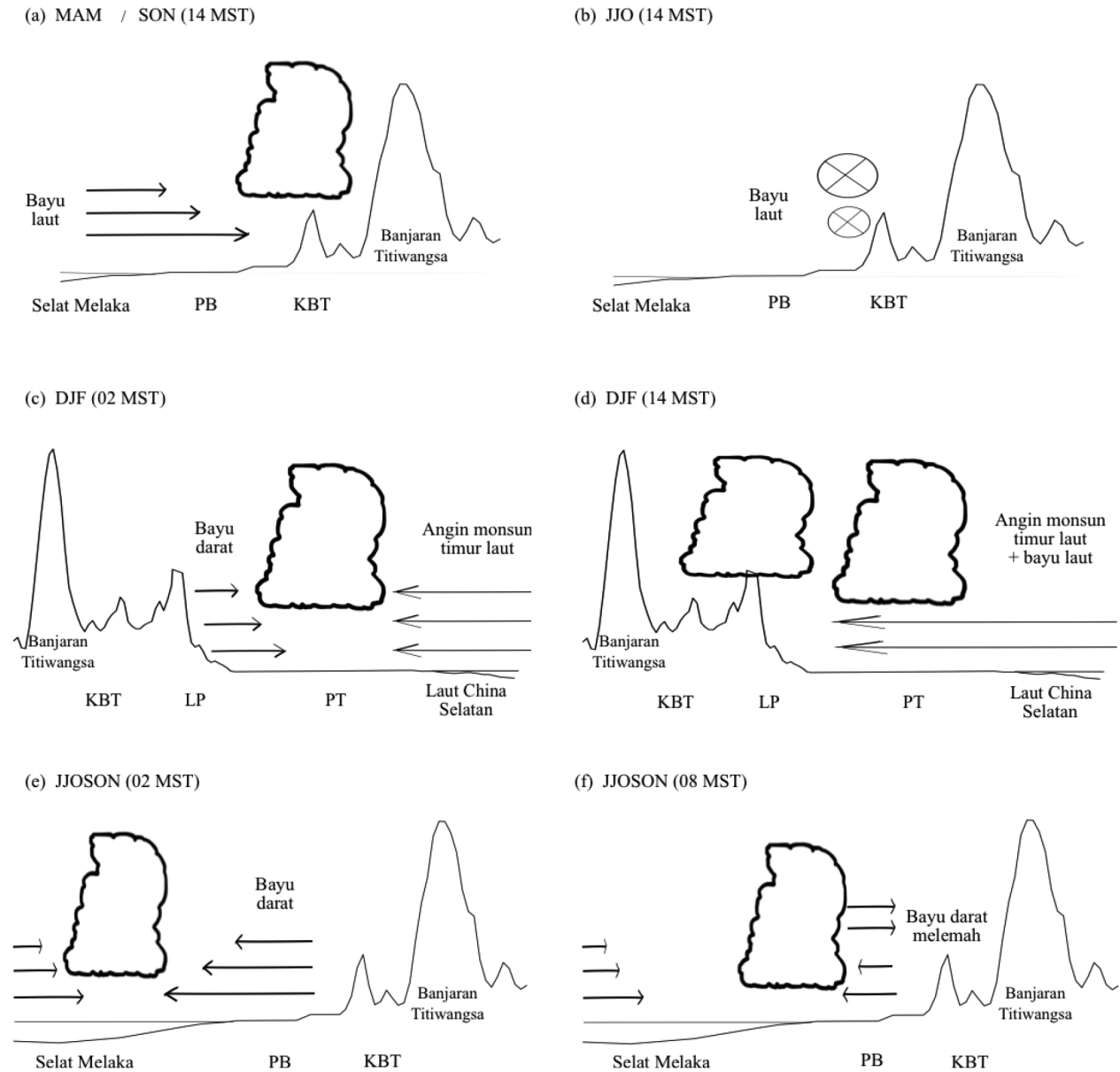
Bayu laut merupakan antara faktor utama yang mencorak taburan hujan diurnal pada waktu petang di Semenanjung Malaysia. Semasa musim peralihan monsun, bayu laut menjadi dominan (Jamaluddin et al. 2017; Qian 2008; Qian et al. 2012, 2010), dengan kelajuan angin permukaan adalah kuat berbanding lemah pada aras yang lebih tinggi (>1200 m). Ini meningkatkan penumpuan kelembapan dan ricih angin menegak, seterusnya membantu perolakan yang lebih kuat di barat semenanjung. Sebaliknya, kombinasi angin



RAJAH 5. Komposit profil menegak angin mendatar dari permukaan ke 2100 m (a) - (h) di pantai barat (stesen Bayan Lepas dan Sepang) dan (i) - (p) di pantai timur semenanjung (stesen Kota Bharu dan Kuantan) pada 02:00 MST, 08:00 MST, 14:00 MST dan 20:00 MST. Cangkuk angin menunjukkan kelajuan 1 m/s, segitiga 5 m/s dan bulatan besar kurang daripada 0.5 m/s. Data angin 08:00 MST dan 20:00 MST diperolehi daripada pencerapan radiosonde, manakala 02:00 MST dan 14:00 MST daripada belon pilot

monsun barat daya dan bayu laut menyebabkan kelajuan angin permukaan secara relatifnya lemah berbanding kuat pada aras yang lebih tinggi. Ini menyebabkan ricih angin bergerak ke bawah dan menghalang perolakan daripada terjadi. Berbeza semasa monsun timur laut, luluran angin

sejuk dan bayu laut menyebabkan kelajuan angin adalah sekata pada permukaan sehingga ke aras yang lebih tinggi (>1200 m) di timur semenanjung. Ini menyebabkan zon perolakan yang tertumpu di pantai timur semenanjung pada pagi meluas sehingga ke sub-rantauan LP pada waktu petang.



RAJAH 6. Rajah skematik peranan bayu laut di pantai barat semenanjung terhadap (a) hujan petang maksimum semasa musim peralihan monsun, dan (b) keadaan yang lebih kering semasa monsun barat daya. Semasa monsun timur laut, peranan (c) bayu darat dan (d) bayu laut terhadap corak taburan hujan diurnal di pantai timur semenanjung. Seterusnya, (e)-(f) memaparkan peranan bayu darat terhadap pembentukan dan perambatan SSL semasa Jun-Julai-Ogos-September-Oktober-November di pantai barat semenanjung. Bulatan berpangkah menunjukkan gerakan angin menjauhi pembaca

#### PENGHARGAAN

Kami berterima kasih kepada Jabatan Meteorologi Malaysia kerana menyediakan pelbagai data meteorologi Semenanjung Malaysia bagi kajian ini. Penyelidikan ini juga ditaja oleh dana Universiti Penyelidikan Universiti Kebangsaan Malaysia ICONIC-2013-001 dan DIP-2017-008.

#### RUJUKAN

- Abdul, H. & Mapjabil, J. 2017. Landslides disaster in Malaysia: An overview. *Health and the Environment Journal* 8(1): 58-71.
- Abu Samah, A. & Joo Tick, L. 2004. *Weather and Climate of Malaysia*. Kuala Lumpur: University of Malaya Press.
- Ahamad, F., Latif, M.T., Tang, R., Juneng, L., Dominick, D. & Juahir, H. 2014. Variation of surface ozone exceedance around Klang Valley, Malaysia. *Atmospheric Research* 139: 116-127.
- Aldrian, E. 2001. Pembagian iklim Indonesia berdasarkan pola curah hujan dengan metoda 'double correlation'. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca* 2(1): 11-18.
- Aldrian, E. 1999. Division of climate type in Indonesia based on rainfall pattern. *Oceanica-Journal of Marine Science and Technology BPPT* 5: 165-171.



- Aldrian, E. & Dwi Susanto, R. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology* 23(12): 1435-1452.
- Atkinson, G. & Ramage, C. 1991. *Forecaster's Guide to Tropical Meteorology*. 2nd ed. Air Weather Service. Technical Report 240.
- Atkinson, G.D. & Sadler, J.C. 1970. Mean cloudiness and gradient-level wind charts over the tropics. Volume I: Part A. Monthly resultant gradient-level wind. Part B. Average monthly cloudiness. Techreport, Air Weather Service, (Scott AFB, Ill).
- Becker, E.J. 2009. The frequency distribution of daily precipitation over the United States. PhD(Tesis). University of Maryland (Tidak diterbitkan).
- Dominick, D., Juahir, H., Latif, M.T., Zain, S.M. & Aris, A.Z. 2012. Spatial assessment of air quality patterns in Malaysia using multivariate analysis. *Atmospheric Environment* 60: 172-181.
- Gong, X. & Richman, M.B. 1995. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America east of the Rockies. *Journal of Climate* 8(4): 897-931.
- Harris, B.E., Sadler, J.C., Brett, W.R., Ho, F.P. & others. 1969. Role of the synoptic scale on convection over Southeast Asia during the summer monsoon. Techreport (No. HIG-69-7), Hawaii Institute of Geophysics, Honolulu.
- Jaafar, M., Abdul Halim, Y. & Asiah, Y. 2011. Analisis tahap kebolehruntuhan tanah dengan menggunakan skala ROM: Kajian di kampus Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi. *Geografia - Malaysian Journal of Society and Space* 7(3): 45-55.
- Jamaluddin, A.F., Tangang, F., Chung, J.X., Juneng, L., Sasaki, H. & Takayabu, I. 2017. Investigating the mechanisms of diurnal rainfall variability over Peninsular Malaysia using the non-hydrostatic regional climate model. *Meteorology and Atmospheric Physics* doi:10.1007/s00703-017-0541-x.
- Joseph, B., Bhatt, B.C., Koh, T.Y. & Chen, S. 2008. Sea breeze simulation over the Malay Peninsula in an intermonsoon period. *Journal of Geophysical Research* 113(D20): D20122.
- Lim, J.T. 1979. Characteristics of the winter monsoon over the Malaysian region. PhD(Tesis). University of Hawaii (Tidak diterbitkan).
- Lo, J.C.F. & Orton, T. 2016. The general features of tropical Sumatra Squalls. *Weather* 71(7): 175-178.
- Loh, J.L., Tangang, F., Juneng, L., Hein, D. & Lee, D.I. 2016. Projected rainfall and temperature changes over Malaysia at the end of the 21st century based on PRECIS modelling system. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 52(2): 191-208.
- Masseran, N. & Razali, A.M. 2016. Modeling the wind direction behaviors during the monsoon seasons in Peninsular Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56: 1419-1430.
- McKenna, J.E. 2003. An enhanced cluster analysis program with bootstrap significance testing for ecological community analysis. *Environmental Modelling and Software* 18(3): 205-220.
- Nieuwolt, S. 1968. Diurnal rainfall variation in Malaya. *Annals of the Association of American Geographers* 58(2): 313-326.
- Oki, T. & Musiakke, K. 1994. Seasonal change of the diurnal cycle of precipitation over Japan and Malaysia. *Journal of Applied Meteorology* 33: 1445-1463.
- Ooi, S.H., Samah, A.A. & Braesicke, P. 2011. A case study of the Borneo Vortex genesis and its interactions with the global circulation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 116(D21).
- Qian, J.H. 2008. Why precipitation is mostly concentrated over islands in the maritime continent. *Journal of the Atmospheric Sciences* 65(4): 1428-1441.
- Qian, J.H., Robertson, A.W. & Moron, V. 2012. Diurnal cycle in different weather regimes and rainfall variability over Borneo associated with ENSO. *Journal of Climate* 26: 1772-1790.
- Qian, J.H., Robertson, A.W. & Moron, V. 2010. Interactions among ENSO, the monsoon, and diurnal cycle in rainfall variability over Java, Indonesia. *Journal of the Atmospheric Sciences* 67(11): 3509-3524.
- Ramage, C.S. 1964. Diurnal variation of summer rainfall of Malaya. *J. Tropical Geogr.* 19: 62-68.
- Ramella, P.L., Haimberger, L. & Stickler, A. 2014. A global radiosonde and tracked balloon archive on 16 pressure levels (GRASP). Part 1: Merging and interpolation to 00:00 and 12:00 GMT. *Earth System Science Data* 6(1): 185-200.
- Richard, S.S. 2010. The diurnal variations of rainfall and winds over Malaysia. PhD. Thesis. University of Hawaii at Manoa (Tidak diterbitkan).
- Santos, E.B., Lucio, P.S. & Silva, C.M.S. 2014. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. *Atmospheric Science Letters* 192(2014): 185-192.
- Siew, J.H., Tangang, F.T. & Juneng, L. 2014. Evaluation of CMIP5 coupled atmosphere-ocean general circulation models and projection of the Southeast Asian winter monsoon in the 21st century. *International Journal of Climatology* 34(9): 2872-2884.
- Suhaila, J., Deni, S.M., Zin, W.Z.W. & Jemain, A.A. 2010. Spatial patterns and trends of daily rainfall regime in Peninsular Malaysia during the southwest and northeast monsoons: 1975-2004. *Meteorology and Atmospheric Physics* 110(1): 1-18.
- Tangang, F.T., Juneng, L., Salimun, E., Vinayachandran, P.N., Seng, Y.K., Reason, C.J.C., Behera, S.K. & Yasunari, T. 2008. On the roles of the northeast cold surge, the Borneo vortex, the Madden-Julian Oscillation, and the Indian Ocean Dipole during the extreme 2006/2007 flood in southern Peninsular Malaysia. *Geophysical Research Letters* 35: 1-6.
- Wilks, D.S. 2006. Hypothesis testing. Dlm. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, disunting oleh Wilks, D. GEN: Academic. hlm. 131-176.
- Wyrтки, K. 1956. The rainfall over the Indonesian waters. *Lembaga Meteorologi dan Geofisik, Verhand.* hlm. 49.
- Zhou, T., Yu, R., Chen, H., Dai, A. & Pan, Y. 2008. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations. *Journal of Climate* 21(16): 3997-4010.
- Ahmad Fairudz Jamaluddin, Fredolin Tangang\*, Wan Maisarah Wan Ibadullah  
Liew Juneng, Diong Jeong Yik & Ester Salimun  
Pusat Sains Bumi dan Alam Sekitar  
Fakulti Sains dan Teknologi  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

Ahmad Fairudz Jamaluddin, Wan Maisarah Wan Ibadullah, Diong  
Jeong Yik, Ambun Dindang & Muhammad Helmi Abdullah  
Jabatan Meteorologi Malaysia  
46667 Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: [tanggap@ukm.edu.my](mailto:tanggap@ukm.edu.my)

Diserahkan: 23 Jun 2018

Diterima: 19 Disember 2018