

SIKLUS DIURNAL CURAH HUJAN DI PULAU SULAWESI: DISTRIBUSI SPASIAL DAN MUSIMAN (DIURNAL CYCLE OF RAINFALL IN SULAWESI: SPATIAL AND SEASONAL DISTRIBUTION)

Dita Fatria Andarini*, Anis Purwaningsih
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
*e-mail: dita.fatria@lapan.go.id

Diterima : 22 November 2019; Direvisi : 14 Oktober 2020; Disetujui : 20 Oktober 2020

ABSTRACT

Indonesian Maritime Continent has a complex diurnal cycle of rainfall influenced by local conditions such as topography and coastline type, as well as its interaction with seasonal, inter-seasonal, annual, and inter-annual phenomena. Sulawesi Island is one of the major islands in Indonesia which has unique shape and size of island. Its annual rainfall pattern comprises of monsoonal, equatorial, and local patterns. The composite of hourly precipitation data from the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) throughout 2004–2018 in the period of December-January-February (DJF), March-April-May (MAM), June-July-August (JJA), and September-October-November (SON) were analyzed to understand the seasonal and spatial variability of the diurnal rainfall in Sulawesi. Based on the climatological analysis, each period shows the spatial variation of diurnal rainfall. The inland rainfall is characterized by afternoon to late evening rain (14:00–21:00 Central Indonesia Time/CIT) with the maximum intensity of approximately 1 mm/hour in the MAM period. Meanwhile the rainfall over the coastal area occurred at 22:00–06:00 CIT and reached a peak of 1.7 mm/hour in Tolo Bay at 03:00 CIT in MAM. The composite analysis reveals that the coastline and topography type affect the diurnal cycle of rainfall in Sulawesi with the varied rainfall propagation in each period. In the period of DJF, rainfall around center of Sulawesi Island (mountainous area) propagates to Tolo and Bone Bay. However, the rainfall moves to Tolo, Bone and Tomini Bay during MAM. Propagation of rainfall occurred in the center of island, then migrate to Tolo and Tomini Bay during JJA, while in the SON rainfall is persistent in the mountainous area near Gorontalo and propagates to ocean in the north of the island.

Keywords: *diurnal cycle, rainfall, composite, Sulawesi*

ABSTRAK

Benua Maritim Indonesia memiliki siklus diurnal curah hujan yang kompleks, baik dipengaruhi oleh kondisi lokal seperti topografi dan bentuk garis pantai, maupun interaksinya dengan fenomena baik musiman, antar-musiman, tahunan dan antar-tahunan. Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau besar di Indonesia yang mempunyai bentuk dan ukuran pulau yang unik serta pola curah hujannya yang terdiri dari pola monsun, equatorial, dan lokal. Untuk mengetahui variabilitas musiman dan spasial siklus diurnal curah hujan di Pulau Sulawesi, dilakukan analisis komposit data curah hujan perjam dari *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) sepanjang tahun 2004–2018 pada bulan Desember–Januari–Februari (DJF), Maret–April–Mei (MAM), Juni–Juli–Agustus (JJA) dan September–Oktober–November (SON). Hasil analisis klimatologi menunjukkan adanya variasi spasial curah hujan diurnal setiap musimnya. Curah hujan di darat diidentifikasi sebagai hujan sore hingga malam hari (pukul 14:00–21:00 WITA) dengan intensitas paling tinggi sebesar 1 mm/jam pada bulan MAM, sedangkan curah hujan di sekitar pantai terjadi pada pukul 22:00–06:00 WITA dengan intensitas paling tinggi mencapai 1,7 mm/jam pada pukul 03:00 WITA di Teluk Tolo pada bulan MAM. Hasil analisis komposit rata-rata curah hujan perjam menunjukkan bahwa bentuk garis pantai dan kondisi topografi berpengaruh terhadap siklus diurnal curah hujan di Pulau Sulawesi dengan arah propagasi

curah hujan dari darat menuju laut yang berbeda di setiap musimnya. Pada bulan DJF, curah hujan di daratan bagian tengah pulau bergerak menuju Teluk Tolo dan Bone, pada bulan MAM hujan bergerak menuju Teluk Tolo, Tomini dan Bone. Adapun pada periode musim JJA, hujan dari pegunungan bagian tengah pulau bergerak menuju Teluk Tolo dan Tomini, sedangkan pada bulan SON curah hujan terkonsentrasi di daratan bagian utara pulau dan bergerak menuju perairan bagian utara.

Kata kunci: siklus diurnal, curah hujan, komposit, Sulawesi

1. PENDAHULUAN

Siklus diurnal curah hujan merupakan salah satu bentuk konveksi yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap pola dan distribusi curah hujan di Benua Maritim Indonesia (BMI) (Yamanaka, 2016). Di wilayah tropis, curah hujan diurnal cenderung didorong oleh sirkulasi lokal seperti angin darat dan laut maupun angin gunung dan lembah (Qian *et al.*, 2008; Cosman & Horel, 2010). Adapun Yang & Slingo (2001) menyatakan bahwa sinyal diurnal curah hujan dipengaruhi oleh perbedaan yang jelas antara darat dan laut yang dicirikan oleh konveksi di darat pada siang atau sore hari dan konveksi di sekitar laut pada malam atau pagi hari.

Keunikan BMI menyebabkan siklus diurnal curah hujan tidak homogen untuk semua wilayah, tetapi dipengaruhi oleh kompleksitas kondisi lokal seperti ukuran dan bentuk pulau, kondisi topografi dan bentuk garis pantai (Ohsama *et al.*, 2001; Alfahmi *et al.*, 2019). Karakteristik siklus diurnal curah hujan di wilayah yang terdiri dari pegunungan akan berbeda dengan wilayah yang merupakan dataran rendah. Begitupun dengan bentuk garis pantai cekung akan memiliki karakteristik siklus diurnal curah hujan yang berbeda dengan pantai yang berbentuk garis lurus. Seperti di Selat Malaka, Pulau Sumatera, memiliki curah hujan yang lebih tinggi daripada di pulau kecil yang terletak di bagian utara selat, karena adanya pengaruh gabungan dari pegunungan dan lebar laut (Fujita *et al.*, 2010). Bentuk garis pantai cekung juga berpengaruh terhadap peningkatan curah hujan di lautan pada malam hari dan menghasilkan konvergensi angin darat yang lebih besar dibandingkan dengan garis pantai berbentuk lurus (Alfahmi *et al.*, 2019).

Adanya interaksi antara fenomena *seasonal*, *intra-seasonal* dan *inter-seasonal* terhadap kondisi lokal menyebabkan karakteristik siklus diurnal curah hujan semakin kompleks. Kajian mengenai karakteristik dan mekanisme siklus diurnal curah hujan dilakukan terutama di pulau-pulau besar di Indonesia seperti Pulau Sumatera (Mori *et al.*, 2004), Kalimantan (Ichikawa & Yasunari, 2005; Qian *et al.*, 2012), Jawa (Qian *et al.*, 2010) dan Papua (Ichikawa & Yasunari, 2007). Propagasi curah hujan di Pulau Kalimantan bergerak menuju *leeward side* pulau dengan dipengaruhi oleh angin monsun (Ichikawa & Yasunari, 2005). Adanya Pegunungan Jayawijaya yang membentang sepanjang Pulau Papua menyebabkan mekanisme siklus diurnal yang unik dan juga dipengaruhi angin baratan dan timuran (Ichikawa & Yasunari, 2007).

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau besar di Indonesia yang memiliki keunikan berupa ukuran lebar pulau yang kecil, bentuk pulau menyerupai huruf K, topografi yang terdiri dari pegunungan di bagian tengah dan utara pulau serta adanya tiga teluk di bagian tengah dan selatan. Topografi yang kompleks terutama di bagian tengah pulau ini menyebabkan variasi kondisi atmosfer yang tinggi dalam jarak yang pendek (Von & Gunawan, 2006). Secara umum, pola curah hujan di Pulau Sulawesi terdiri dari pola monsun, equatorial dan anti monsun (Aldrian & Susanto, 2003). Curah hujan di Pulau Sulawesi juga dipengaruhi oleh fenomena *inter-seasonal* seperti *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). ENSO berpengaruh terhadap variasi total curah hujan dan jumlah hari hujan di Sulawesi dan Maluku

baik secara spasial maupun musiman (Lestari *et al.*, 2016).

Secara umum, curah hujan diurnal di Pulau Sulawesi berupa hujan di darat yang terpusat di beberapa wilayah seperti daratan bagian tengah pulau, bagian selatan pulau dan sekitar Gorontalo yang terjadi pada sore hari. Adapun hujan di sekitar laut terjadi di Teluk Tolo, Bone, Tomini, dan Manado yang didominasi oleh hujan tengah malam (Alfahmi *et al.*, 2019). Kajian lainnya menunjukkan bahwa konveksi di Pulau Sulawesi bagian barat berpengaruh terhadap sistem curah hujan pagi hari di pantai timur Kalimantan (Ichikawa & Yasunari, 2005).

Keunikan Pulau Sulawesi baik kondisi lokalnya maupun interaksi fenomena *seasonal* dan *inter-seasonal* dengan kondisi lokal dapat memberikan respon tersendiri terhadap karakteristik dan mekanisme curah hujan diurnal. Dalam kajian ini akan dilakukan analisis pola distribusi spasial dan musiman siklus diurnal curah hujan di Pulau Sulawesi melalui analisis komposit dan *time slice* data curah hujan pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA) dan September-Oktober-November (SON), sehingga dapat diperoleh karakteristik siklus diurnal curah hujan baik spasial maupun temporalnya dan propagasi curah hujan diurnal pada setiap musimnya.

2 DATA DAN METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan per jam dari *Global Satellite Mapping of Precipitation* (GSMaP) tahun 2004-2018. GSMaP pada awalnya merupakan sebuah proyek penelitian yang diinisiasi oleh *Japan Science Technology Agency* (JST) pada tahun 2002 dengan tujuan untuk mengembangkan algoritma dalam menentukan curah hujan menggunakan

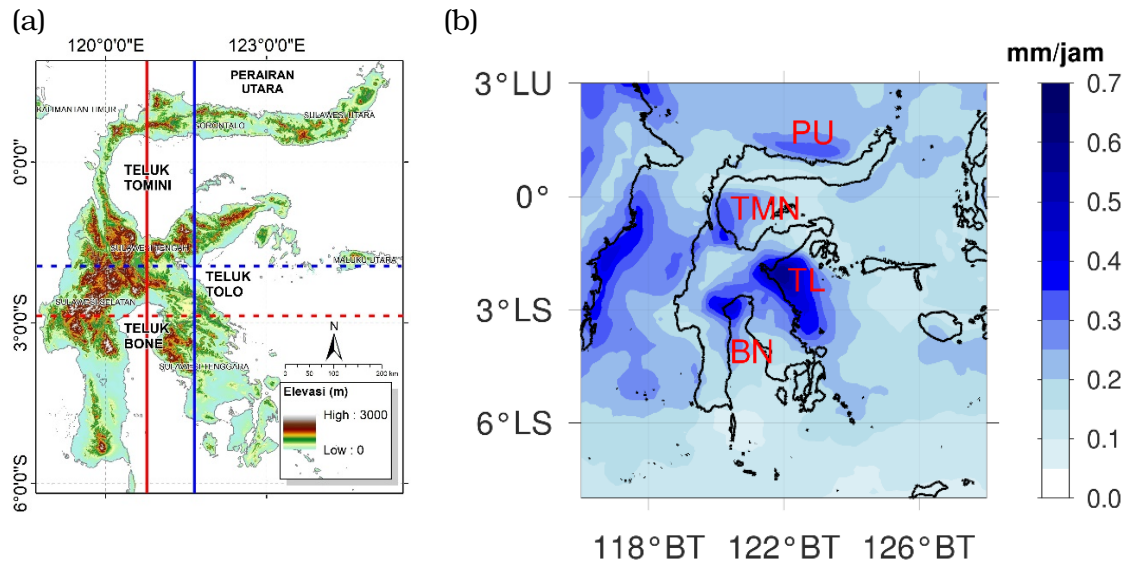
model fisis yang lebih akurat dan menghasilkan peta curah hujan global beresolusi tinggi dari data satelit (Ken'ichi *et al.*, 2005). Data GSMaP yang digunakan yaitu *near-real-time algorithm* (GSMaP NRT) dengan resolusi spasial $0,1^\circ \times 0,1^\circ$.

Untuk mengetahui sebaran temporal curah hujan di Pulau Sulawesi, kejadian curah hujan dibagi menjadi beberapa waktu yaitu hujan dini hari (02-05 Waktu Indonesia Tengah/WITA), pagi hari (06-09 WITA), siang hari (10-13 WITA), sore hari (14-17 WITA), malam hari (18-21 WITA) dan tengah malam (22-01 WITA). Selanjutnya analisis variabilitas spasial dan musiman siklus diurnal curah hujan dilakukan menggunakan metode komposit rata-rata curah hujan perjam dan menghitung curah hujan rata-rata wilayah di darat dan pantai. Komposit curah hujan dibagi menjadi empat periode musim, yaitu DJF, MAM, JJA dan SON. Selain itu, untuk melihat skema propagasi curah hujan diurnal dilakukan analisis menggunakan metode *zonal* dan *meridional slice time* atau diagram Hovm'oller untuk wilayah dan periode musim yang memiliki curah hujan paling tinggi.

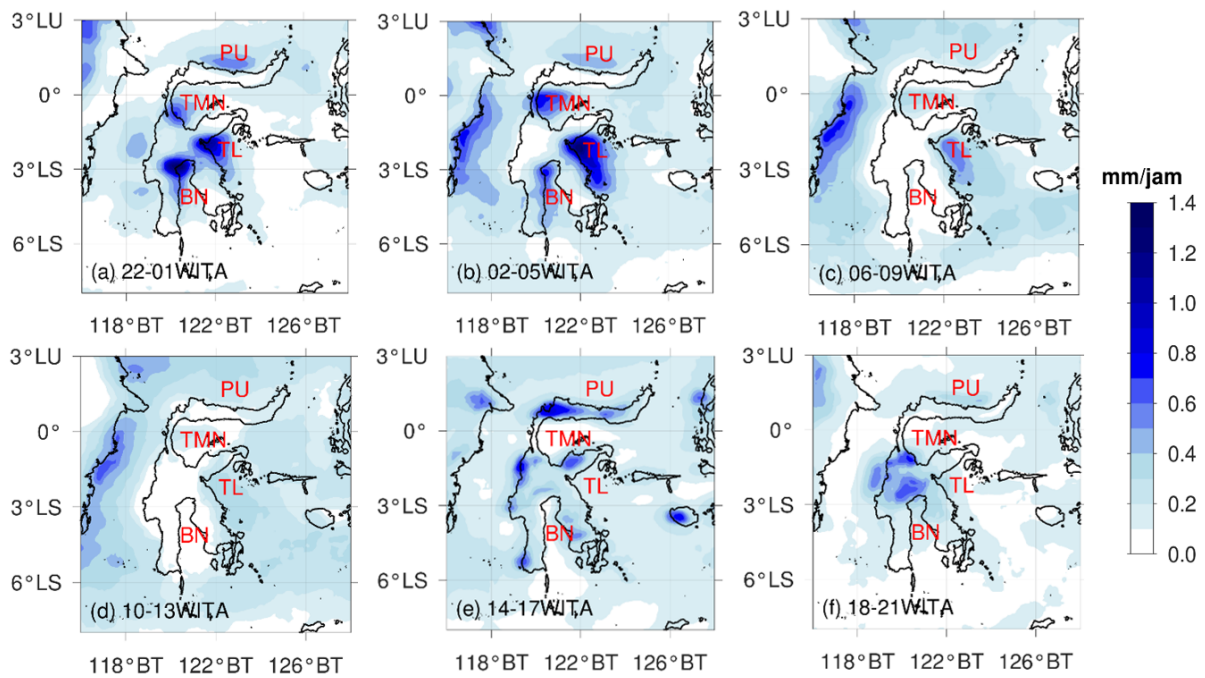
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Total Rata-Rata Curah Hujan

Kompleksitas topografi mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap formasi dan distribusi curah hujan (Qian *et al.*, 2011). Pulau Sulawesi memiliki pegunungan di bagian tengah dan utara pulau dengan ketinggian rata-rata sekitar 2000-2500 m dan tiga perairan dengan bentuk garis pantai cekung yaitu Teluk Tomini, Tolo dan Bone, serta perairan di bagian utara dan barat pulau (Gambar 3-1a). Gambar 3-1b merupakan rata-rata curah hujan perjam GSMaP dari tahun 2004-2018. Intensitas curah hujan tinggi banyak terdapat di wilayah pantai dan laut. Secara umum terdapat empat sistem utama curah hujan yang



Gambar 3-1: (a) Peta topografi Pulau Sulawesi menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM 30 m, dengan *meridional slice* di Teluk Tolo (garis tegas biru), *zonal slice* di Teluk Tolo (garis putus-putus biru), *meridional slice* di Teluk Bone (garis tegas merah), dan *zonal slice* di Teluk Bone (garis putus-putus merah). (b) Rata-rata curah hujan perjam selama tahun 2004-2018.



Gambar 3-2: Variasi rata-rata curah hujan perjam GSMaP pada (a) hujan tengah malam (22-01 WITA), (b) dini hari (02-05 WITA), (c) pagi hari (06-09 WITA), (d) siang (10-13 WITA), (e) sore hari (14-17 WITA), dan (f) malam hari (18-21 WITA).

memiliki karakteristik unik di Pulau Sulawesi, yaitu sistem curah hujan di Teluk Tomini (TMN), Teluk Tolo (TL), Teluk Bone (BN) dan perairan bagian utara Pulau Sulawesi (PU). Adapun Teluk Tolo memiliki curah hujan dengan intensitas paling tinggi dibandingkan dengan perairan lainnya.

Gambar 3-2 menunjukkan lokasi curah hujan pada enam waktu yaitu tengah malam (22-01 WITA), dini hari (02-05 WITA), pagi hari (06-09 WITA), siang hari (10-13 WITA), sore hari (14-17 WITA), dan malam hari (18-21 WITA). Pada umumnya, puncak curah hujan di darat terjadi pada sore hari dan di laut terjadi pada dini hari (Mori *et al.*, 2004; Qian *et al.*, 2010), tetapi di Pulau Sulawesi, curah hujan sore hari banyak terdapat di daratan Sulawesi Utara, Selatan dan Tenggara (Gambar 3-2e), sedangkan pada malam hari curah hujan terkonsentrasi di wilayah daratan bagian tengah (Gambar 3-2f). Bentuk garis pantai cekung yang mendominasi pantai di Sulawesi memengaruhi variasi siklus diurnal curah hujan. Garis pantai cekung menyebabkan konvergensi angin darat yang memicu aktivitas konveksi kuat sepanjang lautan dan merupakan komponen penting untuk menghasilkan hujan nokturnal (Alfahmi *et al.*, 2019). Seperti pada Gambar 3-2, curah hujan di pantai paling banyak terjadi pada tengah malam yaitu di Teluk Tomini, Tolo dan Bone, sedangkan di laut ketiga wilayah tersebut didominasi oleh hujan dini hari.

3.2 Analisis Komposit Curah Hujan

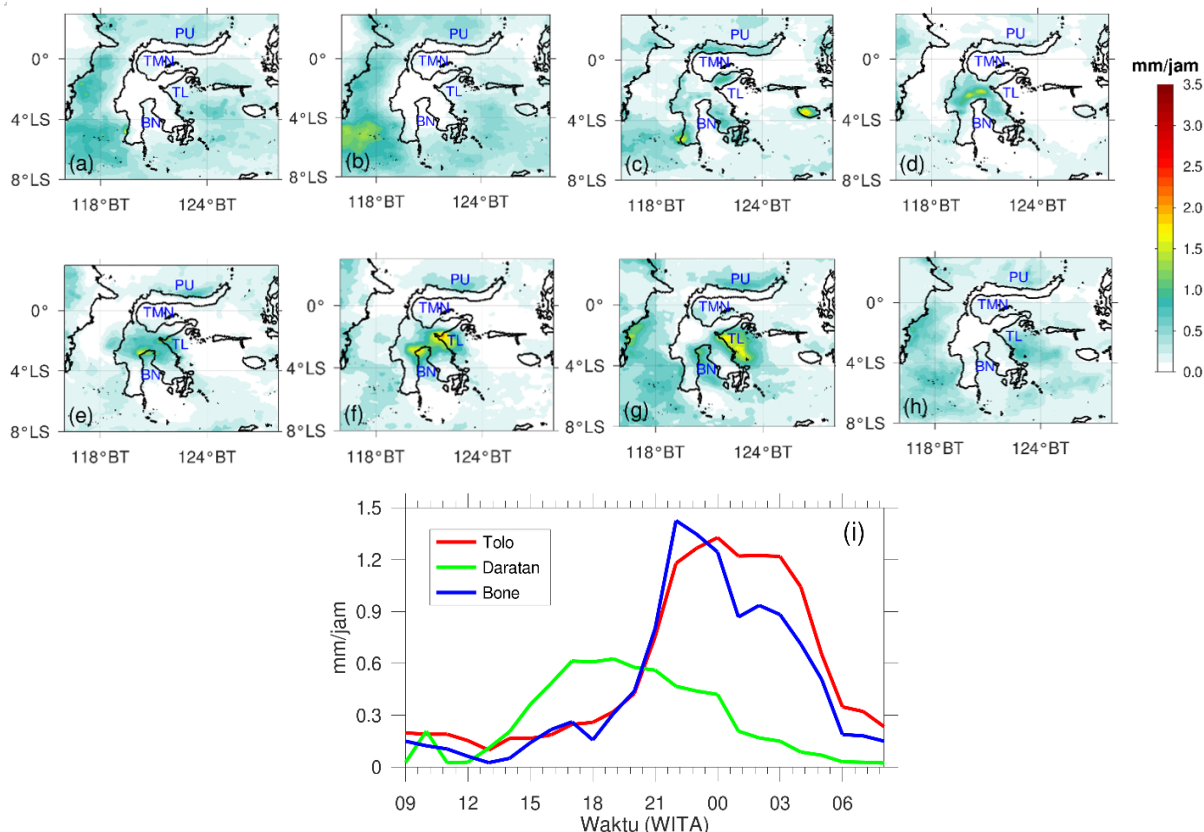
3.2.1 Desember-Januari-Februari (DJF)

Gambar 3-3 menunjukkan variasi siklus diurnal curah hujan pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF) yang merupakan komposit rata-rata curah hujan perjam dari GSMaP selama tahun 2004-2018, dan Gambar 3-3i merupakan time series curah hujan rata-rata di daratan bagian tengah Sulawesi ($2,3^{\circ}$ – $1,2^{\circ}$ LS dan $119,3$ – $120,4^{\circ}$ BT), sekitar

pantai Teluk Tolo (3 – $1,7^{\circ}$ LS dan $121,5$ – $122,4^{\circ}$ BT) dan Bone ($3,6$ – $2,7^{\circ}$ LS dan $120,4$ – $120,8^{\circ}$ BT). Curah hujan sepanjang daratan Sulawesi merupakan curah hujan sore hari yang mulai terjadi sekitar pukul 15:00 WITA. Pada bulan DJF, puncak curah hujan di darat terjadi pada pukul 18:00 WITA di daratan bagian tengah Pulau Sulawesi atau pegunungan bagian selatan dekat pantai Teluk Bone (Gambar 3-3d), kemudian hujan bergerak ke arah timur dan selatan menuju Teluk Tolo dan Bone.

Sejak pukul 00:00 WITA, hujan terus bergerak menuju perairan di Teluk Tolo dan Bone. Di Teluk Tolo, hujan berpropagasi secara meluas menuju perairan lepas, sedangkan pergerakan hujan di Teluk Bone tidak seluas di Teluk Tolo. Teluk Bone diapit oleh daratan (Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara) memiliki perairan yang lebih sempit dan pegunungan yang lebih tinggi di bagian utara teluk dengan jarak yang lebih dekat dengan pantai dibandingkan dengan Teluk Tolo. Perbedaan lebar laut antara Teluk Tolo dan Bone serta topografi pegunungan di kedua sisi teluk yang berbeda ini merupakan faktor lokal yang memengaruhi perbedaan propagasi curah hujan di laut. Beberapa kajian sebelumnya menyatakan bahwa intensitas curah hujan di laut dipengaruhi oleh lebar laut (Fujita *et al.*, 2010) dan keberadaan pegunungan di sekitar lautan (Qian *et al.*, 2010). Selain itu, berdasarkan kajian Alfahmi *et al.*(2019), angin dominan juga berpengaruh terhadap propagasi dan intensitas curah hujan diurnal. Seperti skema hujan di Sumatera dan Kalimantan, konvergensi sepanjang lautan dibentuk oleh angin darat dan angin dominan (Mori *et al.*, 2004; Qian *et al.*, 2012).

Berdasarkan Gambar 3-3i, hujan di daratan bagian tengah terjadi pada pukul 15:00-00:00 WITA yang mencapai puncaknya pada pukul 18:00 WITA dengan intensitas sebesar 0,63 mm/jam.



Gambar 3-3: Variasi curah hujan diurnal di Pulau Sulawesi bulan DJF berdasarkan komposit rata-rata curah hujan perjam GSMaP selama tahun 2004-2018 pada pukul: (a) 09:00 WITA, (b) 12:00 WITA, (c) 15:00 WITA, (d) 18:00 WITA, (e) 21:00 WITA, (f) 00:00 WITA, (g) 03:00 WITA, (h) 06:00 WITA, dan (i) time series curah hujan rata-rata di daratan bagian tengah Pulau Sulawesi (garis berwarna hijau), pantai Teluk Bone (garis berwarna biru) dan pantai Teluk Tolo (garis berwarna merah).

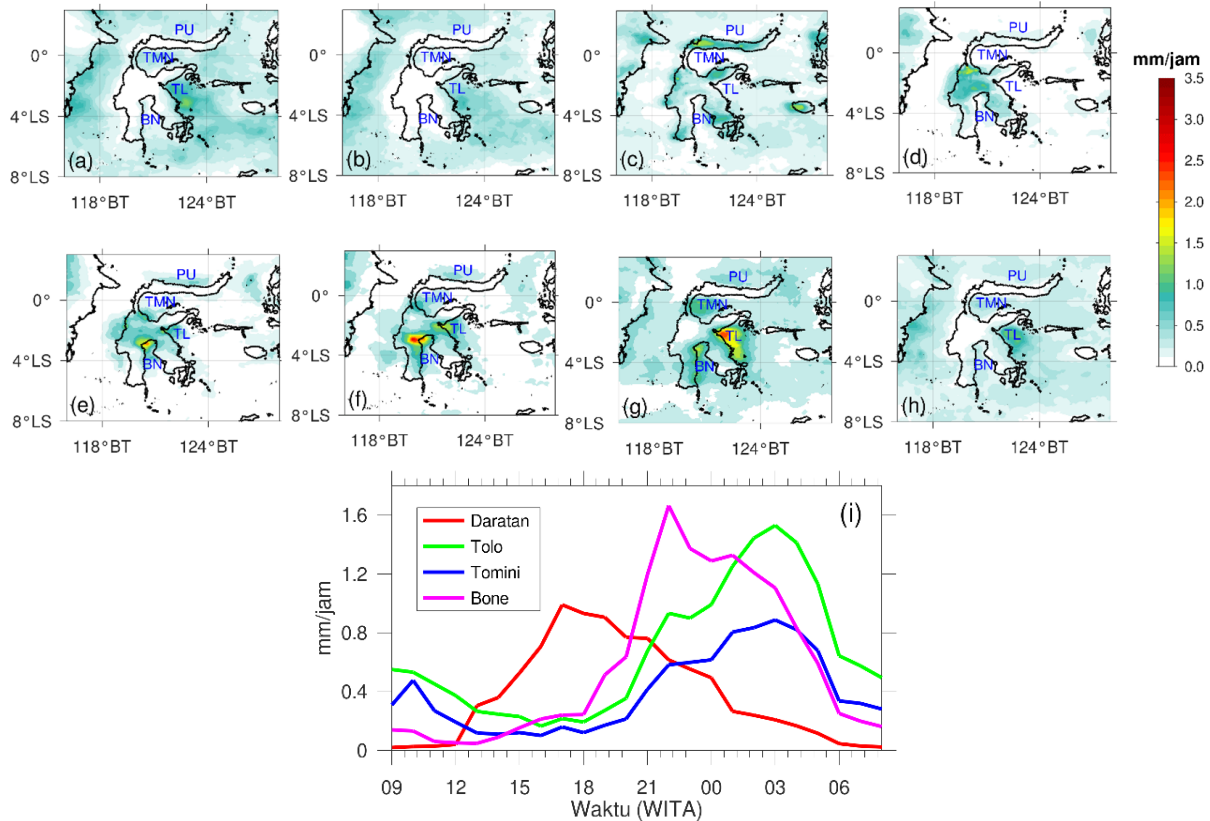
Adapun hujan di pantai Teluk Tolo dan Bone terjadi pada jam 21:00-06:00 WITA. Rata-rata curah hujan di sekitar pantai Teluk Tolo menunjukkan puncak curah hujan terjadi pada 00:00 WITA dengan intensitas mencapai 1,23 mm/jam, sedangkan hujan di pantai Teluk Bone mencapai puncaknya pada pukul 22:00 WITA dengan intensitas yang lebih tinggi yaitu 1,4 mm/jam.

3.2.2 Maret-April-Mei (MAM)

Pada bulan MAM pukul 15:00 WITA terdapat curah hujan yang tersebar di daratan bagian utara, barat dan selatan Pulau Sulawesi (Gambar 3-4c). Pola curah hujan di darat pada bulan MAM sama dengan pola yang ditunjukkan pada periode musim DJF (Gambar 3-3c), hujan terjadi mulai pukul 15:00 WITA hingga 00:00 WITA. Kondisi ini berkaitan

dengan pemanasan gunung dan lembah serta aktivitas angin laut yang aktif terjadi pada siang hari (Fujita *et al.*, 2010). Pegunungan sekitar garis pantai mengangkat masa udara laut untuk membentuk awan sepanjang wilayah pegunungan (Alfahmi *et al.*, 2019). Namun berbeda dengan bulan DJF, curah hujan di sekitar pegunungan bagian tengah Pulau Sulawesi pada jam 18:00 WITA lebih tinggi di bagian utara, sedangkan pada bulan DJF lebih tinggi di bagian selatan daratan seperti terlihat pada Gambar 3-4d.

Gambar 3-4 menunjukkan bahwa pada periode musim MAM, hujan dari daratan bagian tengah Pulau Sulawesi bergerak menuju tiga perairan yaitu Teluk Tomini, Tolo dan Bone. Puncak curah hujan di pantai dan laut di ketiga wilayah tersebut memiliki intensitas dan



Gambar 3-4: Variasi curah hujan diurnal di Pulau Sulawesi bulan MAM berdasarkan komposit rata-rata curah hujan perjam GSMaP selama tahun 2004-2018 pada pukul: (a) 09:00 WITA, (b) 12:00 WITA, (c) 15:00 WITA, (d) 18:00 WITA, (e) 21:00 WITA, (f) 00:00 WITA, (g) 03:00 WITA, (h) 06:00 WITA, dan (i) time series curah hujan rata-rata di daratan bagian tengah Pulau Sulawesi (garis berwarna merah), pantai Teluk Tolo (garis berwarna hijau), Teluk Tomini (garis berwarna biru) dan pantai Teluk Bone (garis berwarna magenta).

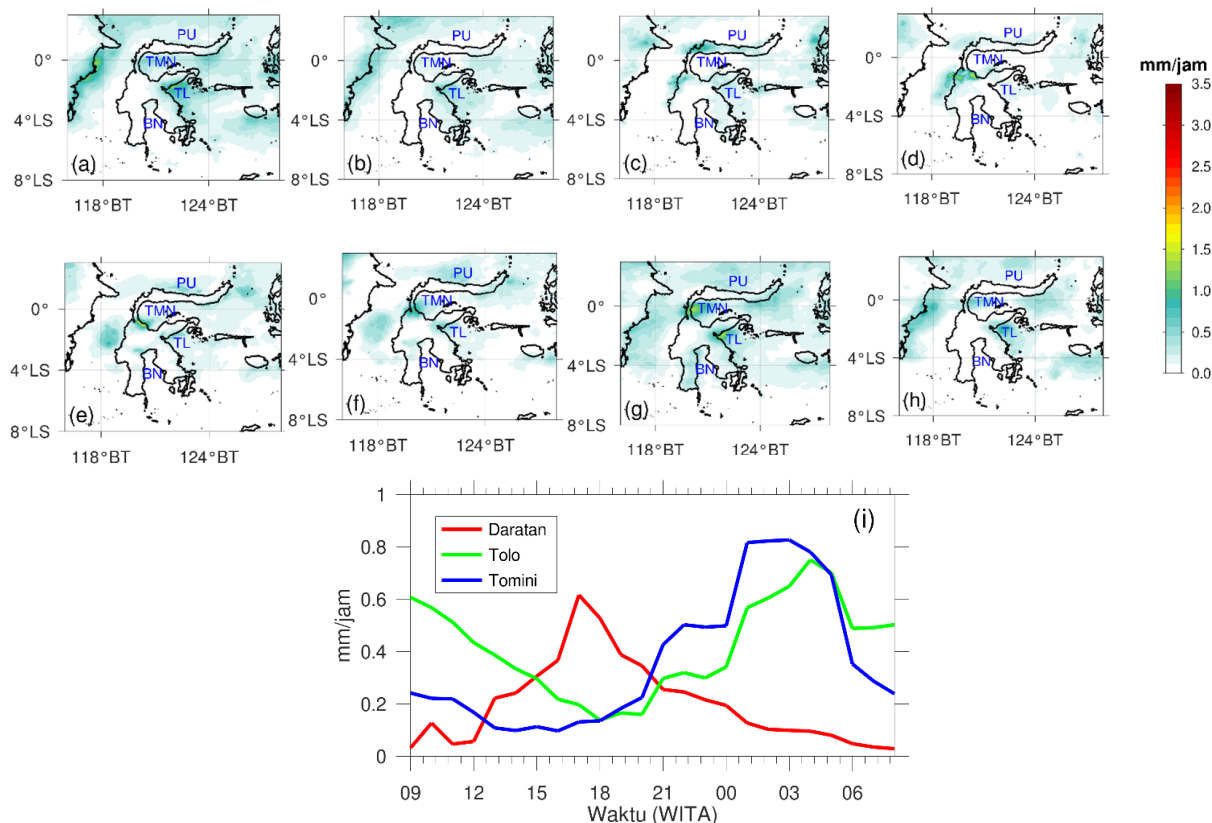
waktu yang berbeda-beda. Qian *et al.*(2012) menyatakan bahwa kondisi ini berkaitan dengan onsets angin darat yang bergantung pada ketinggian daratan dan aliran monsun. Curah hujan di pantai Teluk Tomini ($0,9 - 0,4^{\circ}$ LS dan $120 - 120,5^{\circ}$ BT) dan Tolo mencapai puncaknya pada pukul 03:00 WITA dengan intensitas curah hujan 0,8 mm/jam dan 1,53 mm/jam secara berturut-turut. Adapun puncak curah hujan di Teluk Bone terjadi lebih awal yaitu sekitar pukul 23:00 WITA dengan intensitas 1,7 mm/jam (Gambar 3-4i). Selain di daratan bagian tengah, terdapat pola curah hujan diurnal di Sulawesi bagian utara, dimana hujan di daratan bergerak menuju perairan utara walaupun dengan intensitas yang lebih rendah.

Diantara keempat wilayah (Teluk Tolo, Tomini, Bone dan perairan utara),

intensitas curah hujan paling tinggi terjadi di Teluk Tolo dan Bone. Propagasi curah hujan yang ditunjukkan di Teluk Tolo dan Bone hampir sama dengan bulan DJF, yaitu sebaran curah hujan di Teluk Tolo lebih meluas ke arah laut. Menariknya, hujan di sekitar Teluk Bone selain terpusat di bagian cekungan tetapi juga terjadi di sepanjang pantai di Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 3-4g).

3.2.3 Juni-Juli-Agustus (JJA)

Intensitas curah hujan pada bulan JJA lebih rendah dibandingkan curah hujan pada bulan DJF dan MAM seperti pada Gambar 3-5. Hujan di darat mulai terlihat pada pukul 15:00 WITA di sekitar daratan bagian utara, sedangkan di daratan bagian tengah pulau, hujan terjadi mulai pukul 18:00 WITA. Curah hujan di daratan bagian



Gambar 3-5: Variasi curah hujan diurnal di Pulau Sulawesi bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) berdasarkan komposit rata-rata curah hujan perjam GSMaP selama tahun 2004-2018 pada pukul: (a) 09:00 WITA, (b) 12:00 WITA, (c) 15:00 WITA, (d) 18:00 WITA, (e) 21:00 WITA, (f) 00:00 WITA, (g) 03:00 WITA, (h) 06:00 WITA, dan (i) time series curah hujan rata-rata di daratan bagian tengah Pulau Sulawesi (garis berwarna merah), pantai Teluk Tolo (garis berwarna hijau) dan pantai Teluk Tomini (garis berwarna biru).

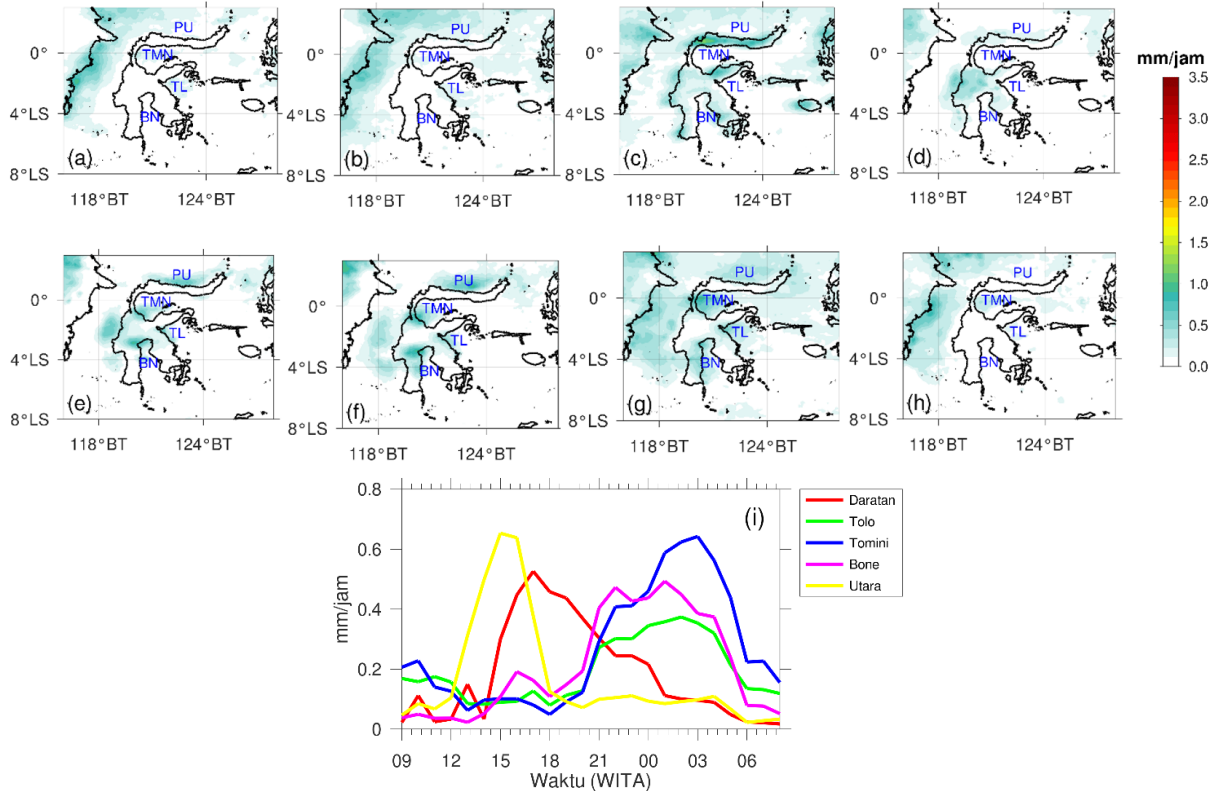
tengah ini lebih tersebar ke arah utara pegunungan. Terdapat pola pergerakan curah hujan dari darat ke laut yang berbeda dibandingkan dengan bulan DJF dan MAM, dimana hujan dari daratan bagian tengah pulau bergerak ke Teluk Tomini dan Tolo. Begitupun dengan propagasinya ke arah laut yang tidak sejauh dan seluas pada bulan DJF dan MAM di kedua teluk tersebut.

Grafik intensitas curah hujan terhadap waktu menegaskan pola diurnal yang terjadi (Gambar 3-5i). Hujan di daratan bagian tengah terjadi pukul 15:00-00:00 WITA. Adapun di sekitar pantai Teluk Tolo tidak terlihat adanya puncak curah hujan yang jelas, hujan terjadi 00:00-04:00 WITA dengan intensitas sekitar 0,6-0,8 mm/jam kemudian diikuti oleh kejadian hujan pada pukul 09:00-12:00 WITA dengan

intensitas yang lebih rendah. Secara umum, kondisi ini dapat terjadi di sekitar pantai seperti hasil kajian dari Mori *et al.*(2018) yang melakukan penelitian mengenai curah hujan diurnal di Jakarta, menunjukkan bahwa di bagian hilir (sekitar pantai) terdapat kombinasi pengaruh antara daratan dengan pola hujan di sore hari dan hujan di laut yang merupakan hujan nokturnal. Dua kejadian hujan di sekitar pantai Teluk Tolo ini menjadi karakteristik di bulan JJA yang tidak terlihat pada pola curah hujan di bulan DJF dan MAM yang memiliki satu puncak.

3.2.4 September-Oktober-November (SON)

Periode musim SON memiliki intensitas curah hujan paling rendah dibandingkan bulan DJF, MAM dan



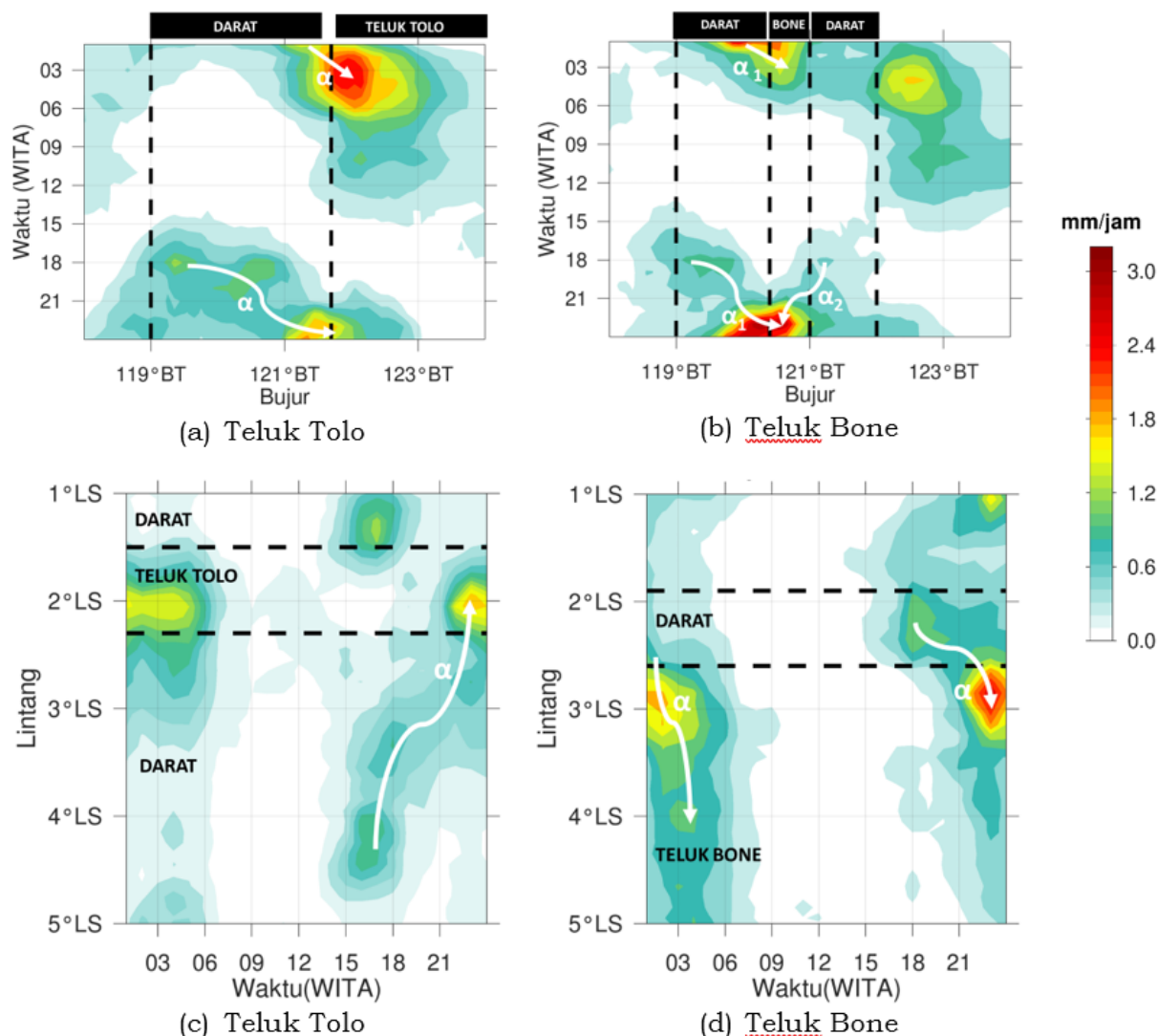
Gambar 3-6: Variasi curah hujan diurnal di Pulau Sulawesi bulan September-Oktober-November (SON) berdasarkan komposit rata-rata curah hujan perjam GSMaP selama tahun 2004-2018 pada pukul: (a) 09:00 WITA, (b) 12:00 WITA, (c) 15:00 WITA, (d) 18:00 WITA, (e) 21:00 WITA, (f) 00:00 WITA, (g) 03:00 WITA, (h) 06:00 WITA, dan (i) time series curah hujan rata-rata di daratan bagian utara pulau (garis berwarna kuning), daratan bagian tengah pulau (garis berwarna merah), pantai Teluk Tolo (garis berwarna hijau), pantai Teluk Bone (garis berwarna magenta), dan pantai Teluk Tomini (garis berwarna biru).

JJA (Gambar 3-6). Pada Gambar 3-6e terlihat bahwa hujan terjadi di pantai Tolo, Tomini, Bone, dan perairan utara. Berbeda dengan pola diurnal di periode musim lainnya, curah hujan diurnal di bulan SON yang terlihat paling signifikan adalah di bagian utara Pulau Sulawesi. Hujan di daratan bagian utara yang meliputi Provinsi Gorontalo dan Sulawesi Utara mulai terjadi pada pukul 13:00 WITA, kemudian bergerak ke utara menuju perairan utara sekitar pukul 21:00 WITA dan mencapai puncaknya pada pukul 00:00 WITA. Bentuk garis pantai yang lurus di perairan utara menyebabkan hujan tersebar di sepanjang pantai. Pada Gambar 3-6i terlihat adanya perbedaan puncak curah hujan di darat. Di darat bagian tengah pulau, hujan mencapai puncaknya pada pukul 17:00 WITA, sedangkan puncak

hujan di daratan utara terjadi lebih awal yaitu sekitar pukul 15:00 WITA. Intensitas curah hujan rata-rata wilayah di daratan bagian utara ($0,5 - 0,8^{\circ}$ LU dan $120,5 - 124,5^{\circ}$ BT) lebih tinggi dari hujan di daratan bagian tengah pulau yang mencapai $0,7$ mm/jam.

3.3 Propagasi Curah Hujan Diurnal

Berdasarkan analisis curah hujan diurnal pada setiap periode musim, Teluk Tolo dan Bone memiliki nilai puncak curah hujan paling tinggi dibandingkan perairan lainnya di Pulau Sulawesi pada bulan MAM. Untuk melihat propagasi hujan di kedua teluk tersebut dilakukan *meridional-time slice* pada $121,4^{\circ}$ BT dan *zonal-time slice* pada 2° LS di Teluk Tolo (garis tegas dan putus-putus berwarna biru pada Gambar 3-1a) serta *zonal-time slice* pada $2,8^{\circ}$ LS dan *meridional-slice*



Gambar 3-7: (a) Zonal-time slice pada bulan MAM di Teluk Tolo, (b) zonal-time slice pada bulan MAM di Teluk Bone, (c) meridional-time slice bulan MAM di Teluk Tolo, dan (d) meridional-time slice pada bulan MAM di Teluk Bone.

time pada 120,8° BT di Teluk Bone yang terlihat sebagai garis putus-putus dan tegas berwarna merah pada Gambar 3-1a.

Gambar 3-7a dan 3-7c merupakan zonal dan meridional-time slice di Teluk Tolo. Propagasi curah hujan dimulai sekitar pukul 16:00 WITA di daratan bagian tengah menuju pantai (α) pada pukul 22:00 WITA. Kemudian hujan bergerak menuju laut lepas hingga pukul 09:00 WITA dengan puncak curah hujan mencapai 3 mm/jam yang terjadi sekitar pukul 03:00 WITA (Gambar 3-7a). Puncak curah hujan di Teluk Tolo bergerak dari daerah

pantai menuju lautan yang mencapai jarak sekitar 75 km atau dari sekitar 121,5° BT hingga 122,2° BT. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Alfahmi *et al.*(2019) yang menyatakan bahwa puncak curah hujan di Teluk Tolo, Bone dan Cendrawasih lebih dekat dengan garis pantai dibandingkan dengan Teluk Manado yang bisa mencapai 100-200 km dari pantai. Penelitian-penelitian sebelumnya pun menyatakan bahwa curah hujan dapat berpropagasi dari pantai hingga laut dengan jarak yang berbeda-beda, seperti di Sumatera bisa mencapai 400 km dari pantai (Mori *et al.*, 2004), 200 km di Pulau Kalimantan

(Ichikawa & Yasunari, 2007) atau hanya mencapai beberapa kilometer di pantai yang datar di utara Jawa Barat (Hadi *et al.*, 2002).

Berdasarkan hasil meridional-time slice pada Gambar 3-7c, curah hujan terjadi di darat baik di sebelah selatan maupun utara Teluk Tolo. Hujan di darat mulai terjadi sekitar pukul 15:00 WITA bergerak menuju laut dan mencapai puncaknya sekitar pukul 00:00 WITA. Hujan di sekitar pantai dan perairan Teluk Tolo ini bertahan hingga sekitar pukul 06:00 WITA. Berdasarkan hasil penelitian Alfahmi *et al.*(2019) yang melakukan simulasi propagasi curah hujan diurnal di Teluk Tolo dan Cendrawasih menggunakan model *Weather Research Forecasting* (WRF) menunjukkan bahwa curah hujan dari darat bergerak menuju pantai karena adanya perpindahan zona konvergensi yang dipengaruhi oleh angin gunung disertai pelemahan angin laut. Pada Gambar 3-5c juga terlihat hujan bergerak dari daratan bagian selatan menuju lautan dengan kecepatan $\approx 6,2$ m/s. Kondisi ini bersesuaian dengan hasil Alfahmi *et al.*(2019) yang menyatakan bahwa rata-rata kecepatan propagasi hujan di Teluk Tolo adalah sekitar 4,1 m/s, dengan kecepatan dari arah selatan sebesar 6,1 m/s dan dari utara sekitar 2,7 m/s.

Teluk Bone berada di antara Provinsi Sulawesi Selatan (di bagian barat dan utara) dan Provinsi Sulawesi Tenggara (di bagian timur). Hasil *zonal-time slice* menunjukkan bahwa propagasi curah hujan di Teluk Bone diawali baik di darat bagian timur (α_2) maupun bagian barat (α_1) seperti pada Gambar 3-7b. Kemudian curah hujan α_1 bergerak ke arah timur menuju Teluk Bone, sedangkan curah hujan α_2 bergerak ke arah barat menuju Teluk Bone pada malam hari. Propagasi hujan di darat terjadi pada pukul 16:00 WITA sampai 00:00 WITA dan propagasi hujan di laut terjadi mulai pukul 22:00

hingga 06:00 WITA. Propagasi hujan (≥ 1 mm/jam) dari darat menuju laut di Teluk Bone ini sekitar 4,4 m/s. Adapun curah hujan mencapai puncaknya di laut pada pukul 00:00 WITA dengan intensitas mencapai 3 mm/jam. Aktivitas angin darat yang tinggi pada malam hari, menyebabkan puncak curah hujan di laut terjadi pada malam hingga dini hari (Alfahmi *et al.*, 2019).

Gambar 3-7d merupakan diagram *meridional-time slice* yang menunjukkan hujan dari darat bagian tengah Pulau Sulawesi bergerak menuju laut hingga 4° LS. Walaupun demikian, puncak curah hujan hanya mencapai sekitar 50 km dari garis pantai atau dari sekitar $2,7^\circ$ LS hingga $3,1^\circ$ LS. Sejak pukul 00:00 WITA, hujan di laut bergerak semakin ke selatan dengan intensitas yang semakin rendah hingga pukul 06:00 WITA. Adapun kecepatan pergerakan hujan (≥ 1 mm/jam) dari darat ke laut di Teluk Bone mencapai 6,1 m/s.

Teluk Tolo dan Bone yang memiliki bentuk garis pantai cekung berpengaruh signifikan terhadap skema propagasi curah hujan diurnalnya. Berdasarkan analisis *zonal* dan *meridional slice time*, curah hujan di sepanjang daratan yang mengelilingi Teluk Tolo dan Bone bergerak menuju laut. Konvergensi angin darat yang tinggi menyebabkan intensitas curah hujan tinggi yang terkumpul di laut sekitar pantai pada tengah malam (pukul 21:00-01:00 WITA) dan dini hari (02:00-05:00 WITA). Bentuk garis pantai cekung dapat meningkatkan intensitas curah hujan di laut, angin darat dengan intensitas tinggi dari semua sisi pantai bergerak menuju tengah laut melalui konvergensi lapisan rendah (Alfahmi *et al.*, 2019). Selain itu, garis pantai yang cekung juga berpengaruh terhadap kecepatan propagasi hujan. Alfahmi *et al.*(2019) menyatakan bahwa kecepatan pergerakan curah hujan sepanjang garis pantai cekung mempunyai kecepatan yang lebih lambat dibandingkan propagasi hujan dari

puncak gunung menuju lautan terbuka. Seperti di Sumatera, hujan bergerak dari darat ke laut dengan kecepatan rata-rata mencapai 10 m/s (Mori *et al.*, 2004).

4 KESIMPULAN

Berdasarkan total curah hujan rata-rata di Pulau Sulawesi menunjukkan bahwa curah hujan di daratan terjadi pada sore hingga malam hari (14:00-21:00 WITA) dan hujan di laut terjadi mulai tengah malam hari hingga dini hari (22:00-06:00 WITA). Secara umum, pola diurnal curah hujan di Pulau Sulawesi memiliki karakteristik unik yang terdiri dari curah hujan diurnal di Teluk Tolo, Tomini, Bone dan perairan bagian utara.

Hasil analisis komposit curah hujan menunjukkan bahwa perbedaan periode musim menyebabkan adanya perbedaan arah propagasi curah hujan dari darat menuju laut. Pada bulan DJF, curah hujan bergerak dari daratan bagian tengah pulau menuju Teluk Tolo dan Bone. Pada bulan MAM, curah hujan bergerak dari darat menuju Teluk Tolo, Bone dan Tomini, sedangkan sistem curah hujan bulan JJA merupakan curah hujan yang bergerak dari darat menuju Teluk Tolo dan Tomini. Adapun pada periode musim SON, pola diurnal curah hujan di daratan bagian utara pulau paling menonjol dibandingkan di wilayah lain. Nilai rata-rata curah hujan wilayah pada setiap periode musimnya menunjukkan bahwa intensitas curah hujan paling tinggi baik di darat maupun di laut terjadi pada bulan MAM yaitu mencapai 1 mm/jam di daratan bagian tengah, 1,53 mm/jam di sekitar pantai Teluk Tolo dan mencapai 1,7 mm/jam di sekitar pantai Teluk Bone.

Curah hujan di sepanjang daratan yang mengelilingi Teluk Tolo dan Bone bergerak menuju teluk dan banyak terkonsentrasi di bagian tengah laut pada malam hingga dini hari. Berdasarkan diagram *zonal* dan *meridional-time*

slice pada bulan MAM, hujan tersebut bergerak dari darat menuju laut dengan kecepatan sekitar 6,2 m/s di Teluk Tolo dan sekitar 6,1 m/s di Teluk Bone. Adapun propagasi puncak hujannya mencapai lebih dari 75 km dan 50 km dari garis pantai di Teluk Tolo dan Bone secara berturut-turut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Aldrian, E. & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23, 1435.
- Alfahmi, F., Boer, R., Hidayat, R., Perdinan, & Sopaheluwakan, A. (2019). The impact of concave coastline on rainfall offshore distribution over Indonesian maritime continent. *The Scientific World Journal*, 2019, ID6839012.
- Crosman, E. T. & Horel, J. D. (2010). Sea and lake breezes: a review of numerical studies. *Boundary-Layer Meteorology*, 137, 1.
- Fujita, M., Kimura, F., & Yoshizaki, M. (2010). Morning precipitation peak over the strait of Malacca under a calm condition. *Monthly Weather Review*, 138, 1474.
- Hadi, T. W., Horinouchi, T., Tsuda, T., Hashiguchi, H., & Fukao, S. (2002). Sea-breeze circulation over Jakarta, Indonesia: a climatology. *Monthly Weather Review*, 130, 2153.
- Ichikawa, H. & Yasunari, T. (2005). Time-space characteristics of diurnal rainfall over Borneo and surrounding oceans as observed by TRMM-PR. *Journal of Climate*, 19, 1238.
- Ichikawa, H. & Yasunari, T. (2007). Intraseasonal variability in diurnal rainfall over New Guinea and the surrounding oceans during Austral summer. *Journal of Climate*, 21, 2852.
- Ken'ichi, O., Tomoo, T., T., Nabuhiro, & Koyuru, I. (2005). The global satellite mapping of precipitation project. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seoul*.
- Lestari, S., Hamada, J., Syamsudin, F., Sunaryo,

- Matsumoto, J., & D., Y. M. (2016). ENSO influences on rainfall extremes around Sulawesi and Maluku Islands in the Eastern Indonesia Maritime Continent. *SOLA*, 12, 37.
- Mori, S., Jun-Ichi, H., Tauhid, Y. I., Yamanaka, M. D., Okamoto, N., Murata, F., Sakurai, N., Hasiguchi, H., & Sribimawati, T. (2004). Diurnal land-sea rainfall peak migration over Sumatera Island, Indonesian Maritime Continent, observed by TRMM satellite and intensive rawinsonde soundings. *American Model Society*, 132, 2021.
- Ohsawa, T., Ueda, H., Hayashi, T., Watanabe, A., & J., M. (2001). Diurnal variations of convective activity and rainfall in tropical Asia. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 79, 333.
- Qian, J., 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, 3509.
- Qian, J., 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.
- Qian, T., C., E. C., & Zhang, F. (2011). Topographic effects on the tropical land and sea breeze. *Journal of The Atmospheric Science*, 69, 130.
- Von, V. & D., G. (2006). Atmospheric variability in Sulawesi, Indonesia-regional atmospheric model results and observations. Technical report, .
- Yamanaka, M. D. (2016). Physical climatology of Indonesian maritime continent : an outline to comprehend observational studies. *Atmospheric Research*, 178, 231.

