

# PEMISAHAN AWAN KONVEKTIF DAN STRATIFORM DALAM MENGAJI SIKLUS DIURNAL DAN MIGRASINYA DI PEGUNUNGAN BAWAKARAENG SULAWESI SELATAN BERDASARKAN DATA RADAR CUACA

## *SEPARATION CONVECTIVE AND STRATIFORM DIURNAL CYCLE AND CLOUD MIGRATION AT BAWAKARAENG MOUNTAIN IN SOUTH CELEBES BASED ON WEATHER RADAR*

Syamsul Bahri<sup>1,2\*</sup>, Nurjanna Joko Trilaksono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Klimatologi Maros Makassar, BMKG, Jl. Dr Ratulangi 75 A, Kab. Maros, 90515

<sup>2</sup>Program Studi Magister Sains Kebumihan, FITB, Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

<sup>3</sup>KK Sains Atmosfer, FITB, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

\*E-mail: syamsul.aco@gmail.com

Naskah masuk: 03 Juli 2017; Naskah diperbaiki: 03 Oktober 2019; Naskah diterima: 30 Oktober 2019

### ABSTRAK

Aktivitas konvektif diurnal merupakan mode paling dominan di Benua Maritim Indonesia (BMI). Namun kajian yang telah dilakukan sebelumnya tidak memisahkan periode analisis berdasarkan musim sekaligus pemisahan awan konvektif dan stratiform. Selain itu, data yang digunakan terbatas baik resolusi temporal maupun horizontalnya. Adapun tujuan dari kajian ini untuk mengetahui siklus dan migrasi diurnal awan konvektif dan stratiform pada musim berbeda. Kajian migrasi sistem awan hujan dilakukan dengan menggunakan radar cuaca C-Band polarisasi tunggal yang berlokasi di Maros (4.997733° LS, 119.572014° BT) dan terletak pada bagian barat Pegunungan Bawakaraeng (PB) Sulawesi Selatan. Metode Steiner dkk., digunakan untuk mengklasifikasikan awan hujan menjadi dua yaitu awan konvektif dan stratiform. Pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF) terdapat aktifitas awan hujan yang bermigrasi secara zonal (timur-barat) yaitu awan konvektif di laut yang bergerak ke darat mulai pagi hari hingga siang dan awan stratiform di darat (gunung) bergerak menuju laut. Selain itu awan hujan juga tampak bermigrasi secara meridional (utara-selatan) yang didominasi oleh awan konvektif. Hasil analisis temporal siklus diurnal menunjukkan bahwa awan stratiform terjadi pada jam 15 WS satu jam puncak awan konvektif yaitu jam 14 WS. Pada bulan Maret-April-Mei (MAM) aktifitas awan konvektif hanya terdapat di darat (gunung) dan tidak tampak adanya migrasi, berbeda halnya dengan awan stratiform yang tampak bermigrasi ke laut yang sangat jelas terlihat pada wilayah PB bagian utara. Adapun siklus diurnal awan konvektif di pesisir dan gunung maksimum terjadi pada sore hari berbeda dengan awan stratiform yang terjadi dua kali yaitu pada sore hari dan awal pagi. Puncak siklus awan stratiform terjadi pada jam 16 WS dua jam setelah puncak awan konvektif.

**Kata kunci:** Radar Cuaca C-Band, Pegunungan Bawakaraeng, Awan konvektif, Awan Stratiform

### ABSTRACT

Diurnal convective activity is the dominant mode in the Maritime Continent of Indonesia. But the studies has been done do not separation the analysis period based on the season at a time separation kovektif and stratiform clouds. Besides that, the data used is limited both temporal and horizontal resolution. The purpose of this study to know the cycle and migration diurnal convective and stratiform clouds at different seasons. Diurnal convective activity study of cloud precipitation migration system has been studied based on C-Band single polarization weather radar in Maros (-4.997733 °S, 119.572014 °E) and located in the western part of Bawakaraeng mountains South Celebes. Steiner et al., method has been used to classify precipitation cloud into two types, namely convective and stratiform clouds. In December-Janury-February (DJF) there are cloud activity that migrate zonally (east-west) which convective cloud in the oceans that move to the inland from morning until noon and stratiform cloud on land (mountain) that moving toward to the ocean. Beside that the precipitation clouds also appeared to migrate meridionally (north-south) which was dominated by convective clouds. Based on temporal analysis diurnal cycle of stratiform clouds peak occurred on 15 local time after an hour of convective cloud tops. In March-April-May (MAM) convective clouds activity existed only on land (mountain) and there was no migration case. On the other hand stratiform clouds appeared to migrate to the sea which was clearly visible in the northern region of the Bawakaraeng Mountains. The diurnal cycle of convective clouds on the coast and the mountains reached the maximum in the afternoon different from stratiform clouds which

occurred twice, in the late afternoon and early morning. The peak of stratiform cloud cycle occurred on 16 local time after two hours of convective cloud tops.

**Keywords:** C-Band Weather Radar, Bawakaraeng Mountain, Convective Cloud, Stratiform Cloud

## 1. Pendahuluan

Aktivitas diurnal konveksi pada wilayah BMI merupakan mode yang paling dominan [1]. Hal ini diakibatkan sebaran darat dan lautan di BMI sangat beragam [2] sehingga variasi cuaca yang ditimbulkan pada setiap tempat juga berbeda. Oleh karena itu kajian variasi ruang dan waktu sistem konveksi dan curah hujan pada wilayah dengan topografi yang berbeda-beda seperti wilayah BMI sangat penting untuk memahami siklus air di atmosfer. Kajian aktifitas konveksi dan curah hujan diurnal telah banyak dilakukan [3,4,5,6,7]. Adapun hasil yang telah terdokumentasi diantaranya adalah inisiasi konvektif di pegunungan terjadi pada sore hari, puncak curah hujan pada awal malam di laut, dan pergerakan curah hujan dari gunung ke pesisir atau ke lepas pantai terjadi pada waktu tengah malam.

Kajian siklus diurnal dengan melakukan pemisahan awan hujan konvektif dan stratiform telah membantu dalam mengidentifikasi fitur *Mesoscale Convective System* yaitu puncak fase siklus awan konvektif terjadi lebih dahulu dari awan stratiform [8]. Selain itu, aktifitas konveksi di daratan dengan skala horizontal lebih dari 100 km ditandai dengan puncak curah hujan pada sore hari terjadi di daratan dan konveksi cumulus yang terorganisir dengan cukup dapat berkembang lebih lanjut menjadi awan stratiform. Sedangkan aktifitas konveksi di daratan dengan skala horizontal kurang dari 100 km menghasilkan curah hujan sore hari yang tidak dominan dan konveksi cumulus tidak terorganisir dengan cukup untuk membentuk awan stratiform setelah puncak konvektif terbentuk [9].

Kajian mengenai migrasi sistem awan berdasarkan pembagian periode analisis berdasarkan bulan telah dilakukan oleh Sakurai dkk.[4] dengan menggunakan *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS) Hasilnya menunjukkan bahwa migrasi siklus diurnal sistem awan dan musimannya diasosiasikan dengan angin skala sinoptik. Migrasi awan ke barat dan timur terjadi pada sebagian besar wilayah Sumatera kecuali pada wilayah selatan Sumatera bermigrasi hanya ke barat yang terjadi pada semua bulan. Namun data suhu *black body* dari GMS yang digunakan merupakan proxy suhu puncak awan yang tidak selalu dapat digunakan sebagai acuan mengukur pergerakan sistem curah hujan. Sedangkan Mori dkk.[5] mengkaji siklus diurnal di Sumatera menggunakan data satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation*

*Radar* (PR) yang lebih representatif dalam menggambarkan sistem curah hujan dan migrasinya. Meskipun kajian Mori dkk.[5] telah melakukan pembagian konvektif dan stratiform namun yang dilakukan tidak membedakan periode analisis setiap musim, padahal angin skala sinoptik berubah arahnya sesuai dengan musim.

Kajian siklus diurnal dan migrasi sistem awan telah banyak dilakukan di BMI misal; di Sumatera [4,5,10], Kalimantan [6,11], Papua [7], dan Jawa [8]. Pada wilayah Sulawesi sangat sedikit mendapat perhatian khususnya wilayah Sulawesi Selatan. Padahal wilayah ini memiliki topografi yang unik yaitu Pegunungan Bawakaraeng (PB) dengan puncak elevasinya 2830 mdpl. Pada wilayah ini distribusi curah hujan sangat dipengaruhi oleh Monsun Asia dan Australia [12]. Selain itu PB juga menyebabkan perbedaan siklus curah hujan tahunan antara bagian timur dan barat PB walaupun dengan jarak yang cukup dekat (~100 km) [13]. Hasil kajian numerik menunjukkan bahwa PB berperan sebagai *blocking* dan menyebabkan konveksi orografi [14].

Pada tahun 2013 Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika (BMKG) telah memasang dan mengoperasikan 27 radar cuaca di wilayah Indonesia. Salah satu radar cuaca tersebut berada di wilayah Sulawesi Selatan tepatnya pada Kabupaten Maros (4.997733° LS, 119.572014° BT) yang terletak di bagian barat PB. Jenis radar yang digunakan merupakan radar cuaca Doppler C-Band dengan polarisasi tunggal yang dapat menghasilkan jenis data berupa reflektifitas dan kecepatan radial. Pada kajian ini data radar Maros akan digunakan untuk mengkaji siklus diurnal dan migrasi sistem awan dan hujan di daerah tersebut.

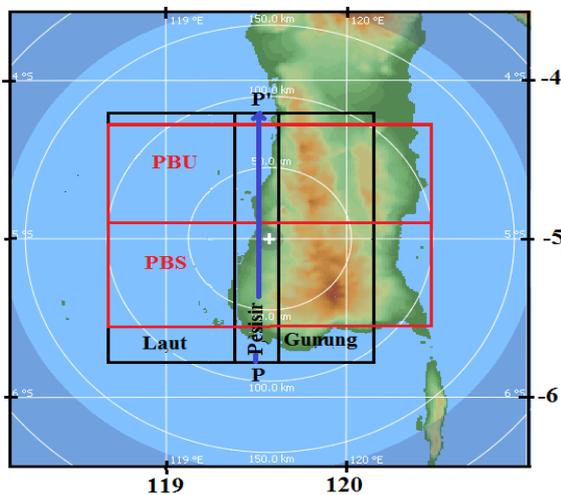
Kajian ini berfokus pada migrasi sistem awan hujan konvektif dan stratiform yang merupakan salah satu di antara permasalahan siklus diurnal yang masih belum jelas yaitu jeda waktu antara puncak konvektif dan stratiform di wilayah BMI khususnya Sulawesi Selatan. Selain itu pemisahan terhadap migrasi pertumbuhan inti awan konvektif dan stratiform memberikan gambaran yang lebih detil mengenai sistem awan konveksi penyebab terjadinya cuaca ekstrim. Pada kajian sebelumnya analisis siklus diurnal dengan melakukan pemisahan awan konvektif dan stratiform sekaligus pembagian periode berdasarkan musim belum dilakukan. Sehingga diharapkan dengan melakukan pemisahan dan pembagian periode musim, siklus diurnal yang dihasilkan lebih jelas. Selain itu pemanfaatan data

radar cuaca C-Band untuk mengkaji variasi diurnal awan hujan memiliki keunggulan dibandingkan dengan data sebelumnya yaitu resolusi waktu dan spasial (vertikal dan horizontal) yang tinggi serta estimasi awan hujan yang lebih representatif.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik siklus dan migrasi diurnal awan hujan konvektif dan stratiform di sekitar PB menggunakan data radar cuaca C-Band. Batasan pada kajian ini bahwa aktifitas konvektif dan curah hujan dari radar cuaca hanya diwakili dengan nilai reflektifitas (dBZ). Areal lingkup radar terbatas sekitar 100 km dari pusat radar.

## 2. Metode Penelitian

BMKG mengoperasikan radar cuaca C-Band Gematronik yang berlokasi di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan dengan jangkauan radar cuaca mencakup wilayah PB. Lokasi PB yang menjadi fokus kajian ditandai dengan kotak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data luaran radar yang diperoleh adalah reflektifitas (dBZ), kecepatan radial (V) dan lebar spektral (W). Spesifikasi radar tertera pada Tabel 1. Jenis *scanning* yang dilakukan untuk mengamati awan hujan adalah *volume scan* dengan 11 *scanning* dengan sudut elevasi (0,5; 0,5; 1,5; 1,5; 2,4; 3,4; 4,3; 6,2; 10,0; 14,0; 19,5). Data *volume scan* digunakan untuk menghitung *Constant AWSitude Plan Position Indicator (CAPPI)* pada ketinggian 0 - 10 km.

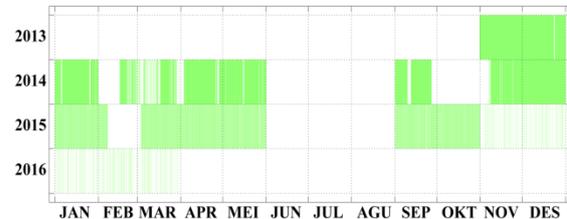


**Gambar 1.** Topografi wilayah Sulawesi bagian selatan. Lokasi pusat radar ditunjukkan oleh tanda plus. Kotak warna merah merupakan pembagian topografi Pegunungan Bawakaraeng bagian Selatan (PBS) dan bagian Utara (PBU). Kotak warna hitam merupakan pembagian daerah laut, pesisir, gunung. Tanda P dan P' menunjukkan arah dari selatan ke utara daerah pesisir yang ditandai dengan garis biru

**Tabel 1.** Spesifikasi Jenis Radar

Tipe Radar Gematronik	Radar C Band METEOR 600/635C
Power output	>400 KW
Frekuensi operasional	5430 - 5800 MHz
Resolusi	Minimum 75 m
Jangkauan	75-500 km
Lebar berkas	1°/0.97°

**Tabel 2.** Ketersediaan Data Radar



Data radar cuaca yang digunakan merupakan keluaran setiap jam yang diperoleh dengan mengambil hasil *scene* sesaat pada jam jam bulat mulai dari jam 00 hingga 23 UTC. Periode data yang diperoleh mulai dari 1 November 2013 sampai dengan 31 Maret 2016. Namun demikian, ketersediaan data radar tidak selalu berkelanjutan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan untuk data harian pada periode bulan tertentu tidak semuanya lengkap. Warna gradasi hijau menunjukkan data tersedia setiap jam pada setiap bulannya.

Pada penelitian ini format data dan metadata radar cuaca dibaca dengan menggunakan modul yang disediakan *Wradlib* [15]. Selain itu, modul ini digunakan untuk menghitung CAPPI. Sebelum melakukan analisis struktur dan evolusi sistem konvektif, terlebih dahulu dilakukan identifikasi sistem awan konvektif dan stratiform pada lintang dan bulan yang berbeda.

Struktur konvektif yang berkembang pada setiap ketinggian ditentukan dengan menggunakan nilai reflektifitas radar lebih besar dari 10 dBZ. Nilai reflektifitas lebih kecil dari 10 dBZ tidak menunjukkan reflektifitas dari awan hujan sehingga nilai reflektifitas lebih besar dari 10 dBZ digunakan untuk menghitung CAPPI. Untuk memisahkan awan konvektif dan stratiform, penelitian ini mengikuti metode yang digunakan oleh Steiner dkk.[16].

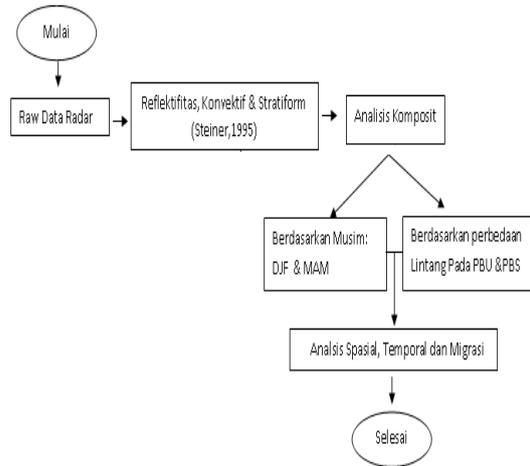
Adapun kriteria untuk mengidentifikasi konvektif dan stratiform adalah:

- Setiap grid pada medan reflektifitas dengan nilai reflektifitas sekurang-kurangnya 40 dBZ diidentifikasi sebagai pusat konvektif.
- Grid yang tidak mencapai batas ambang konvektif dikatakan sebagai pusat konvektif jika perbedaan antara nilai reflektifitasnya lebih besar dibandingkan dengan nilai rerata sekitarnya (*background*). Intensitas wilayah *background*

ditentukan dengan merata-ratakan *echo* radar yang tidak bernilai nol pada jarak 11 km.

(c). Daerah selain dua kategori diatas diidentifikasi sebagai daerah stratiform

Setelah identifikasi konvektif dan stratiform, tahap selanjutnya melakukan komposit dari nilai reflektifitas yang tergolong awan konvektif dan stratiform. Komposit dilakukan pada bulan yang berbeda yaitu bulan basah (DJF), dan peralihan (MAM). Untuk mengidentifikasi apakah terdapat perbedaan aktifitas konvektif bagian utara PB (PBS) dan bagian selatan PB (PBS) dilakukan juga analisis spasial dan temporal serta pembuatan diagram Hovmoller untuk meninjau migrasi sistem awan hujan pada lintang yang berbeda. Adapun alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

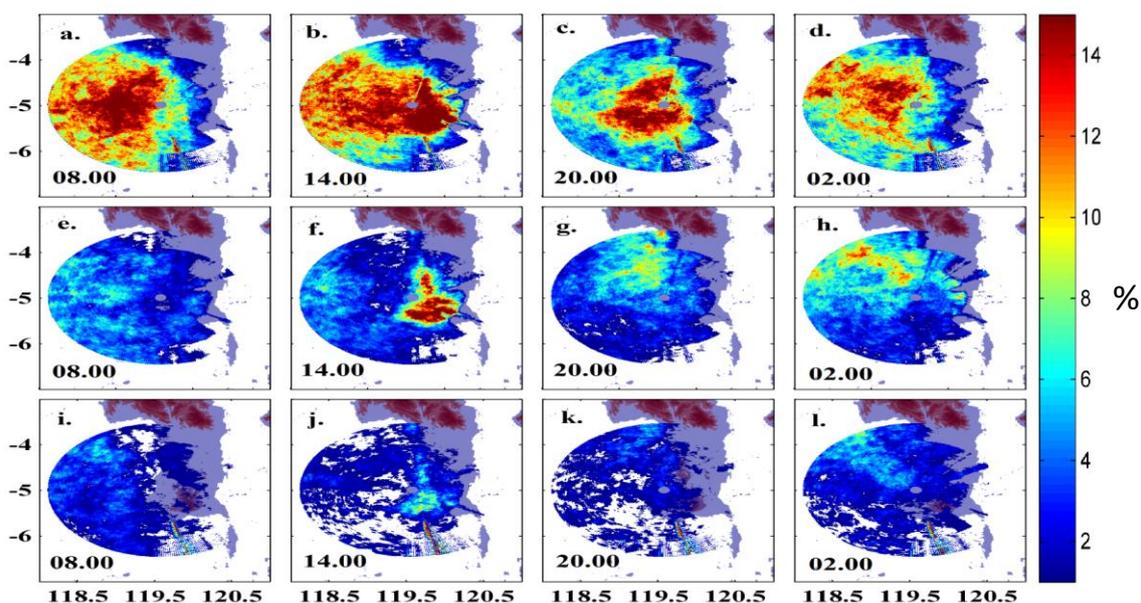


Gambar 2. Diagram alir penelitian pengolahan data radar cuaca

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Variasi Musiman Distribusi Spasial Frekuensi Awan Hujan.** Distribusi spasial awan hujan (Gambar 3) diidentifikasi dengan nilai reflektifitas yang lebih besar dari 10 dBZ, kemudian dihitung frekuensi kejadiannya pada setiap jam. Frekuensi kejadian awan hujan dituangkan dalam persentasi artinya jumlah reflektifitas awan hujan (>10 dBZ) yang terjadi pada waktu tertentu (00-23 WS) dibagi dengan banyaknya sampel data yang tersedia pada setiap waktu. Semakin tinggi persentasi artinya semakin banyak awan hujan yang terjadi pada wilayah dan waktu tersebut. Adapun seluruh tanda waktu dalam tulisan ini mengacu pada waktu setempat (WS/WITA). Pada periode DJF aktifitas awan hujan cenderung lebih besar. Hal ini tampak frekuensi kemunculan pada setiap jam lebih besar dibandingkan bulan lainnya. Awan-awan hujan dengan frekuensi besar tampak terkonsentrasi di

daratan pada jam 12 WS-19 WS dengan puncaknya berada pada jam 14 WS dan 15 WS. Walaupun demikian pada periode jam tersebut awan hujan juga masih tampak di lautan dengan frekuensi yang cukup besar. Aktifitas awan hujan di lautan berada pada jam 00-08 WS, selain waktu tersebut pembentukan awan berada pada wilayah pesisir pantai. Frekuensi kemunculan awan hujan di darat tampak berbeda mengikuti kontur ketinggian lokasi / topografi. Topografi yang lebih tinggi memiliki frekuensi aktifitas kemunculan awan hujan juga cukup tinggi, selain itu lebar pembentukan awan hujan juga tampak pada topografi PB yang tinggi. Angin laut memberikan peran terhadap puncak konsentrasi awan hujan pada jam 14-15 WS dan angin darat menyebabkan konsentrasi awan hujan terjadi dilautan pada jam 07-08 WS (lihat Gambar 6)



Gambar 3. Frekuensi kemunculan awan hujan pada bulan DJF (a-d); MAM (e-h); SON (i-l)

Konsentrasi frekuensi awan hujan di lereng gunung yang lebih tinggi diakibatkan karena efek dari pembendungan tingginya puncak PB [14]. Selain itu frekuensi munculnya awan hujan memiliki bentuk mengikuti kontur topografi PB. Hal ini juga terlihat dari hasil simulasi hujan lebat pada daerah Sulawesi Selatan yang dilakukan oleh Santriyani.[14] Konsentrasi puncak curah hujan di darat terjadi diawali jam 14-17 WS dan pada dini hari juga tampak frekuensi awan hujan meningkat di pesisir dan laut. Peningkatan kemunculan awan hujan tersebut diduga karena adanya *cold pool*, fenomena ini muncul dari simulasi model numerik sebagaimana kajian Santriyani.[14]. Namun terdapat perbedaan dengan hasil simulasi numerik yang dilakukan oleh Santriyani[14] yaitu pada jam 8 WS frekuensi curah hujan di lautan lebih kecil jika dibandingkan di darat. Hal ini berbanding terbalik dari hasil pengamatan radar yaitu tampak frekuensi lebih besar di laut dibandingkan di darat. Selain itu hasil simulasi yang dilakukan oleh Santriyani.[14] memperlihatkan waktu terjadinya *blocking* awan hujan jauh lebih cepat terjadi jika dibandingkan hasil observasi radar. Perbedaan ini diduga akibat penggunaan parameterisasi awan yang digunakan dalam simulasi model cuaca belum cocok.

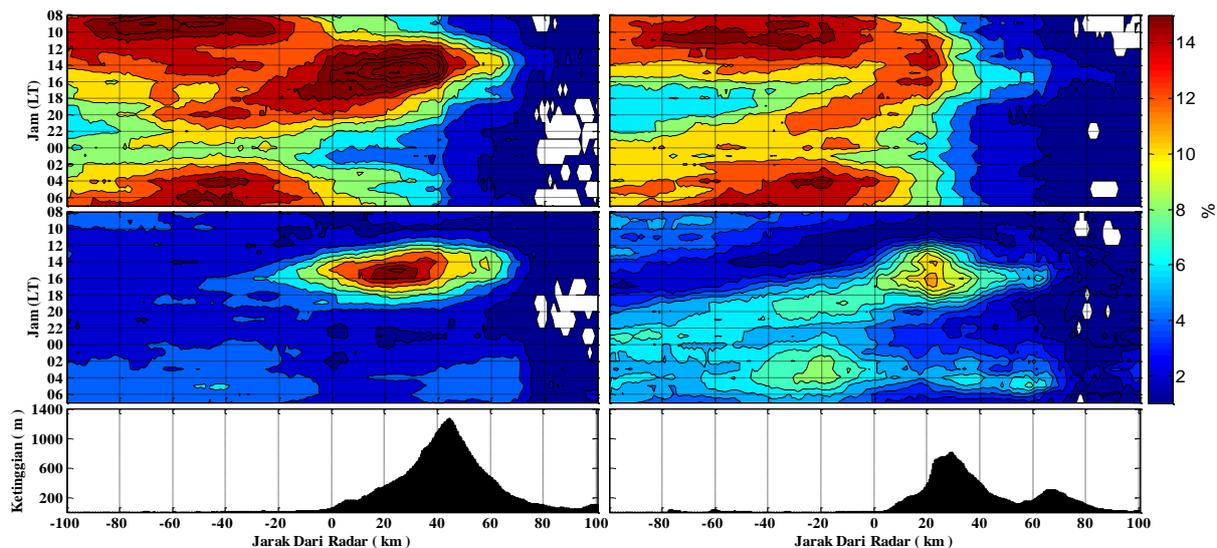
Komposit untuk periode MAM pada umumnya memperlihatkan hal yang sama dengan bulan DJF yaitu frekuensi terbesar pembentukan awan hujan di darat diawali pada jam 12 WS-19 WS dengan puncak jam 15 WS. Namun terdapat perbedaan secara spasial yaitu frekuensi awan hujan di darat sangat jelas perbedaannya antara darat dan laut pada jam 14 WS selain itu efek *chanelling* tampak pada bagian timur radar dengan frekuensi awan hujan relatif kecil dibandingkan bagian utara dan selatan PB. Pada jam 20 WS juga tampak frekuensi awan hujan lebih besar berada pada bagian utara radar yaitu daerah pesisir

Pada dini hari tepatnya pada jam 2 WS frekuensi awan hujan memanjang dari lautan ke pesisir di bagian utara radar. Frekuensi Awan ini memanjang dari arah Utara-Barat Laut (UBL) dan Barat Laut (BL). Fenomena tersebut dinamakan dengan *rainband* yang merupakan awan-awan hujan yang bergerak sejajar dengan garis yang sama [14]. Komposit bulan SON menunjukkan frekuensi munculnya awan hujan lebih kecil dibandingkan pada kedua periode sebelumnya. Pada periode ini wilayah sisi Barat PB memasuki musim peralihan dari musim kemarau ke musim hujan. Secara spasial kemunculan awan hujan sama dengan bulan MAM. Frekuensi terbesar munculnya awan hujan baik di darat dan laut juga tampak pada jam yang sama, selain itu frekuensi rendah munculnya awan juga tampak pada daerah *chanelling* pada jam 14 WS, serta tampak *rainband* pada jam 2 WS.

secara spasial frekuensi kemunculan awan hujan pada malam hari dari 20 WS- 01 WS antara bulan DJF dan MAM sangat berbeda (lihat Gambar 3 bagian c,d dan g,h). Perbedaan tersebut tampak dari konsentrasi awan hujan yang lebih dominan pada bagian utara radar pada malam hari ketika bulan MAM. Hal ini diakibatkan karena faktor lokal lebih dominan pada bulan MAM sehingga mengakibatkan konvergensi antara angin darat dari pulau Sulawesi dan Kalimantan yang menyebabkan konsentrasi awan hujan lebih besar terjadi di bagian utara radar. Selain itu pada jam 14 WS pada musim DJF dan MAM memperlihatkan perbedaan yang jelas terhadap luas kontur frekuensi awan hujan antara PBU dan PBS. Pada bagian PBS lebih luas dibandingkan PBU, hal ini karena topogografi pada wilayah PBS lebih landai walapun puncak gunungnya lebih tinggi selain itu jarak antara puncak dan pesisir pantai lebih besar sehingga inisialisasi konveksi lebih sering terjadi pada wilayah PBS.

Pada bulan DJF dan MAM menunjukkan adanya persamaan konsentrasi awan hujan . Persamaan ini tampak frekuensi awan hujan terkonsentrasi pada wilayah bagian barat PB. Hal ini mengindikasikan bahwa awan hujan yang terjadi tidak dapat melewati wilayah PB atau dengan kata lain pergerakan awan hujan terhalang oleh PB karena efek *blocking*. Pada bulan SON faktor lokal menyebabkan distribusi awan hujan terkonsentrasi pada jam 14 WS sama dengan pada bulan MAM namun konsentrasi lebih kecil hal ini diakibatkan suplai uap air sangat kecil karena bulan JJA sebelumnya mengalami musim kemarau pada bagian barat PB. Pada bulan DJF secara klimatologi angin level rendah yang kencang dan konsisten berhembus dari barat dapat menjadi sumber udara lembab secara terus menerus bagi wilayah Sulawesi di bagian barat PB. Sedangkan pada Pada bulan SON, dimana pengaruh dari Monsun Musim Panas Australia masih terjadi di wilayah Sulawesi Selatan [13], menyebabkan angin berhembus dari timur ke barat terbendung oleh PB.

**Migrasi Sistem Awan Hujan.** Distribusi spasial frekuensi awan hujan pada jam 14 WS pada bulan DJF dan MAM tampak berbeda antara sisi utara dan selatan radar. Hal ini diduga diakibatkan oleh perbedaan ketinggian topografi dan jarak lereng gunung ke garis pantai. Untuk mengetahui perbedaan distribusi awan hujan akibat perbedaan ketinggian topografi dilakukan dengan membagi lokasi kajian menjadi PB bagian utara disingkat PBU dan PB bagian selatan disingkat PBS (lihat Gambar 1), kemudian dilakukan analisis sistem migrasi pada kedua wilayah tersebut. Pada kajian selanjutnya bulan SON tidak dibahas karena pola distribusi awan hujan mirip dengan musim MAM.



**Gambar 4. Diagram melintang waktu-jarak (Hovmoller) rata-rata frekuensi kejadian awan hujan pada periode DJF (atas) dan MAM (tengah) pada wilayah PBS (kiri) dan PBU (kanan). Gambar warna hitam (bawah) merupakan rata-rata utara-selatan PBS (kiri) dan PBU (kanan) ketinggian topografi PB. Perbedaan warna merupakan perbedaan frekuensi kemunculan awan hujan**

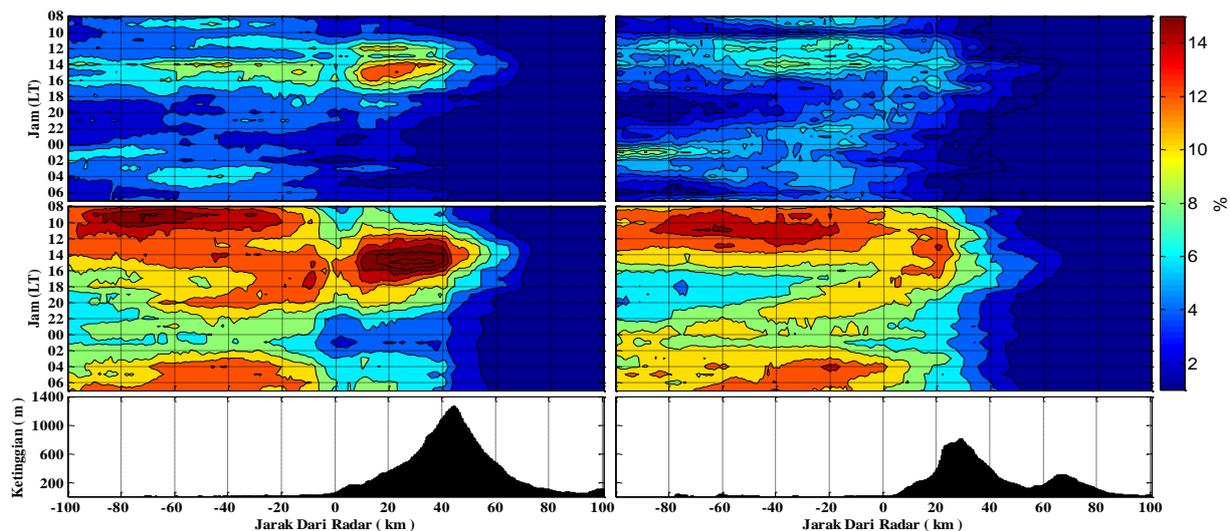
Migrasi awan hujan tanpa adanya pemisahan menunjukkan bahwa pada daerah PBS (Gambar 4) awan hujan mulai tumbuh di lautan pada dini hari sekitar jam 02 WS hingga jam 08 WS dan bergerak ke daratan dari pagi hari hingga sore hari sekitar jam 15 WS sejauh 60 km dari pesisir. Namun sebelum masuk ke daratan lebih jauh, ketika memasuki wilayah pesisir, frekuensi awan hujan sempat berkurang dan kemudian aktifitas awan hujan meningkat saat mendekati lereng gunung PB karena terhalang alirannya oleh PB. Pergerakan ini bergerak dari barat ke timur. Pada akhir sore tampak pergerakan ke barat hingga frekuensi awan hujan berkurang sekitar jam 22 WS di laut. Pada umumnya wilayah PBU mempunyai pola distribusi frekuensi kemunculan awan yang sama dengan PBS dengan beberapa perbedaan yaitu ukuran frekuensi awan hujan di daerah PBU tampak lebih kecil ketika di daratan. Selain itu perambatan ke arah barat lebih jelas terlihat.

Pada periode MAM (Gambar 4 tengah) wilayah PBS tampak maksimum frekuensi kejadian awan hujan terjadi pada jam 13-17 WS dan jam 3-7 WS. Frekuensi maksimum pertama tampak tidak merambat dari barat ke timur tetapi munculnya awan hujan diawali pada daerah lereng PB bagian barat kemudian cenderung merambat ke barat. Frekuensi kedua tampak di sisi timur PB dan tidak tampak adanya perambatan. Namun lain halnya pada PBU sangat jelas terlihat bahwa frekuensi awan hujan diawali di lereng PB pada jam 13-17 WS dan merambat ke barat. Selain itu tampak frekuensi awan hujan lebih besar dibandingkan PBS pada jam 3-7 WS disisi barat PB.

Migrasi awan hujan pada periode DJF (Gambar 4 atas) menunjukkan adanya dua sumber awan hujan

yaitu pertama berasal dari laut bergerak memasuki daratan dan kedua berasal dari gunung dan bergerak menuju lautan. Namun frekuensi awan hujan ketika memasuki daerah pesisir tampak berkurang yang terjadi baik itu pada wilayah PBS dan PBU. Berbeda halnya dengan bulan MAM, tidak ada sumber awan hujan dari laut yang bergerak ke darat. Sumber awan hujan tampak berasal dari gunung dan bergerak ke laut. Hal lain yang perlu mendapatkan perhatian adalah pergerakan awan hujan menuju ke laut yang hanya tampak pada PBU. Untuk memahami penyebab fenomena tersebut maka dilakukan pemisahan jenis sumber awan hujan yaitu awan hujan konvektif dan stratiform. Selain itu, pemisahan jenis awan digunakan untuk memperlihatkan apakah ada pergerakan awan konvektif atau pertumbuhan awan stratiform yang tampak seolah-olah bergerak.

Pada pembahasan ini, aktivitas konvektif akan diklasifikasikan menjadi awan hujan konvektif dan stratiform berdasarkan metode Steiner dkk., [16]. Kemudian analisis pergerakan awan dilakukan dengan membuat diagram Hovmoller dari hasil komposit pada setiap jam. Gambar 5 menunjukkan migrasi frekuensi awan hujan konvektif saat bulan DJF. Pada PBS terjadi pembentukan awan hujan konvektif yang bersamaan baik di laut maupun di gunung pada sekitar jam 14-16 WS. Jika dibandingkan antara PBS dan PBU, frekuensi kemunculan awan hujan konvektif lebih besar terjadi pada PBS. Selain itu, awan hujan konvektif juga terbentuk di laut pada jam 03-05 WS. Pada PBS tampak adanya migrasi awan konvektif dari laut menuju darat, namun tidak terlihat pada wilayah PBU.



**Gambar 5. Diagram melintang waktu-jarak (Hovmoller) rata-rata frekuensi kejadian awan hujan pada periode DJF untuk awan konvektif (atas) dan stratiform (tengah)**

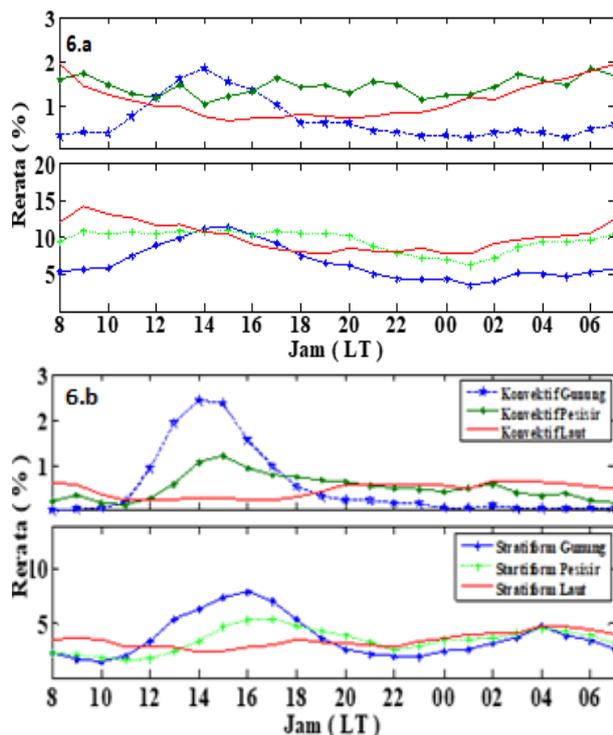
Migrasi awan hujan stratiform pada periode DJF (Gambar 5). Pada PBS frekuensi awan hujan stratiform maksimum terjadi pada jam 08-10 WS dan jam 13-17 WS. Nampak adanya migrasi awan stratiform dari laut menuju darat hingga jam 18 WS dan berubah arah menuju laut hingga jam 00 WS. Selain itu terlihat jelas daerah pesisir menjadi batas migrasi awan hujan stratiform yang ditunjukkan dengan pengurangan frekuensi awan hujan stratiform. Begitupula pada PBU tampak frekuensi awan hujan stratiform dibatasi oleh wilayah pesisir, tetapi pada wilayah ini migrasi dari darat ke laut lebih jelas terlihat dibandingkan pada PBS. Pada bulan MAM (Gambar tidak ditampilkan) memperlihatkan aktivitas awan hujan konvektif hanya tumbuh di gunung dan tidak tampak bermigrasi (stationary) hal ini mengindikasikan pengaruh lokal yang kuat pada proses pembentukan awan hujan pada musim tersebut. Namun awan stratiform di PBU tampak bermigrasi dari timur ke barat menuju laut dimulai pada sore hari sekitar jam 16-18 WS kemudian bergerak ke laut hingga jam 00 WS. Adapun puncak maksimum frekuensi munculnya awan hujan mirip dengan yang terjadi pada bulan DJF.

Pergerakan sistem awan konvektif dan Stratiform sangat erat kaitannya dengan kondisi angin lingkungannya. Pada periode DJF awan konvektif stratiform bergerak ke Timur karena angin baratan sangat aktif pada periode ini [13]. Namun ketika siang hingga sore hari pergerakan tampak pergerakan awan stratiform ke timur walaupun sinyalnya sangat lemah, pergerakan ini diduga karena efek angin yang bertiup pada level atas yang bergerak ke arah timur. Fakta ini juga tampak pada kajian yang dilakukan oleh Yanase dkk. [18] di Sumatera bagian Selatan yaitu ketika angin baratan kuat baik hujan konvektif dan stratiform bergerak ke timur hal ini konsisten dengan arah angin pada

troposfer tingkat rendah (1000-500 hPa) yang bergerak ke timur. Sedangkan pergerakan awan Stratiform ke barat erat kaitannya dengan pergerakan angin timuran pada ketinggian menengah ke atas.

Secara umum baik sebelum dan setelah adanya pemisahan awan hujan konvektif dan stratiform masih terlihat adanya pengurangan frekuensi awan hujan ketika migrasinya melewati wilayah pesisir. Hal ini terlihat jelas pada wilayah PBS pada bulan DJF yang ditandai dengan awan konvektif bermigrasi ke darat sedangkan stratiform tampak bermigrasi ke laut tetapi terjadi pengurangan frekuensi pada wilayah pesisir. Peninjauan karakteristik siklus diurnal awan hujan konvektif dan stratiform pada wilayah gunung, pesisir, dan laut juga dilakukan untuk melihat perbedaan fitur pada ketiga wilayah tersebut terutama pada wilayah pesisir.

**Karakteristik Siklus Diurnal Awan Konvektif dan Stratiform.** Gambar 6 menunjukkan variasi diurnal awan konvektif yang terdapat pada wilayah laut, pesisir dan gunung (lihat gambar 1). Pada periode DJF fluktuasi awan hujan konvektif sangat jelas terlihat pada daerah gunung dengan maksimum terjadi pada jam 14 WS. Pada wilayah laut maksimum aktifitas konvektif terjadi pada jam 7-8 WS. Sedangkan wilayah pesisir tidak nampak adanya fluktuasi yang signifikan, namun aktifitas konvektif hampir terjadi sepanjang waktu. Selain itu awan konvektif di gunung memiliki persentase lebih besar pada periode DJF. Adapun awan stratiform di gunung mempunyai fluktuasi signifikan dengan maksimum terjadi pada jam 15WS. Berbeda halnya dengan wilayah pesisir dan laut yang tidak menunjukkan adanya fluktuasi signifikan tetapi memiliki persentase lebih besar dibanding pada periode MAM.



**Gambar (6.a)** Variasi diurnal awan hujan konvektif (atas) dan stratiform (bawah) pada periode DJF di wilayah gunung, pesisir, laut. (6.b) Sama dengan Gambar 6.a tetapi untuk periode MAM.

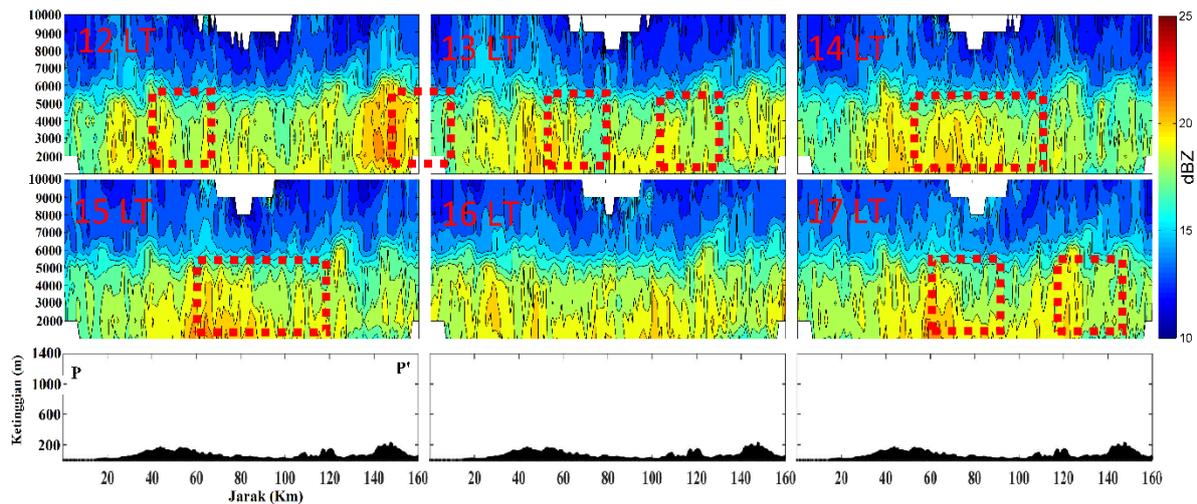
Perbandingan variasi siklus diurnal awan hujan konvektif dan stratiform antara tiga wilayah kajian menunjukkan bahwa wilayah pesisir memiliki rata-rata konveksi yang lebih besar pada hampir semua waktu. Hal ini diduga akibat wilayah pesisir memperoleh awan hujan konveksi yang berasal dari laut dan gunung. Sedangkan untuk awan hujan stratiform, wilayah laut memiliki rata-rata persentase yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah gunung dan pesisir. Hal ini menunjukkan bahwa dominansi awan stratiform terjadi di wilayah laut. Dominansi ini diakibatkan oleh pergerakan awan stratiform dari wilayah gunung menuju laut dan masa hidupnya lebih lama jika dibandingkan pada wilayah gunung dan pesisir. Masa hidup awan hujan baik konvektif maupun stratiform ini yang menyebabkan besar kecilnya persentase awan hujan. Semakin besar masa hidup awan stratiform semakin tinggi pula persentase kemunculan awan stratiform yang terekam oleh radar cuaca.

Pada periode MAM aktivitas awan konvektif (Gambar 6.b) tampak pada wilayah gunung maupun pesisir memiliki fluktuasi signifikan maksimum terjadi pada jam 14 WS di gunung dan 15 WS di pesisir. Namun pada wilayah laut tidak tampak fluktuasi yang berarti. Sedangkan untuk awan stratiform pada periode MAM tampak daerah

gunung memiliki fase puncak pada jam 16WS dan puncak kedua pada jam 04WS. Hal yang sama juga terjadi pada wilayah pesisir dengan puncak pertama berada pada jam 16-17WS dan puncak kedua pada jam 04WS. Berbeda pada wilayah laut tidak menunjukkan adanya fluktuasi yang signifikan.

Jika dibandingkan antara fase puncak aktifitas awan pada kajian ini dengan hasil kajian Renggono dkk.[8] di daerah Serpong (Utara Jawa Barat) terdapat kesesuaian yaitu puncak aktifitas awan konvektif mendahului awan stratiform. Selain itu awan hujan stratiform juga tampak lebih dominan ketika periode DJF. Namun terdapat perbedaan puncak awan hujan konveksi dan stratiform di Serpong yaitu pada jam 15WS dan diikuti puncak awan stratiform pada jam 17-19WS, tetapi pada wilayah Kototabang (Sumatera), awan konvektif dan stratiform memiliki puncak masing masing pada jam 14WS dan 18WS. Selain itu kajian yang dilakukan oleh Wu.dkk [17] mengungkap bahwa jumlah *Precipitable water* meningkat pada siang hari dan mencapai maksimum pada sore hari. Hal yang sama juga tampak pada kajian Tabata dkk.[9] di wilayah Manado (Sulawesi) yang memiliki puncak awan hujan konvektif pada jam 14WS sedangkan puncak awan stratiform tidak jelas. Sedangkan pada wilayah Pontinak (Kalimantan) puncak konvektif terjadi jam 14-15WS dan stratiform terjadi pada 19-20WS. Adapun kejadian hujan dominan dari hasil kajian Wu dkk.[11] menyatakan bagian barat Kalimantan sering terjadi hujan ketika sore dan malam hari sedangkan pada bagian timur sering terjadi saat pagi hari. Perbedaan puncak awan kemungkinan disebabkan oleh perbedaan metode dan jenis radar yang digunakan serta perata-ratan variasi diurnal yang dilakukan. Berbeda dengan yang dilakukan oleh Renggono dkk.[8] dan Tabata dkk.[9] pada kajian ini dipisahkan antara periode DJF dan MAM.

Dari hasil analisis di atas wilayah pesisir menjadi fokus pembahasan selanjutnya karena pada wilayah ini menunjukkan adanya pengurangan frekuensi awan hujan ketika bermigrasi dari laut ke gunung atau sebaliknya (Gambar 5). Namun disisi lain wilayah pesisir juga menunjukkan aktifitas konvektif terjadi hampir sepanjang waktu pada periode DJF (Gambar 6.a). Sehingga penelusuran migrasi pada wilayah ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi adanya perbedaan arah migrasi awan ketika memasuki wilayah pesisir. Penelusuran dilakukan dengan membuat penampang melintang ketinggian dan jarak P-P'(Gambar 1) pada wilayah pesisir dengan perata-rataan secara zonal pada periode saat frekuensi awan hujan maksimum di wilayah darat (pesisir dan gunung) yaitu pada jam 12-17 WS.



**Gambar 7. Struktur vertikal reflektifitas rata-rata di wilayah pesisir pada periode DJF dimana frekuensi awan hujan maksimum terjadi di darat yaitu Jam 12-14 WS (atas), 15-17 WS (tengah). Gambar warna hitam (bawah) merupakan rata-rata timur-barat ketinggian topografi PB wilayah pesisir (P-P')**

**Wilayah Migrasi Awan Konvektif Aktif.** Gambar 7 menggambarkan rata-rata reflektifitas awan hujan di wilayah pesisir bagian Selatan (P) sampai pesisir bagian utara (P'), lihat gambar 1, pada ketinggian hingga 10 km. Frekuensi awan hujan muncul di pesisir diawali sekitar jam 12 WS dengan nilai reflektifitas diatas 20 dBZ tampak pada jarak (P s/d P') 20-40 km dan 140-160 km. Pada jam 13-17 WS tampak pengurangan pada jarak tersebut. Pada jam 13 WS, nilai reflektifitas tertinggi berada pada jarak 40-60 km dan 80-100 km, kemudian seolah-olah reflektifitas tertinggi tersebut bergerak saling mendekat pada jarak 40-100 km hingga jam 15 WS. Pergerakan saling mendekat tersebut diduga karena awan hujan masing-masing bergerak menuju *channeling* yang terdapat pada topografi PB yang lebih rendah. Setelah itu reflektifitas maksimum berkurang intensitasnya pada jam 16 WS. Pada jam 17 WS tampak reflektifitas maksimum tersebut membentuk dua blok yang terpisah.

Secara umum Gambar 7 menjelaskan bahwa ketika awan hujan memasuki pesisir arah pergerakannya berubah. Perubahan pergerakan ini berubah secara meridional baik itu ke utara maupun ke selatan.

#### 4. Kesimpulan

Pada periode DJF awan konvektif bermigrasi dari barat ke timur menuju daratan pada awal pagi hingga sore hari, sedangkan pada awal malam hari awan stratiform di gunung bergerak menuju lautan (timur ke barat). Adapun fase siklus diurnal puncak awan konvektif satu jam lebih awal dari awan stratiform. Sedangkan pada periode MAM tidak tampak adanya migrasi dari barat ke timur melainkan awan konvektif tumbuh dan berkembang di gunung (stationari) tetapi awan stratiform bergerak dari timur ke barat ke wilayah pesisir dan laut. Adapun fase puncak siklus diurnal awan

konvektif terjadi dua jam lebih awal dari awan stratiform. Secara umum migrasi awan yang terjadi pada wilayah PB bergerak secara zonal (timur-barat) yang mengakibatkan awan hujan terkonsentrasi pada PB bagian barat. Hal ini mengindikasikan adanya efek *blocking*. Namun demikian, efek *blocking* tidak selalu terjadi. Hal ini ditandai dengan migrasi awan yang tampak bergerak secara meridional (utara-selatan) ketika melintasi pesisir PB mengakibatkan aktivitas konveksi terjadi sepanjang waktu di wilayah pesisir PB.

#### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Pusdiklat BMKG yang telah memberikan beasiswa pada penulis pertama selama melaksanakan pendidikan di ITB. Juga kepada Tyo Hananto pegawai Stasiun Meteorologi Hasanuddin Makassar (BMKG) yang telah menyediakan data radar, serta Faiz Rohman Fajary (ITB) dan Tiin Sinatra (LAPAN) atas saran dalam penyusunan sebagian scripting MATLAB.

#### Daftar Pustaka

- [1] Yang, G.,Y., and J. Slingo, "The diurnal cycle in the Tropics,"*Mon. Wea. Rev.*, vol 129,pp. 784–801, 2001.
- [2] Qian, Jian-Hua, "Why Precipitation Is Mostly Concentrated over Islands in the Maritime Continent,"*J. Atmos. Sci*,vol 65,.pp. 1428-1441,2008
- [3] Nitta, T. and S. Sekine, "Diurnal variation of convective activity over the tropical western Pacific,"*J. Meteor. Soc. Japan*, vol 72,pp. 627–641, 1994.
- [4] Sakurai, N., Murata, F., Yamanaka, M.D., Mori, S., Hamada, J.I, "Diurnal Cycle of Cloud System Migration over Sumatera Island,"*JMS of Japan*, vol 73, pp.835-850, 2005.

- [5] Mori, S., Jun-Ichi, H., Tauhid, Y.I., Yamanaka, M.D., Okamoto, N., Murata, F., Sakurai, N., Hashiguchi, H., dan Sribimawati, T, "Diurnal Land-Sea Rainfall Peak Migration over Sumatera Island, Indonesian Maritime Continent, Observed by TRMM Satellite and Intensive Rawinsonde Soundings", *Mon. Wea. Rev.*, vol 132., pp.2021-2039, 2004.
- [6] Ichikawa, Hirokidan T. Yasunari, "Time-Space Characteristics of Diurnal Rainfall over Borneo and Surrounding Oceans as Observed by TRMM-PR" *J. Climate.* vol 19, pp. 1238-1260, 2006
- [7] Ichikawa, Hirokidan T. Yasunari, "Intraseasonal Variability in Diurnal Rainfall over New Guinea and the Surrounding Oceans during Austral Summer," *J. Climate.* vol 21, pp. 2852-2868, 2008
- [8] Renggono, F., Hashiguchi, H., Fukao, S., Yamanaka, M. D., Ogino, S.-Y., Okamoto, N., Murata, F., Sitorus, B. P., Kudsy, M., Kartasmita, M., Ibrahim, G, "Precipitating clouds observed by 1.3-GHz BLR in equatorial Indonesia," *Annales Geophysicae* , vol 19, pp. 889-897, 2001
- [9] Tabatata, Y., Hashiguchi, H., Mori, S., Syamsudin, F., Manik, T., Yamamoto, M.K., Yamamoto, M, "Observational study on diurnal precipitation cycle in equatorial Indonesia using 1.3-G Hz wind profiling radar network and TRMM precipitation radar," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol 73, pp. 1031-1042, 2011.
- [10] Sakurai, N., M. Kawashima, Y. Fujiyoshi, H. Hashiguchi, T. Shimomai, S. Mori, J.-I. Hamada, F. Murata, M. D. Yamanaka, Y. I. Tauhid, T. Sribimawati, and B. Suhardi, "Internal structures of migratory cloud systems with diurnal cycle over Sumatera Island during CPEA-I campaign," *J. Meteor. Soc. Japan*, vol 87, pp. 157-170, 2009
- [11] Wu, P., M., Hamada, J.-I., Yamanaka, M.D., Matsumoto, J, "The impact orographically induced gravity wave on the diurnal cycle of rainfall over southeast Kalimantan Island, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, vol 2, pp. 35-39, 2009
- [12] Gunawan, D, "Atmospheric Variability in Sulawesi, Indonesia-Regional Atmospheric Model ResuWSs and Observations,": Disertasi Program Doktor, Universität Göttingen, 2006.
- [13] Putra. Made Dwijendra, "Analisis Siklus Hujan Tahunan di Sulawesi Selatan," Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, 2014.
- [14] Santriyani. Made, "Pengaruh Pegunungan Bawakaraeng Terhadap Aktivitas Konvektif di Wilayah Sulawesi Selatan," Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, 2014.
- [15] Heistermann, M. Jacobi, S. Pfaf, T., "Technical Note: An open source library for processing weatherradar data (*wradlib*)," *Hydrol. Earth Syst. Sci*, vol 17, pp. 863-871, 2013.
- [16] Steiner, M., Houze Jr., R. A., and Yuter, S, "Climatological Characterization of 3-D Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data," *J. Appl. Meteor*, vol 34, pp.1978-2007, 1995.
- [17] Wu, P., M., Hamada, J.I., Mori, S, Tauhid, I.Y, Yamanaka, M.D., "Diurnal Variation of Precipitable Water over a Mountainous Area of Sumatra Island " *American Meteorological Society*, vol 42, pp 10107-10115, 2003
- [18] Yanase, A., K. Yasunaga, and H. Masunaga "Relationship between the direction of diurnal rainfall migration and the ambient wind over the Southern Sumatra Island", *Earth and Space Science*, 4, doi:10.1002/2016EA000181, 2016