

ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER DI BAGIAN UTARA EKUATOR SUMATERA PADA SAAT PERISTIWA EL-NINO DAN DIPOLE MODE POSITIF TERJADI BERSAMAAN

Sri Woro B. Harijono

Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), Jakarta

E-mail : sriworo@bmg.go.id

ABSTRACT

Analysis of persisten normal to above normal of rainfall characteristic in north part of Sumatera during period of June-July-August (JJA) at the El Nino and positive phase of Dipole Mode (DM+) events occure simultaneously have conducted using several atmospheric parameters, namely precipitable water, cloud cover, and Outgoing Longwave Radiation (OLR). The East-West and North-South circulation which is the mode of water vapour transport to the these region is depicted as the zonal and meridional circulation map.

When the DM+ and El Nino events occurred simultaneously (1963, 1973, 1982 and 1997), they will causes shifting the circulations away from Indonesia region to the central Pacific Ocean as the impact of El Nino and to the west part of India Ocean as the impact of DM(+). The dynamic of water vapour mass flow processes experience an anomaly hence the rainfall in the most south part of Indonesia decrease. But in the north part of Sumatra Island (Aceh – Medan – Lhokseumawe – Meulaboh), during JJA period the rainfall characteristics is high than average. This matter because of there is still available of water vapor around research region identified from parameter of OLR, precipitable water, cloud cover as well as the existence of water vapor mass transport mechanism to the region identified as the India Monsoon.

More detailed result of rainfall analysis indicates that the rainfall characteristic in Medan and Lhokseumawe does not significant compared to Aceh and Meulaboh. This is caused by local factor like geography position and of local circulation which playing an important role in lifting of air mass/convection and in function of forming mechanism of rainfall in the tropical zone. The geographical position of Medan and of Lhokseumawe residing behind the Bukit Barisan mountain become leeward during period of JJA. So that the rainfall although is high than average but it is not significant, whereas Aceh and Meulaboh which located in the front of the Bukit Barisan mountain become area of windward at this period and has a significant of above normal rainfall.

ABSTRAK

Analisa kondisi curah hujan yang tetap normal atau atas normal di bagian utara Sumatera pada periode bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) pada saat peristiwa El Nino dan *Dipole Mode Positif* terjadi secara bersamaan (simultan) telah dilakukan dengan menggunakan parameter Air Mampu Curah (*Precipitable Water, PW*), tutupan awan, dan radiasi gelombang panjang (OLR). Sirkulasi atmosfer Timur – Barat dan Utara – Selatan yang merupakan wahana transportasi masa uap air menuju bagian utara Sumatera telah digambarkan dalam bentuk peta sirkulasi Zonal dan peta sirkulasi Meridional.

Pada saat kejadian *Dipole Mode* (DM) positif dan terjadi El Nino akan menyebabkan bergesernya sistem sirkulasi zonal yang menjauhi wilayah Indonesia ke arah Samudera Pasifik bagian tengah karena pengaruh El Nino dan ke arah barat Samudera India karena pengaruh DM positif. Proses dinamika aliran massa uap air ini mengalami anomali mengakibatkan penurunan curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia bagian selatan ekuator. Namun pada empat lokasi penelitian, di bagian utara Sumatera (Aceh – Medan – Lhokseumawe – Meulaboh), selama periode JJA saat terjadinya DM positif dan tahun El Nino (1963, 1973, 1982 dan 1997) sifat curah hujannya lebih tinggi dari keadaan rata-ratanya. Hal ini disebabkan masih adanya ketersediaan uap air di sekitar wilayah penelitian yang teridentifikasi antara lain; dari parameter OLR, Air Mampu Curah (*Precipitable water*) dan tutupan awan serta adanya mekanisme transfer masa uap air tersebut ke arah bagian utara Sumatera yang diidentifikasi sebagai angin Monsun India.

Analisis lebih rinci dari data curah hujan rata-rata bulanan di atas menunjukkan bahwa sifat hujan di Medan dan Lhokseumawe tidak signifikan bila dibandingkan dengan Aceh dan Meulaboh. Hal ini disebabkan faktor lokal seperti posisi geografi dan sirkulasi lokal berperan penting dalam proses pengangkatan massa udara/konveksi dan berfungsi dalam mekanisme pembentukan hujan di daerah tropis. Posisi geografis Medan dan Lhokseumawe yang berada di balik pegunungan Bukit Barisan menjadi daerah belakang angin selama periode Juni-Juli-Agustus (JJA), sehingga tinggi/besarnya curah hujan dari normalnya tidak signifikan. Sementara Aceh dan Meulaboh yang berada di muka pegunungan Bukit Barisan menjadi daerah hadap angin pada periode tersebut dan sifat hujan atas normalnya signifikan.

Kata kunci: *ENSO, India Ocean Dipole Mode (IODM), Sirkulasi Walker, Sirkulasi Hadley, PW, Tutupan Awan.*

1 PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia dikenal dalam terminologi ilmu atmosfer dengan nama Benua Maritim (*the Maritime Continent*). Istilah ini pertama kali dikemukakan oleh Ramage (1968) yang menunjukkan luasnya wilayah

Indonesia seperti benua, tetapi didominasi oleh air (laut), dan juga dibatasi oleh dua samudera (Hindia dan Pasifik) serta dua benua Asia di utara dan Australia di selatan. Dengan kondisi seperti itu, maka atmosfer di sebagian besar wilayah Indonesia relatif basah hampir sepanjang tahun, akibat banyaknya kandungan uap air yang terbentuk, sehingga mempermudah terbentuknya kumpulan awan-awan kumulonimbus (Cb) yang dikenal dengan istilah *Super Cloud Cluster* (SCC) yang menunjukkan besarnya perubahan energi yang terjadi sebagai dasar penggerak dari sirkulasi permukaan bumi secara keseluruhan (*global circulation*). Energi inilah yang menggerakkan faktor-faktor pengendali sistem iklim di wilayah Indonesia dan sekitarnya.

Sistem iklim dimaksud adalah interaksi dari beberapa faktor pengendali yang secara spasial dibagi ke dalam beberapa skala yaitu faktor yang berskala luas (global), yakni *El Niño and Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM), faktor berskala regional, yakni monsun dan faktor yang berskala lokal seperti posisi geografi, bentuk topografi dan sirkulasi setempat. Ditinjau dari skala waktu, faktor-faktor tersebut adalah penyebab variabilitas curah hujan antar tahun (*inter annual variability*), variasi musiman (*seasonal variability*) dan variasi di dalam musim (*intra seasonal variability*). Sementara secara proses fisik dan dinamika atmosfer, sistem pengendali iklim dengan skalanya seperti tersebut di atas dikenal dengan sirkulasi zonal (sirkulasi Walker), sirkulasi meridional (sirkulasi Hadley) dan osilasi zonal *intra seasonal* (*Madden-Julian Oscillation*, MJO). Keseluruhan sistem pengendali iklim ini, diduga erat mempengaruhi variabilitas curah hujan di wilayah Indonesia.

Curah hujan sebagai salah satu unsur cuaca/iklim sangat dominan pengaruhnya dan sangat nyata terasa variasinya di wilayah tropis seperti Indonesia dibanding unsur yang lain. Mengetahui karakteristik curah hujan baik variabilitas maupun kondisi ekstrimnya yang diakibatkan faktor-faktor pengendalinya seperti tersebut di atas, sangatlah penting agar karakteristik tersebut dapat dikenali dan disiasati untuk dimanfaatkan sebesar-besarnya dalam segala aktivitas manusia, misalnya untuk keperluan kegiatan dalam bidang pertanian.

Tulisan ini dimaksudkan untuk menganalisa parameter fisik dan dinamika atmosfer yang mempengaruhi variabilitas curah hujan di bagian utara ekuator Sumatera pada periode bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) pada saat peristiwa *El Niño* dan *Dipole Mode Positif* yang terjadi secara bersamaan (simultan).

2 TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu faktor terjadinya variabilitas iklim khususnya curah hujan antar tahunan di wilayah Indonesia, khususnya untuk kawasan Indonesia Timur adalah fenomena berskala global yang dikenal dengan nama ENSO. Secara umum peristiwa ENSO berulang antara 2 hingga 7 tahun. Di Indonesia peristiwa ini menyebabkan kekeringan selama kejadian *El Niño* atau curah hujan yang tinggi pada saat kejadian *La Niña* (Ropelewski, dan Halpert, 1987). Terdapat hubungan yang erat antara curah hujan di Indonesia dan indikator ENSO seperti dengan suhu permukaan laut di wilayah Pasifik Timur (dikenal dengan istilah daerah/kawasan NINO) atau dengan Indeks Osilasi Selatan (*Southern Oscillation Index*, SOI) sebagaimana yang telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti (Haylock and McBride 2001; Hendon, 2003; Aldrian, 2002; Gunawan dan Gravenhorst, 2005).

Dalam dekade terakhir, fenomena yang mirip dengan ENSO tetapi berada di Samudera Hindia telah mulai menarik perhatian para peneliti bidang atmosfer dan kelautan karena ternyata memberi dampak yang saling menguatkan atau memperlemah pengaruh ENSO. Peristiwa osilasi yang terjadi di wilayah barat Indonesia ini dikenal dengan istilah *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) sebagai ENSO mininya untuk kawasan Pasifik Barat. Istilah ini pertama kali dikemukakan oleh peneliti Jepang Yamagata dan Masumoto (1992). IODM merupakan fenomena interaksi antara laut dan atmosfer di Samudera Hindia yang ditetapkan berdasarkan selisih suhu permukaan laut di perairan sebelah timur Benua Afrika dan di perairan Samudera Hindia sebelah barat pulau Sumatera. Selisih suhu permukaan laut kedua tempat tersebut disebut Indeks *Dipole Mode* (*Dipole Mode Index*, DMI). Pada saat terjadinya DMI positif, maka intensitas curah hujan di wilayah Indonesia bagian barat umumnya relatif rendah, sementara pada saat DMI negatif, maka intensitas curah hujan di wilayah Indonesia bagian barat umumnya relatif tinggi.

Peristiwa *Dipole Mode* terjadi secara bebas, tidak saling mengikat, baik dengan *El Niño* ataupun Osilasi Selatan. Ia merupakan fenomena kopel (*couple*) antara lautan dan atmosfer yang unik di Samudera Hindia Tropis (Saji et al., 1999; Webster et al., 1999; Ashok et al., 2001). Kajian tentang peran aktif *El Niño* dan *Dipole Mode*, secara terpisah sebagai fenomena dalam sistem iklim di kawasan tropis telah banyak dilakukan. Namun perilaku dan peran fenomena tersebut secara bersama-sama, terhadap curah hujan di kawasan Indonesia belum banyak diketahui (Saji et al, 1999).

Menganalisa variabilitas curah hujan tidak lepas dari pengetahuan tentang pola dasar curah hujan yang ada di wilayah Indonesia. Aldrian dan Susanto (2003) telah menggunakan data curah hujan periode 1961-1990 untuk mengelompokkan pola hujan ke dalam tiga tipe hujan yaitu tipe *monsoon*, tipe anti monsun dan tipe dua puncak yang dikenal dengan istilah *equatorial*. Pengelompokkan ini didasarkan pada pola distribusi curah hujan

bulanan. Tipe hujan monsun, sesuai namanya dipengaruhi oleh sirkulasi monsun dengan puncak curah hujan umumnya berada pada bulan-bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dan curah hujan rendah terjadi pada bulan-bulan Juni-Juli-Agustus (JJA). Sebagian besar wilayah Indonesia memiliki pola hujan seperti ini. Pola hujan tipe anti-monsoon berpola kebalikan dari tipe hujan monsun dalam arti waktu terjadinya periode curah hujan maksimum dan minimum. Daerah yang memiliki pola ini tidak seluas tipe monsun, dan terdapat di daerah Sulawesi Tengah bagian timur, Maluku dan bagian utara Papua. Pola hujan tipe dua puncak (*equatorial*) umumnya terdapat di sepanjang *belt* ekuator dari pulau Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi.

3 DATA DAN METODE ANALISIS

3.1 Data

Data curah hujan rata-rata bulanan, khususnya saat periode kering (Juni, Juli, Agustus, JJA) tahun 1963, 1972, 1982 dan 1997 hasil pengamatan yang dilakukan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG), masing-masing untuk stasiun Medan, Lhokseumawe, Banda Aceh dan Meulaboh. Selain itu, juga digunakan data parameter fisik dan dinamika atmosfer dalam bentuk reanalisis diperoleh dari *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) pada periode yang sama.

3.2 Metode

Untuk mengkaji lebih lanjut dampak kedua peristiwa di atas (*El Niño*, dan *Dipole Mode* Positif), terhadap perilaku curah hujan pada stasiun-stasiun di atas secara bersamaan, maka digunakanlah analisis metode korelasi spasial. Metode ini dapat menggambarkan tingkat keterpengaruhannya antara variabel – variabel yang dikaji. Hasil korelasi pada masing – masing grid selanjutnya dipetakan dengan menggunakan analisis spasial yang dikenal dengan nama Sistem Informasi Geografi (SIG) agar distribusi korelasi terhadap wilayah dapat diidentifikasi. Sementara parameter fisik dan dinamika atmosfer, dianalisis secara grafik dan peta untuk melihat pola distribusi spasial dan temporal yang menunjang kajian pengaruh *El Niño* dan *Dipole Mode* terhadap perilaku curah hujan.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Topografi Terhadap Variabilitas Curah Hujan

Pulau Sumatera dibatasi secara membujur dari barat daya ke tenggara oleh rangkaian gunung yang membentuk pegunungan bernama Bukit Barisan. Kondisi topografi seperti ini sangat mempengaruhi pola curah hujan karena sirkulasi angin yang membawa uap air terpengaruh oleh

keadaan topografi di wilayah yang dilaluinya. Daerah-daerah yang menghadap ke arah datangnya sirkulasi angin yang dikenal dengan daerah hadap angin (*windward*) akan mendapat curah hujan lebih tinggi dibanding daerah yang membelakangi sirkulasi angin atau daerah bawah angin (*leeward*). Dari data curah hujan rata-rata bulanan daerah penelitian, pengaruh ini terlihat jelas di mana curah hujan pada periode Juni-Juli-Agustus (JJA) untuk daerah Meulaboh yang mewakili daerah hadap angin lebih tinggi dibanding Lhokseumawe yang mewakili daerah bawah angin untuk periode tersebut.

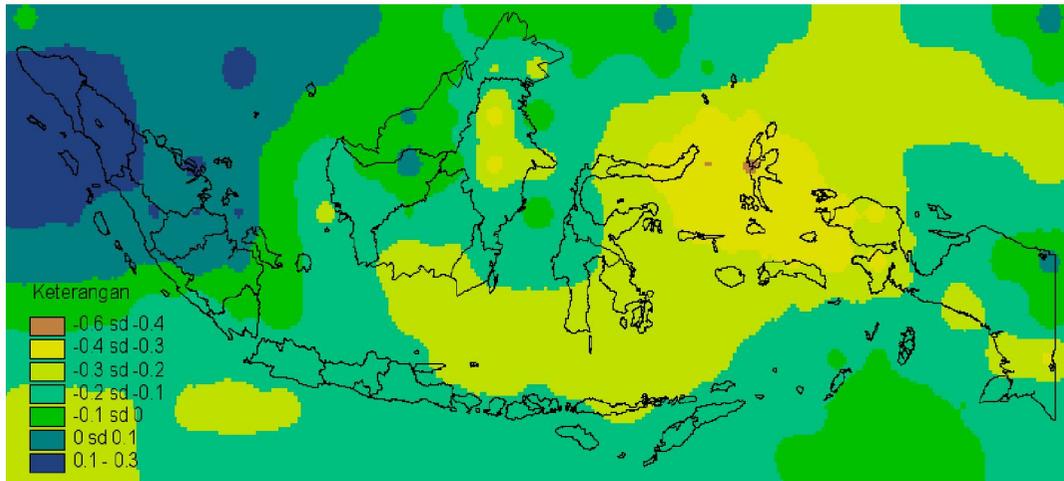
Untuk daerah Medan, pada periode JJA mempunyai curah hujan yang relatif tinggi dibandingkan Lhokseumawe, Banda Aceh dan Meulaboh akibat posisi geografis daerah Medan yang menghadap ke selat Malaka mendapat pengaruh lokal berupa angin yang membawa uap air dari perairan Selat Malaka. Data curah hujan rata-rata bulanan untuk periode JJA dapat dilihat pada Tabel 4-1. Hasil penelitian Gunawan (2006) tentang pengaruh topografi terhadap distribusi curah hujan di Sulawesi Tengah menunjukkan kuatnya pengaruh ketinggian dan posisi geografi terhadap penyebaran jumlah curah hujan.

Tabel 4-1: RATA-RATA CURAH HUJAN BULAN JUNI-JULI-AGUSTUS DI STASIUN MEDAN, ACEH, LHOKSEUMAWE, DAN MEULABOH

Stasiun	Juni	Juli	Agustus
Medan	149	153	193
Lhokseumawe	59	94	82
Banda Aceh	63	76	75
Meulaboh	164	191	224

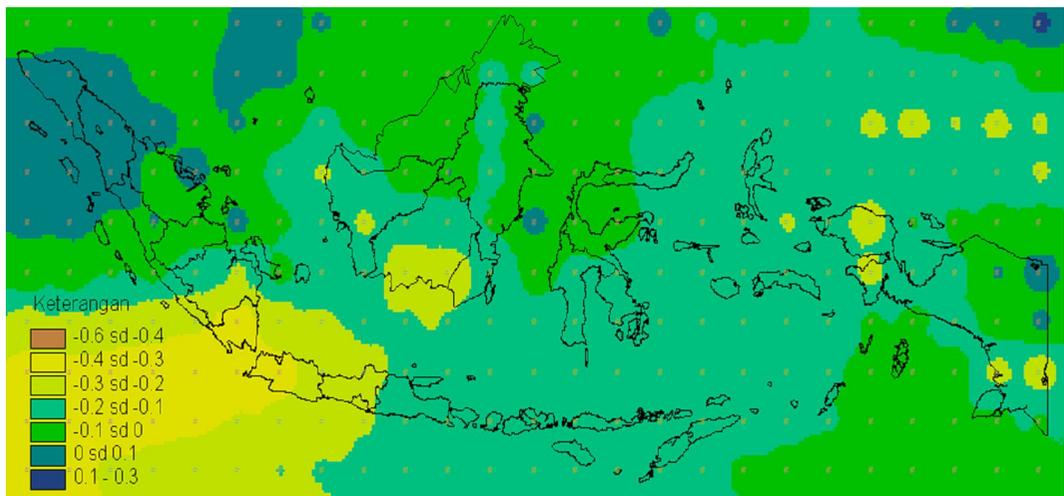
4.2 Pengaruh Kejadian Bersama Antara *El Niño* dan *Dipole Mode Positif* Terhadap Variabilitas Curah Hujan di Bagian Utara Ekuator Sumatera

Hubungan curah hujan dengan faktor tunggal *El Niño* atau *Dipole Mode* (DM) di wilayah Indonesia yang ditunjukkan oleh nilai korelasinya, secara spasial dapat dilihat pada Gambar 4-1 dan 4-2. Gambar 4-1 menjelaskan bahwa di bagian utara ekuator Sumatera korelasi kejadian *El Niño* dengan curah hujan adalah positif dengan nilai korelasi kecil, yang artinya dengan kejadian *El Niño* semakin kuat, curah hujan tidak berkurang tetapi juga tidak menambah secara signifikan.



Gambar 4-1: Distribusi korelasi spasial respon curah hujan terhadap *El Niño*

Sementara Gambar 4-2 menjelaskan bahwa di wilayah utara ekuator Sumatera, pada saat *Dipole Mode Positif*, curah hujan juga positif dengan nilai korelasi yang juga kecil. Dapat dijelaskan bahwa indeks *Dipole Mode Positif* menunjukkan sirkulasi atmosfer di wilayah Samudera Hindia bergerak ke arah barat menjauhi wilayah Indonesia. Dari serangkaian kejadian peristiwa *Dipole Mode* dan *El Niño*, ternyata pada tahun-tahun dimana peristiwa *El Niño* terjadi bersamaan waktunya dengan peristiwa *Dipole Mode Positif*, yaitu pada tahun 1963, 1973, 1982, dan 1997, sifat curah hujan di daerah kajian berada di antara normal sampai atas normal (Tabel 4-1).



Gambar 4-2: Distribusi korelasi spasial respon curah hujan terhadap *Dipole Mode Positif*

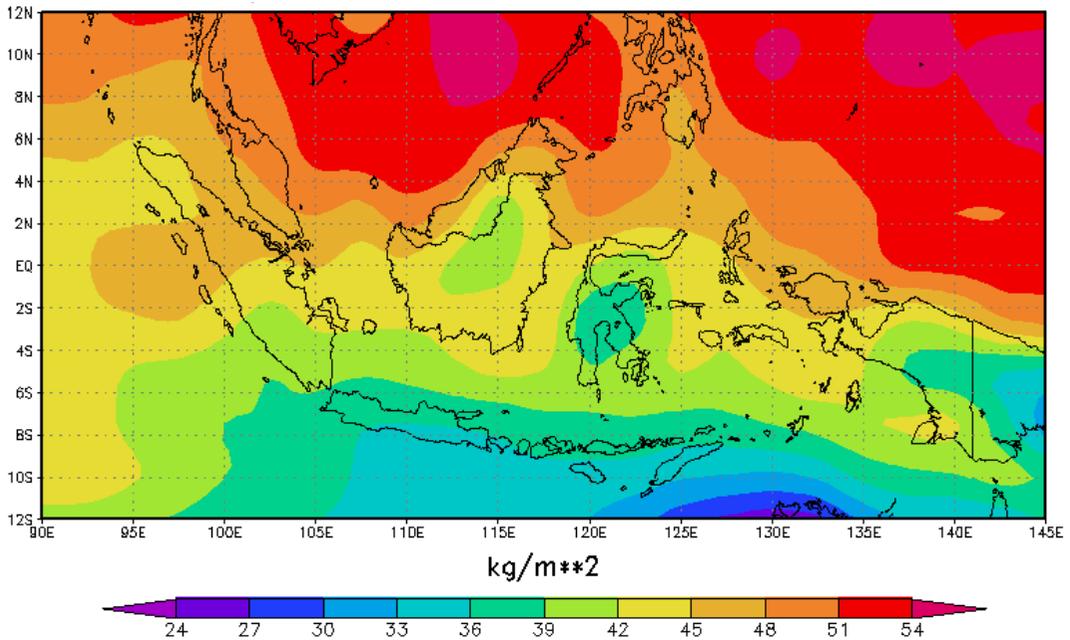
Tabel 4-1: ANOMALI CURAH HUJAN JJA PADA SAAT ENSO DAN DIPOLE MODE POSITIF TERJADI BERSAMAAN

Nama Lokasi	1963	1972	1982	1997
Lhokseumawe	+	+	N	N
Aceh	+	+	+	+
Meulaboh	+	+	+	+
Medan	+	N	+	N
Gunung Sitoli	N	+	-	-
Tarempa	-	-	+	-
Kotabumi	-	-		-
Tanjung Pandan	-	-	-	-
Jambi	-	N	-	-
Padang	-	-	-	-
Palembang	-	-	-	-

Faktor-faktor fisik dan dinamika atmosfer yang mempengaruhi kejadian tersebut adalah kandungan air mampu curah (*precipitable water*), tingkat penutupan awan dan radiasi gelombang panjang dari bumi yang meninggalkan atmosfer (*Outgoing Longwave Radiation, OLR*) serta sirkulasi angin sebagai pembawa massa uap air. Keadaan faktor-faktor tersebut selama periode JJA pada tahun-tahun DM positif dan El Nino disajikan dan dibahas sebagai berikut.

4.3 Air Mampu Curah (*Precipitable Water, PW*)

Precipitable Water (PW) merupakan parameter atmosfer yang biasa dipakai untuk menunjukkan besarnya kandungan uap air dalam suatu kolom vertikal massa udara yang potensial dapat diendapkan sekaligus diturunkan sebagai curah hujan yang dinyatakan dalam satuan kg/m². Gambar 4-3 menunjukkan distribusi PW pada bulan Juli 1997.



Gambar 4-3: *Precipitable water* (PW) di Indonesia bulan Juli 1997

Precipitable water (PW) di atas Aceh tahun 1963 mencapai nilai terendah pada bulan Juni dengan kisaran angka 39 – 40 kg/m², kemudian berangsur – angsur meningkat 41 – 42 kg/m² pada bulan Juli dan 43 – 44 kg/m². Hal serupa terjadi di Medan, nilai PW terendah pada kisaran 37 – 38 kg/m² terjadi pada bulan Juni, dan naik menjadi 39 – 40 kg/m² pada bulan Juli, kemudian mencapai 40 – 41 kg/m² pada bulan Agustus.

Di lokasi yang sama, pada tahun 1972 nilai PW terendah justru terjadi pada bulan Januari pada kisaran 39 – 40 kg/m² dan meningkat tajam mencapai nilai kisaran 45 – 46 kg/m² pada bulan Juni, kemudian sedikit menurun pada bulan Juli pada kisaran 44 – 45 kg/m² dan relatif tetap pada kisaran yang sama di bulan Agustus. Sementara di Medan pada tahun yang sama nilai PW terendah terjadi pada bulan Maret dengan nilai kisaran 39 – 40 kg/m², sedangkan pada bulan Juni mencapai kisaran 43 – 44 kg/m², kemudian turun pada Juli dengan kisaran 40 – 41 kg/m² dan meningkat lagi menjadi 41 – 42 kg/m² pada bulan Agustus.

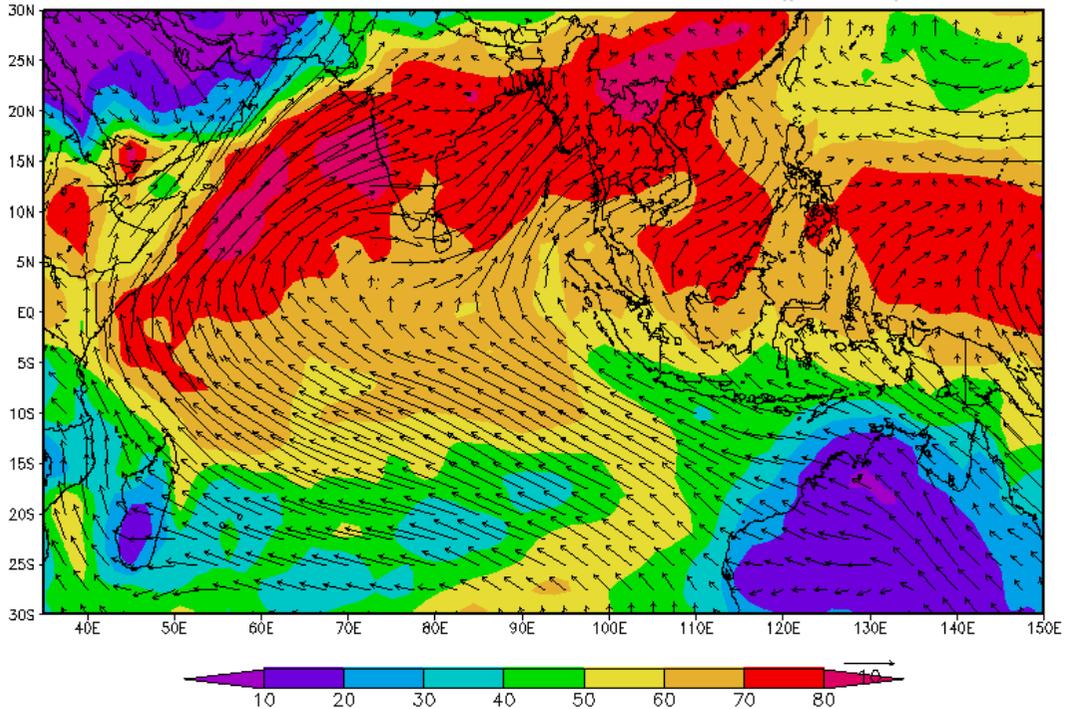
Sementara pada tahun 1982 di Aceh dalam periode JJA adalah sebagai berikut: pada bulan Juni nilai PW berkisar pada 44 – 45 kg/m², kemudian turun sampai kisaran 42 – 43 kg/m² pada bulan Juli dan naik lagi pada bulan Agustus dalam kisaran 44 – 45 kg/m². Sedangkan di Medan pada bulan Juni 1982 nilai PW pada sekitar 43 kg/m², kemudian menurun pada kisaran 41 kg/m² dan turun lagi sampai pada kisaran 40 kg/m² di bulan Agustus.

Variasi nilai PW pada tahun 1997 di Aceh dalam periode JJA tidak begitu nampak. Pada bulan Juni menunjukkan nilai sekitar 44 kg/m²

kemudian sedikit menurun pada Juli menjadi sekitar 43 kg/m^2 dan naik lagi pada bulan Agustus menjadi sekitar 44 kg/m^2 . Sementara di Medan pada tahun 1997 bervariasi pada bulan Juni antara $43 - 44 \text{ kg/m}^2$ dan pada bulan Juli naik menjadi kisaran $44 - 45 \text{ kg/m}^2$ kemudian turun lagi pada bulan Agustus menjadi $41 - 42 \text{ kg/m}^2$.

4.4 Distribusi Tingkat Penutupan Awan (%)

Distribusi tingkat penutupan awan pada bulan Juli 1997 yang menggambarkan tahun *El Nino* di tampilkan pada Gambar 4-4 di bawah ini.



Gambar 4-4: Distribusi tingkat penutupan awan (%) - Juli 1997

Dari gambar tersebut tampak bahwa daerah tutupan awan pada bulan Juli 1997 di Sumatera bagian utara berkisar $60\% - 70\%$ dan nilai ini tinggi dibanding daerah di sebelah selatan equator. Juni 1963 di kawasan Sumatera bagian utara umumnya berkisar antara $40\% - 50\%$. Tutupan meningkat pada bulan Juli 1963 menjadi $60\% - 70\%$, namun pada bulan Agustus 1963 terjadi penurunan daerah tutupan awan di sekitar Aceh menjadi kisaran $50\% - 60\%$ sementara daerah Sumatera Utara masih dalam kisaran $60\% - 70\%$.

Pada bulan Juni 1972, daerah tutupan awan sekitar Sumatera bagian utara berkisar $60\% - 70\%$, bahkan pada Juli 1972 di sekitar Aceh tutupan awan meningkat menjadi kisaran $70\% - 80\%$, dan kondisi tersebut bertahan sampai Agustus 1972. Sementara selama periode JJA 1982 tutupan awan

sekitar Sumatera bagian utara relatif tetap yaitu berkisar antara 60%–70%. Pada kasus JJA 1997 variasi daerah tutupan awan sekitar Sumatera bagian utara tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, yaitu berkisar 60%–70% selama JJA.

Dari uraian di atas dapat disampaikan bahwa persentase tutupan awan pada Juni 1963 yang hanya 40%–50% bersesuaian dengan rendahnya potensi uap karena SPL di sekitar Pantai Barat Sumatera bagian utara relatif dingin dibanding periode yang sama, walaupun *Asian Summer Monsoon* membentuk *Equatorial Trough* (ET) dan *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) di sekitar Sumatera bagian utara. Sementara pada Juli – Agustus 1972 tutupan awan mencapai 70%–80%. Hal ini bersesuaian dengan Suhu Permukaan Laut (SPL) yang relatif tinggi dan aktivitas *Asian Summer Monsoon* yang membentuk ET di sekitar katulistiwa dan ITCZ di utara Aceh.

Dari hasil analisis tampak bahwa luas tutupan awan di wilayah Sumatera bagian utara merupakan hasil interaksi antara potensi penguapan di Samudera Hindia dekat Pantai Barat Sumatera dengan transpot massa yang disebabkan oleh *Asian Summer Monsoon*, serta proses pengangkatan udara (*lifting*) yang dipicu oleh posisi ET maupun ITCZ di sekitar wilayah tersebut.

Ketersediaan massa uap air terefleksikan dari tutupan awan bulan pada Juli 1997 seperti tampak pada Gambar 4-4 yang menunjukkan masih tersedianya uap air di bagian utara Sumatera walaupun pada kondisi tahun El Nino.

4.5 Distribusi Radiasi Balik Gelombang Panjang (OLR)

Sebaran OLR pada bulan Juni 1963 di kawasan Sumatera bagian utara umumnya berkisar antara 240 – 270 W/m². OLR menurun pada bulan Juli 1963 menjadi 220 – 240 W/m² di sekitar Aceh dan 220 -240 W/m² di sekitar Sumatera Utara. Dari kondisi tersebut tidak nampak perubahan yang signifikan pada Agustus 1963 OLR berkisar 220 – 240 W/m² di sekitar Aceh dan 220 -240 W/m² di sekitar Sumatera Utara.

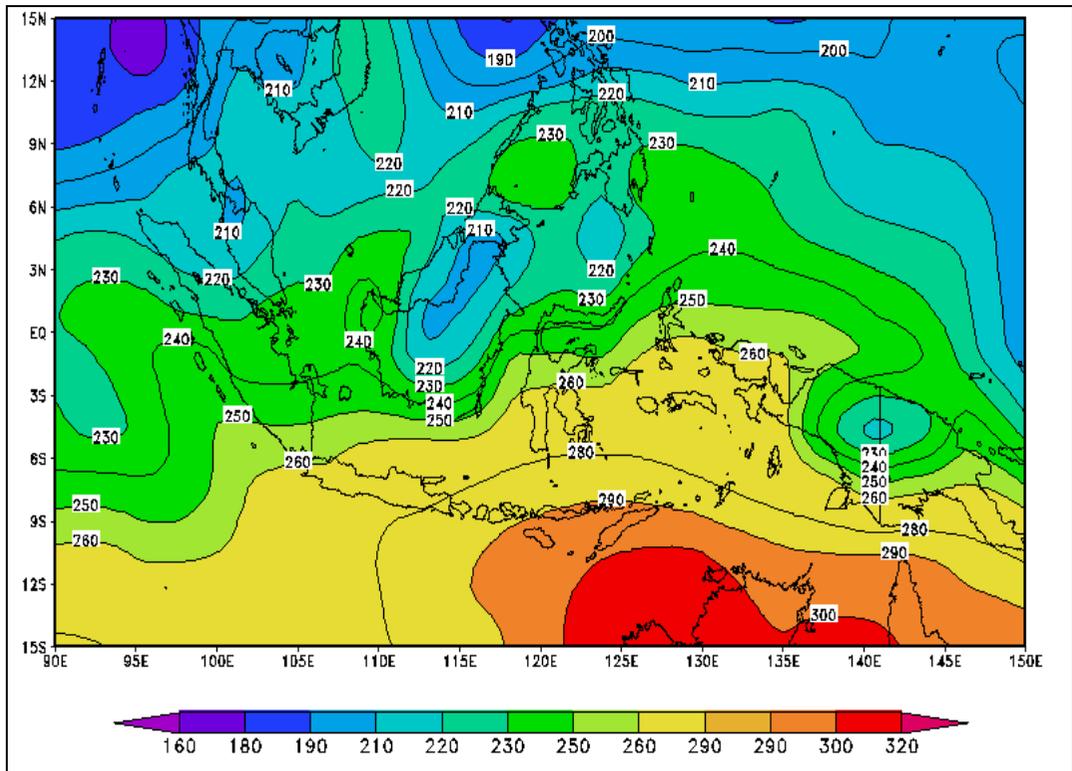
Pada bulan Juni 1972, nilai OLR sekitar Sumatera bagian utara berkisar 220 – 230 W/m², bahkan pada Juli 1972 di sekitar Aceh nilai OLR turun menjadi kisaran 210 – 220 W/m² di sebelah utara dan 220 – 230 W/m² di selatan, dan kondisi tersebut bertahan sampai Agustus 1972.

Distribusi OLR pada Juni 1982 di sekitar wilayah kajian berkisar 220–240 W/m². Pada Juli 1982 turun menjadi 220 -230 W/m², kondisi ini bertahan sampai Agustus 1982 yaitu pada kisaran 220 – 230 W/m².

Sebaran OLR pada bulan Juni 1997 di sekitar Aceh menunjukkan kisaran 220 – 240 W/m², sementara di sekitar Sumatera Utara nilai OLR berkisar 210 – 230 W/m². Pada Juli 1997 kondisi tersebut sedikit berubah untuk kawasan Sumatera Utara menjadi 220 – 230 W/m², sementara di

sekitar Aceh tetap antara 230 – 240 W/m². Selanjutnya pada Agustus 1997 terjadi penurunan nilai OLR menjadi 220 -230 W/m² di Aceh dan sekitarnya dan 210-220 W/m² di sekitar Sumatera Utara.

Gambaran distribusi spasial OLR, Juli 1972 sebesar < 240 W/m² memperlihatkan ketersediaan masa uap air yang cukup tinggi di wilayah penelitian yaitu Sumatera bagian utara seperti tampak pada Gambar 4-5. Secara umum OLR di kawasan kajian selama periode JJA pada tahun terpilih masih menunjukkan nilai pada kisaran di bawah 240 W/m² yang lazim digunakan sebagai batas pembeda musim hujan dan kemarau, kecuali pada tahun 1963 utamanya pada bulan Juni mencapai nilai 270 W/m².



Gambar 4-5: Distribusi spasial pengembalian radiasi gelombang panjang (OLR) (W/m²) Juli 1997

Dari uraian di atas dapat disampaikan bahwa nilai OLR pada Juni 1963 yang mencapai 270 W/m² bersesuaian dengan rendahnya potensi uap karena SPL (Suhu Permukaan Laut) di sekitar Pantai Barat Sumatera bagian utara relatif dingin dibanding periode yang sama, walaupun *Asian Summer Monsoon* membentuk *Equatorial Trough* (ET) dan *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) di sekitar Sumatera bagian utara. Sementara pada Juli – Agustus 1972 nilai OLR berkisar 210 – 230 W/m. Hal ini bersesuaian dengan SPL yang relatif tinggi dan aktivitas *Asian Summer Monsoon* yang membentuk ET di sekitar khatulistiwa dan ITCZ di utara Aceh.

Dari hasil analisis tampak bahwa rendahnya OLR di wilayah Sumatera bagian Utara menunjukkan masih cukup tingginya potensi awan (hujan) di kawasan kajian, hal ini merupakan hasil interaksi antara potensi penguapan di Samudera Hindia dekat Pantai Barat Sumatera dengan transpot massa yang disebabkan oleh *Asian Summer Monsoon*, serta proses pengangkatan udara (*lifting*) yang dipicu oleh posisi ET maupun ITCZ di sekitar wilayah tersebut.

4.6 Sistem Transport Massa Uap Air

Dari tampilan distribusi *precipitable water*, tutupan awan dan OLR (yang merefleksikan ketersediaan masa uap air), tampak bahwa pada bulan JJA di sekitar wilayah penelitian dapat terjadi penguapan dan pembentukan awan sebagai bahan baku dalam proses turunnya hujan, udara lembab hasil penguapan di laut. Transport massa uap air terkait erat dengan adanya sirkulasi atmosfer vertikal (yang menjadi bagian dari sirkulasi zonal (walker) dan horizontal yang menjadi bagian dari meridional (hadley) seperti halnya arah angin barat daya Monsun India yang mengangkut masa uap air ke wilayah penelitian yaitu Sumatera bagian utara.

4.6.1 Sirkulasi atmosfer monsun India

Untuk menganalisis lebih mendalam bagaimana pengaruh monsun India terhadap curah hujan JJA di bagian utara Sumatera dan sekitarnya, anomali curah hujan bulanan 11 stasiun di Sumatera digambarkan bersama indeks monsun India. Anomali curah hujan diperoleh dengan menghitung selisih curah hujan rata-rata bulan JJA setiap tahun terhadap curah hujan bulan JJA, rata-rata 40 tahun periode (1961 – 2000). Pengaruh monsun India terhadap curah hujan di Sumatera bagian Utara dalam kondisi dimana terjadi juga EN dan DM secara simultan, cukup besar, terutama di Aceh dan Medan, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien prediktor monsun India pada persamaan statistik multikolinier dengan nilai masing-masing koefisien 23.639 untuk Aceh dan 24.089 untuk Medan. Sementara itu, nilai koefisien bagi prediktor monsun India, untuk wilayah luar Sumatera bagian utara, yaitu Manado, Makasar, Waingapu, masing-masing 0.909; 2.465; 1.860.

4.6.2 Sirkulasi Walker (u-w) di wilayah penelitian bulan JJA pada tahun-tahun terjadi *El Nino* dan *Dipole Mode Positif* secara bersamaan

Memperhatikan pola sirkulasi Walker selama JJA dalam periode kajian, di daerah Sumatera bagian utara nampak bahwa wilayah kajian selalu didominasi oleh Walker Barat yang bersumber dari Samudera Hindia. Pada Juni 1963 dominasi Walker Barat di kawasan Sumatera bagian Utara sangat kuat, bahkan sampai ke kawasan sebelah timur Indonesia, sehingga di kawasan Sumatera bagian Utara tidak tampak jelas terjadinya

pengangkatan udara (*updraft*). Hal serupa terjadi pada Agustus 1963, namun dorongan Walker Barat tidak sekuat pada Juni 1963. Sementara pada Juli 1963 sedikit berbeda, karena dorongan Walker Barat agak lemah, tidak sampai Indonesia Bagian Timur dan tampak jelas terjadi pengangkatan di kawasan Sumatera Bagian Utara walaupun tidak terlalu kuat.

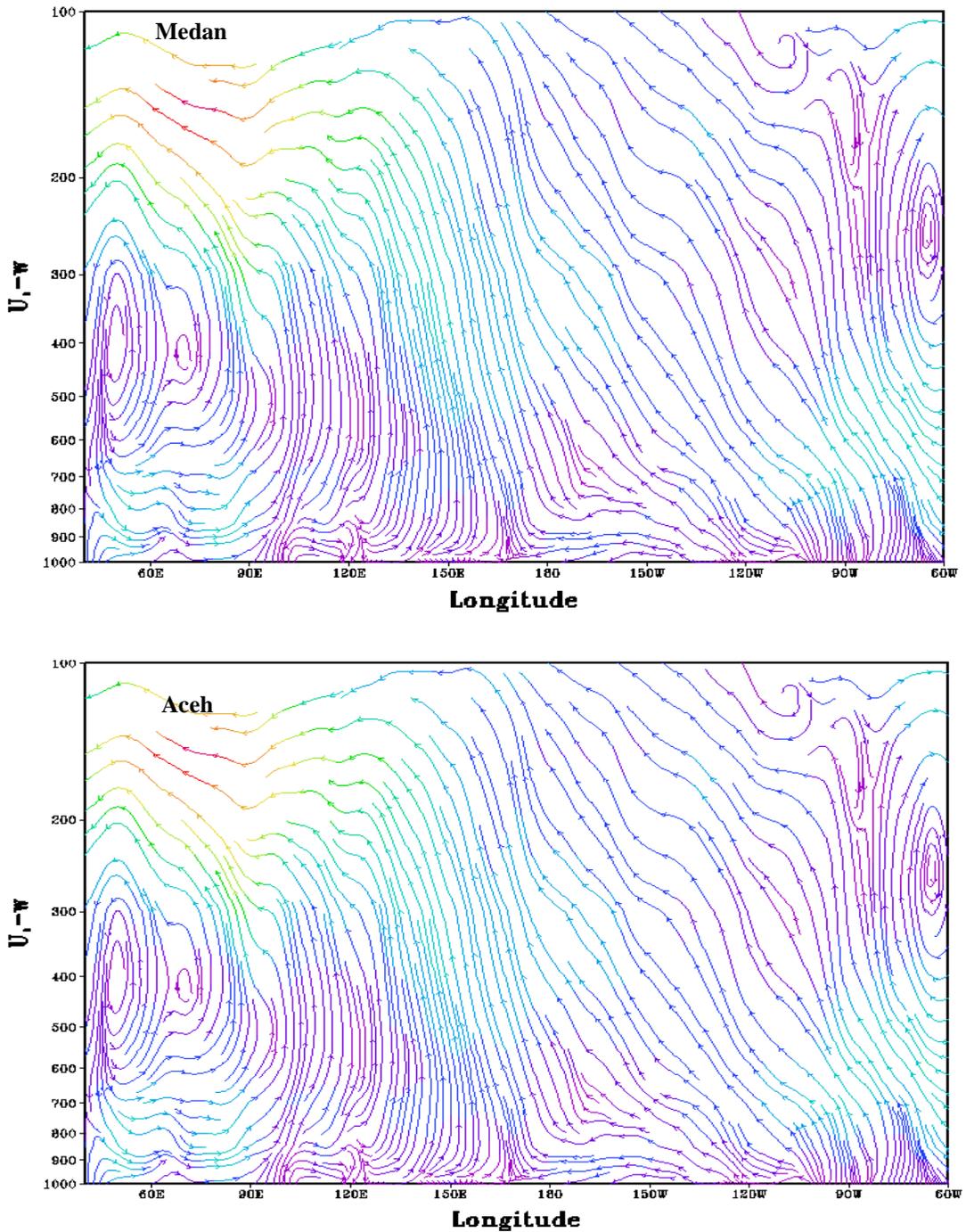
Selama JJA 1972 umumnya dorongan Walker Barat di Indonesia tidak terlalu kuat sehingga daerah konvergensi Walker terjadi di sekitar Sumatera bagian Utara. Pada Juni 1972 tampak *vertical velocity* sangat kuat terjadi di kawasan sekitar Sumatera bagian Utara hal serupa juga terjadi pada bulan Agustus 1972 yaitu pengangkatan secara masif terjadi di kawasan sekitar Sumatera bagian utara. Sementara pada Juli 1972 pengangkatan tersebut tidak terlalu kuat, namun secara umum pada periode JJA 1972 proses pengangkatan udara naik cukup kuat sepanjang musim.

Dalam kurun waktu JJA 1982 dominasi Walker Barat di atas BMI (Benua Maritim Indonesia) umumnya relatif lemah sehingga terbentuk daerah konvergensi Walker di kawasan Indonesia Barat (sekitar Sumatera bagian Utara). Munculnya daerah konvergensi Walker tersebut memberikan potensi gaya angkat di kawasan Sumatera bagian Utara pada periode JJA. Pada Juni 1982 dominasi Walker Barat tampak lemah namun mampu menghasilkan gerak vertikal yang cukup kuat. Hal demikian berlangsung sampai Juli 1982, bahkan gaya angkat tersebut tampak semakin kuat pada Agustus 1982, sehingga sepanjang periode JJA 1982 menunjukkan adanya gerak vertikal yang cukup kuat.

Pada periode JJA 1997 dorongan Walker Barat di atas kawasan Benua Maritim Indonesia tampak lemah, kondisi ini menghasilkan konvergensi Walker di atas kawasan Indonesia bagian Barat termasuk Sumatera bagian Barat. Konvergensi Walker tersebut memberikan kemudahan terjadinya gaya angkat di kawasan Sumatera bagian Utara. Sepanjang JJA 1997 tampak kecepatan vertikal di kawasan Sumatera bagian Utara cukup kuat. Sirkulasi zonal di stasiun Medan dan Banda Aceh pada Juli 1997 dapat dilihat pada Gambar 4-6.

4.6.3 Sirkulasi Hadley di wilayah penelitian pada bulan Juni - Juli - Agustus pada tahun-tahun kejadian *El Nino* dan *Dipole Mode Positif* secara bersamaan

Analisis Sirkulasi Hadley pada periode JJA yang menggambarkan dinamika atmosfer arah Utara - Selatan selama musim panas di BBU, dapat menunjukkan pola interaksi antara massa udara dari Utara dan Selatan. Kedua massa udara saling bertemu di daerah konvergensi antar tropis (ITCZ). Untuk mempelajari pola tersebut dipilih sirkulasi Hadley pada periode JJA tahun 1963, 1972, 1982, dan 1997.



Gambar 4-6: Sirkulasi zonal Medan dan Aceh bulan Juli 1997

Pada kasus JJA 1963, kawasan Sumatera bagian Utara selama periode JJA didominasi masa udara Selatan menuju Utara. Lokasi ITCZ berada di sebelah Utara Aceh. Pada umumnya kawasan Sumatera bagian Utara tampak terjadi *downdraf* (turun). Selama JJA 1972 tampak massa udara

dari Selatan bergerak menuju Utara melewati kawasan Sumatera bagian Utara. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi ITCZ berada di sebelah Utara Sumatera bagian Utara. Pada kawasan kajian dapat dilihat adanya gerakan udara naik, namun tidak terlalu kuat.

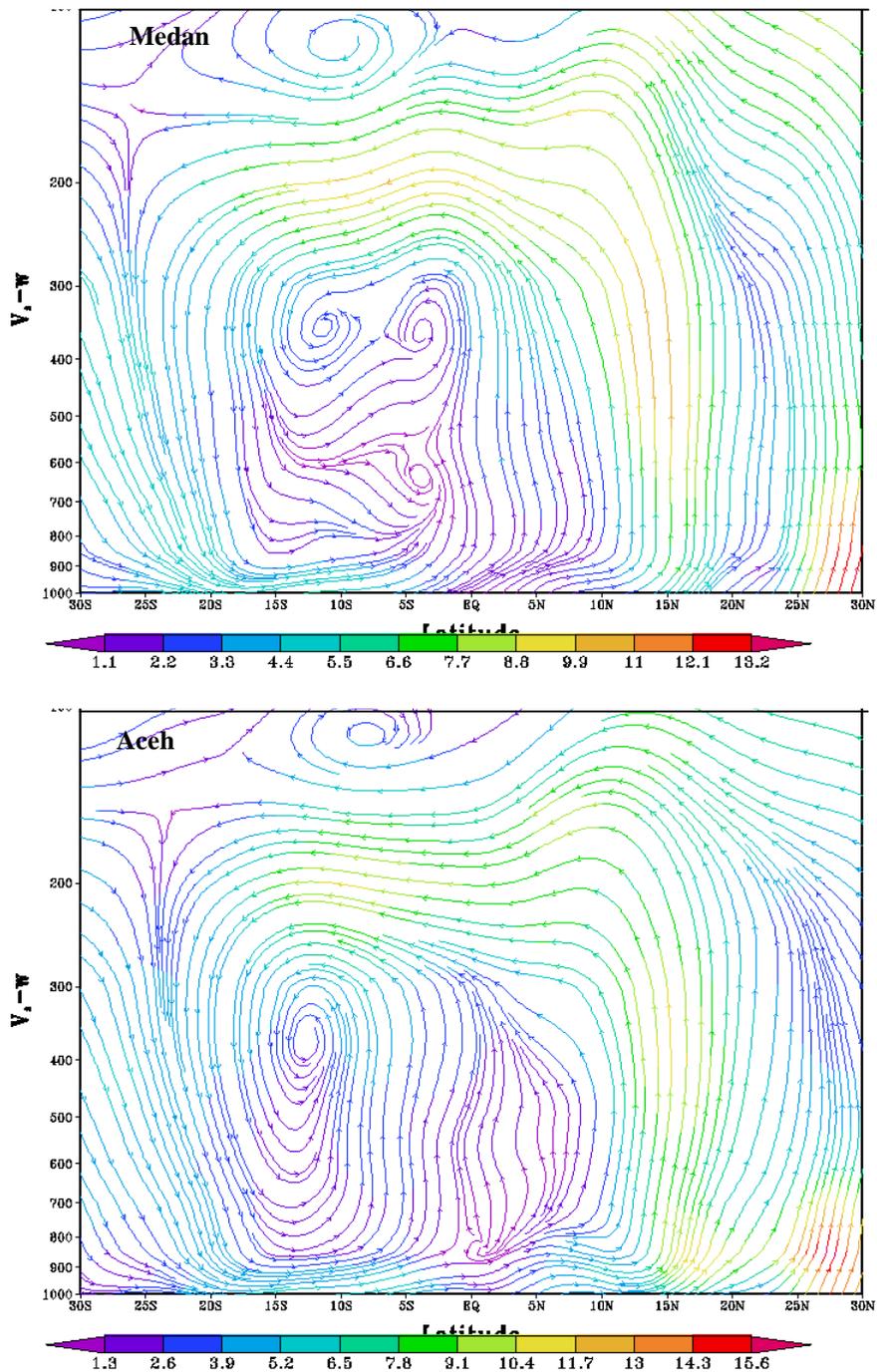
Dalam periode JJA umumnya terjadi *updraft* lemah di kawasan Sumatera bagian Utara. Pada kurun waktu JJA 1997 di kawasan Sumatera bagian Utara umumnya terdapat gerak vertikal yang kuat sepanjang musim. Massa udara yang mendominasi kawasan kajian adalah dari massa udara Selatan dan ITCZ relatif dekat terhadap kawasan kajian.

Teridentifikasi bahwa selama bulan JJA, yang bertepatan dengan musim panas di Asia, wilayah Indonesia dikuasai oleh Monsun Panas Asia (*Asian Summer Monsoon*). Pola angin yang menggambarkan pergerakan udara di sekitar Sumatera bagian Utara, selama JJA 1963 didominasi oleh angin dari arah Barat Daya dengan kecepatan lemah. Pias *Equatorial Through* (ET) memanjang arah timur – barat melintas di atas Sumatera bagian Utara, sehingga ITCZ terbentuk di sebelah utara Aceh, dan memberikan potensi terbentuk Sirkulasi Eddy di sebelah Barat Sumatera bagian Utara.

Selama periode JJA 1972, wilayah Sumatera bagian Utara didominasi oleh angin Barat Daya. Angin dari Barat Daya tersebut mulai menguat pada bulan Juli 1972. Posisi ET di atas Sumatera bagian Utara tidak tampak jelas eksistensinya (terputus di sebelah barat Sumatera), dan posisi ITCZ jauh di utara Aceh, sementara potensi terbentuknya "Eddy Circulation" (Sirkulasi Eddy) berada di tengah Samudera Hindia.

Dalam kurun waktu JJA 1982, dominasi angin Barat Daya di wilayah Sumatera bagian Utara disertai kecepatan angin lemah. Posisi *Equatorial Through* (ET) berada di dekat khatulistiwa (Sumatera bagian Tengah), sedangkan posisi ITCZ jauh di utara Sumatera, dan kecenderungan terbentuknya Sirkulasi Eddy berada di sebelah barat Sumatera bagian Utara.

Selama periode JJA 1997, wilayah Sumatera bagian Utara umumnya didominasi oleh angin Barat Daya dengan kecepatan lemah. Posisi ET membentang di sekitar khatulistiwa, dan posisi ITCZ mendekati ke arah teluk Benggala, sementara Sirkulasi Eddy berada di kawasan dekat pantai barat Sumatera Barat. Sirkulasi meridional (Hadley) di stasiun Medan dan Banda Aceh pada Juli 1997 dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7: Sirkulasi meridional Medan dan Aceh bulan Juli 1997

5 KESIMPULAN

Dinamika atmosfer ekuator di atas Benua Maritim Indonesia (BMI) sangat dipengaruhi oleh sirkulasi zonal, meridional dan lokal, serta ketersediaan massa uap air di atmosfer. Sirkulasi zonal terkait erat dengan

kejadian *El Niño* dan *Dipole Mode Positif*, sementara sirkulasi lokal berperan penting dalam proses pengangkatan/konveksi dan berfungsi dalam mekanisme pembentukan hujan tropis. Sirkulasi meridional diasosiasikan dengan monsun lateral, utamanya monsun Asia – Australia, variabilitas curah hujan di BMI sangat terkait erat dengan ketiga sirkulasi tersebut di atas.

Hasil analisis data OLR dan *Precipitable Water* (PW) menunjukkan teridentifikasinya ketersediaan masa uap air di sekitar wilayah penelitian (Medan, Lhoksumawe, Banda Aceh, dan Meulaboh) periode Juni–Juli–Agustus tahun 1963, 1972, 1982, dan 1997. Sementara sirkulasi zonal menunjukkan pergerakan vertikal berupa pengangkatan massa udara di wilayah Sumatera bagian utara dan subsiden atau penurunan massa udara di wilayah timur Indonesia.

Analisis lebih rinci dari rata-rata curah hujan bulanan di atas menunjukkan bahwa sifat hujan di Medan dan Lhokseumawe tidak signifikan, bila dibandingkan dengan Aceh dan Meulaboh. Hal ini disebabkan faktor lokal seperti posisi geografi dan sirkulasi lokal berperan penting dalam proses pengangkatan massa udara/konveksi dan berfungsi dalam mekanisme pembentukan hujan di daerah tropis. Posisi geografis Medan dan Lhokseumawe yang berada di balik pegunungan Bukit Barisan menjadi daerah belakang angin selama periode Juni-Juli-Agustus (JJA), sehingga tinggi/besarnya curah hujan dari normalnya tidak signifikan. Sementara Aceh dan Meulaboh yang berada di muka pegunungan Bukit Barisan menjadi daerah hadap angin pada periode tersebut dan sifat hujan atas normalnya signifikan.

DAFTAR RUJUKAN

- Aldrian, E., 2002. *Spatial Patterns of ENSO Impact on Indonesian Rainfall*, J. Sains & Tek. Mod. Cuaca, BPP Teknologi, 3, 5-15.
- Aldrian, E., R. D. Susanto, 2003. *Identification of three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and their Relationship to Sea Surface Temperature*, International Journal of Climatology, 23, 1435-1452.
- Ashok, K.; Z. Guan and T. Yamagata, 2001. *Impact of the Indian Ocean Dipole and the Relationship between the Indian Monsoon Rainfall*, Geophysics Reserch Letter. 28, 4499 -4502.
- Gunawan, D. and G. Gravenhorst, 2005. *Correlation between ENSO indices and Indonesian precipitation*. Journal Meteorologi dan Geofisika, 6(4), 54-62.
- Gunawan, D., 2006. *Atmospheric Variability in Sulawesi, Indonesia – Regional Atmospheric Model Results and Observations*. PhD Dissertation. Goettingen University, Germany.
- Haylock, M. and J. McBride, 2001. *Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall*, J. Clim.,14,3882–3887.

- Hendon, H.H., 2003. *Indonesian Rainfall Variability : Impact of ENSO and Local Air Sea Interaction*, J. Climate 16,1775-1790.
- Ramage, C., 1968. *Monsoon Meteorologi*. Academic Press, 296pp.
- Ropelewski, C.F., and MS. Halpert, 1987. *Global and Regional Scale Precipitation Patterns*, Associated with the El Nino/Southern Oscillation Mon.Wea.Rev., 115 : 1606-1626.
- Saji, N.H.; B.N Goswamy; P. N Vinayachandran, 1999. *Indian Ocean during 1997-1998*, Nature, 401, 356 – 359.
- Webster, P.J.; J.P. Loschnigg; A. M. Moore; and R.R. Leben, 1999. *Coupled Ocean-Atmosphere Dynamics in the Indian Ocean during 1997-98*, Nature, 401, 356-359.
- Yamagata, T., and T. Masumoto, 1992. *Interdecadal Natural Climate Variability in the Western Pacific and Its Implication in Global Warming*. J Meteor. Soc.Jpn., 70 (1), 167-175.