

# HUBUNGAN ANGIN LOKAL EKUATORIAL DAN ANGIN LOKAL LINTANG MENENGAH DENGAN SIRKULASI SKALA MAKRO

Ina Juaeni<sup>1</sup> dan Syafrijon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN

<sup>2</sup>Balai Pengamatan Atmosfer dan Antariksa, LAPAN-Agam

Pos-el : inajuaeni@yahoo.com

## Abstract

*Air circulation within the Hadley cell is important because it plays a role in generating the trade winds in the tropical and controlling the low-latitude weather patterns. In this research, relationship between low latitude circulation and middle latitudes circulation with Hadley cell, to be proven through three dimensional wind data. Equatorial Atmosphere Radar (EAR) wind data at Agam (West Sumatra-Indonesia) representing an equatorial wind while Middle and Upper Atmosphere Radar (MUR) wind data at Shigaraki (Japan) representing middle latitudes wind. Data on January 5 to January 9, April 13 to April 17, July 7 to July 10 and October 19 to October 23, 2015 are used for this purpose. In general, zonal wind at Shigaraki is dominated by west wind, viceversa with Agam wind. The number of closures, that formed a layer to the altitude, at Agam more than at Shigaraki, and occurred at 2 km to 10 km of altitude. Meridional wind velocity at Agam never been greater than wind velocity at Shigaraki, as well as zonal wind velocity. Negative vertical wind (downdraft) are more common than positive vertical wind (updraft) both at Agam and Shigaraki.*

*Keywords : air circulation, three dimensional wind, equatorial circulation, middle latitude circulation, Hadley cell*

## Abstrak

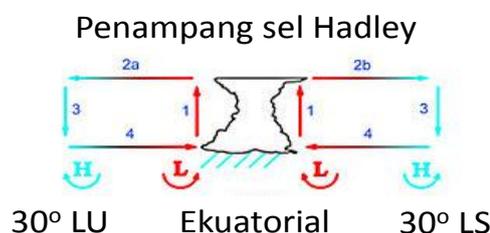
Sirkulasi dalam sel Hadley berperan dalam membangkitkan angin pasat di tropis dan mengendalikan pola cuaca lintang rendah. Dalam penelitian ini hubungan antara sirkulasi lintang rendah dan lintang menengah dengan sel Hadley, dibuktikan melalui data angin tiga dimensi. Angin yang diamati dengan *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) di Agam (Sumatera Barat-Indonesia) sebagai angin ekuatorial dan angin yang diamati dengan *Middle and Upper (MU) Atmosphere Radar* di Shigaraki (Jepang) sebagai angin lintang menengah. Data pada 5 Januari sampai dengan 9 Januari, 13 April sampai dengan 17 April, 7 Juli sampai dengan 10 Juli dan 19 Oktober sampai dengan 23 Oktober, tahun 2015 digunakan untuk kepentingan ini. Secara garis besar, angin zonal di Shigaraki didominasi oleh angin barat, berlawanan arah dengan angin zonal di Agam. Jumlah *closure*, yang membentuk lapisan terhadap ketinggian, di Agam lebih banyak dibandingkan di Shigaraki, dan nampak pada ketinggian 2 km sampai 10 km. Kecepatan angin meridional di Agam kadang tidak pernah lebih besar dibandingkan kecepatan angin meridional di Shigaraki, sama halnya dengan angin zonal. Angin vertikal negatif (*downdraft*) lebih sering muncul dibandingkan angin vertikal positif (*updraft*), baik di Agam maupun di Shigaraki.

**Kata Kunci :** sirkulasi udara, angin tiga dimensi, sirkulasi ekuatorial, sirkulasi lintang menengah, sel Hadley

## 1. PENDAHULUAN

Di belahan bumi utara maupun selatan ada tiga sel yaitu sel Hadley, sel Ferrel dan sel Polar, dimana udara bergerak sirkular pada lapisan troposfer. Sel-sel ini berlangsung dalam skala makro

100 km sampai dengan 1000 km. Sel Hadley khususnya, digambarkan sebagai sistem angin skala global yang membawa panas dari tropis menuju lintang menengah (Gambar 1). Huang dan McElroy<sup>1</sup> menyebutkan bahwa sirkulasi Hadley diidentifikasi sebagai massa udara panas dan lembap yang bergerak naik di wilayah ekuatorial dan turun sebagai massa udara yang lebih dingin di lintang menengah.



**Gambar 1.** Penampang sel Hadley yang terbentuk oleh sirkulasi ekuatorial dengan sirkulasi lintang menengah (dimodifikasi dari Windrim, 2004)

Teori tentang sel Hadley sudah lama dikenal terutama dikalangan meteorologis, sejak diperkenalkan oleh George Hadley pada tahun 1735<sup>2</sup>, sebagai sel yang memungkinkan terjadinya koneksi antara lintang rendah dan lintang tinggi. Dibandingkan sel Ferrel dan sel polar, sel Hadley mempunyai kontribusi paling signifikan dalam menentukan neraca energi kinetik sepanjang lintang rata-rata<sup>1</sup>, dimana energi kinetik sepanjang lintang berperan dalam membentuk kondisi pola cuaca.<sup>3,4</sup> Akhir-akhir ini topik tentang sel Hadley kembali muncul disebabkan adanya indikasi terjadi perubahan sifat sel Hadley. Perubahan sel Hadley diamati melalui temperatur permukaan global mulai tahun 1950. Kajian ini menggunakan data pengamatan, hasil simulasi model global selama 50 tahun dan hasil pengukuran suhu permukaan global sejak tahun 1950. Hasilnya menunjukkan terjadi intensifikasi sel Hadley terutama di belahan bumi bagian utara. Ini teramati sebagai respon terhadap *trend* pemanasan di samudera tropis. Sel Hadley juga teramati berkaitan dengan siklus hidrologi dengan adanya peningkatan curah hujan di atas lautan wilayah ekuatorial, peningkatan arus barat dan intensifikasi siklon lintang menengah.<sup>5</sup> Pengamatan terhadap sifat perubahan sel Hadley juga dilakukan oleh peneliti lain.<sup>6, 7, 8, 9</sup> Penelitian Frierson and Gang<sup>6</sup>, Seidel dkk.<sup>7</sup>, serta Johanson and Fu<sup>8</sup> khusus mengamati perubahan lebar sel Hadley berbasis simulasi model global. Hasilnya menunjukkan terjadi perubahan lebar sel yang berkorelasi dengan gradien suhu lapisan batas atmosfer. Van Geel B. and Renssen<sup>9</sup> menunjukkan perubahan sabuk ekuator berubah berbasis analisis kualitatif.

Untuk menuju pada penelitian yang dapat membuktikan perubahan sel Hadley dan pengaruhnya terhadap cuaca dan iklim di wilayah ekuator, pada tahap pertama dilakukan penelitian dengan tujuan membuktikan keberadaan sel Hadley terlebih dahulu. Pembuktian dilakukan berdasarkan sirkulasi horisontal lintang rendah dan lintang menengah. Angin yang diamati dengan *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) di Agam (Sumatera Barat-Indonesia) sebagai angin ekuatorial dan angin yang diamati dengan *Middle and Upper Atmosphere Radar* (MUR) di Shigaraki (Jepang) sebagai angin lintang menengah.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan data angin tiga dimensi yang diamati dengan EAR di Agam dan angin yang diamati dengan radar MUR di Shigaraki (Gambar 2). Periode data yang digunakan adalah data pada tanggal 5 Januari sampai dengan 9 Januari, 13 April sampai dengan 17 April, 7

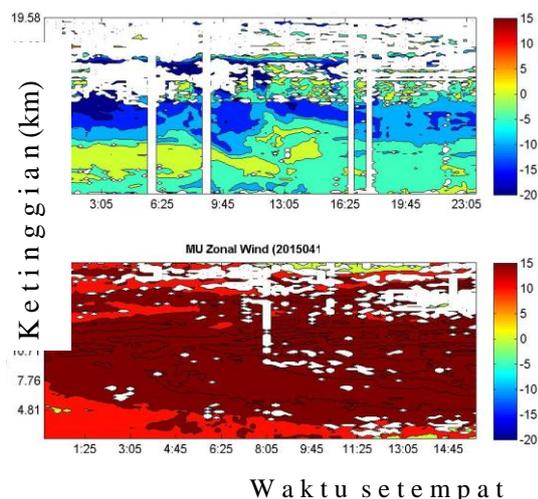
Juli sampai dengan 10 Juli dan 19 Oktober sampai dengan 23 Oktober, tahun 2015. Data tersedia dari ketinggian 2 km sampai 20 km, tetapi yang diperhatikan hanya pada 2 km sampai 15 km. Data yang dipilih berdasarkan data EAR yang bersesuaian dengan data MU radar. Pembuktian adanya sel Hadley dilakukan berbasis komparasi visual kontur angin EAR dan MUR yang memiliki resolusi waktu 8 menit dan interval vertikal 150 m.



**Gambar 2.** Kiri: MUR di Shigaraki (Jepang, 2012), kanan: EAR di Agam (Indonesia, 2016) (Foto koleksi pribadi, diambil tahun 2012 dan 2016)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 ditampilkan hasil evaluasi kontur angin di Agam dan Shigaraki untuk angin zonal, angin meridional dan angin vertikal. Secara garis besar dapat dijelaskan bahwa untuk arah zonal di Shigaraki dominan angin barat, berlawanan arah dengan angin di Agam. Jumlah *closure* yang membentuk lapisan terhadap ketinggian lebih banyak di Agam dibandingkan di Shigaraki. Ini menunjukkan angin di Agam lebih bervariasi terhadap ketinggian dibandingkan dengan angin di Shigaraki. *Closure* tersebut ada pada ketinggian 2 km sampai 10 km. Sebagai sampel pada Gambar 3 diperlihatkan kontur angin zonal pada tanggal 17 April 2015.



**Gambar 3.** Atas: angin zonal EAR (Agam, Indonesia), bawah: angin zonal MUR (Shigaraki, Jepang), tanggal 17 April 2015

**Tabel 1.** Angin tiga dimensi di Agam dan Shigaraki

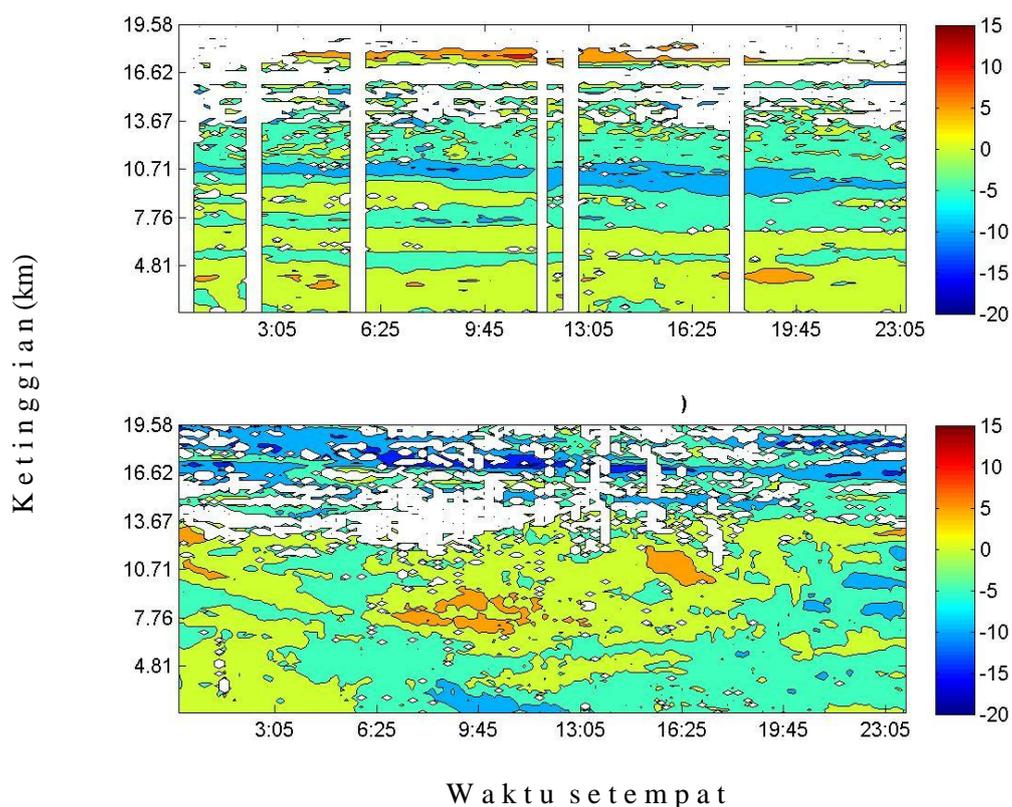
No.	Tanggal	Angin zonal	Angin meridional	Angin vertikal
	5 Januari 2015	<p>Di Agam, kontur angin membentuk lapisan sejajar ketinggian atau dengan kata lain terbentuk lapisan dengan kecepatan yang sama mulai ketinggian permukaan sampai 10 km.</p> <p>Di Shigaraki, sama dengan kondisi di Agam, hanya berlawanan arah.</p>	<p>Di Agam, kecepatan angin sangat heterogen.</p> <p>Kontur angin membentuk <i>closure</i> sejajar ketinggian atau dengan kata lain terbentuk lapisan dengan kecepatan yang sama mulai permukaan sampai ketinggian 10 km. Di Shigaraki, kontur kecepatan tidak membentuk lapisan.</p>	<p>Kontur angin vertikal di Agam tidak membentuk lapisan kecepatan sama yang tegas dari permukaan sampai ketinggian 10 km, sementara di Shigaraki hanya tampak satu lapisan pada ketinggian sekitar 10 km. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dibandingkan angin di Agam.</p>
	6 Januari 2015			<p>Di Agam terjadi <i>updraft</i> sesaat pada ketinggian 4,81 km. Angin vertikal di Shigaraki membentuk kontur berupa lapisan vertikal yang tegas dengan kecepatan sama mulai permukaan sampai ketinggian 10 km. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dengan angin di Agam.</p>
	7 Januari 2015	<p>Di Agam, sama dengan kondisi tanggal 5 Januari 2015.</p> <p>Di Shigaraki terjadi intrusi angin dari arah yang berlawanan pada lapisan bawah.</p>	<p>Kontur angin meridional menunjukkan kecepatan yang heterogen.</p> <p>Kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dengan kecepatan angin di Agam begitu pula dengan heterogenitasnya.</p>	<p>Di Agam terjadi banyak <i>updraft</i> sesaat pada berbagai ketinggian.</p> <p>Kontur angin vertikal di Shigaraki menunjukkan adanya lapisan kecepatan sama yang jelas di permukaan sampai ketinggian 10 km. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam.</p>
	8 Januari 2015	<p>Di Agam, sama dengan kondisi tanggal 5 Januari 2015.</p> <p>Di Shigaraki, angin berlawanan arah dengan kecepatan lebih tinggi.</p>	<p>Di Agam, nampak ada angin utara di ketinggian sekitar 15 km dengan kecepatan cukup tinggi.</p> <p>Di Shigaraki nampak angin selatan sangat mendominasi di lapisan bawah dan kemudian terjadi propagasi ke lapisan di atasnya sampai ketinggian 10 km.</p>	
	9 Januari 2015	<p>Di Agam angin zonal sangat heterogen.</p> <p>Di Shigaraki dominan angin barat dengan kecepatan tinggi.</p>	<p>Di Agam dominan angin utara di ketinggian sekitar 15 km dengan kecepatan cukup tinggi.</p> <p>Di Shigaraki terjadi kondisi yang sama seperti tanggal 8 Januari pada ketinggian 2 sampai 16,6 km. Angin selatan dominan di ketinggian 16,6 km.</p>	
	13 April 2015	<p>Baik di Agam maupun di Shigaraki, kondisi angin zonal sama dengan kondisi tanggal 5 Januari 2015.</p>	<p>Di Agam angin utara lebih dominan.</p> <p>Di Shigaraki angin selatan sangat mendominasi sampai ketinggian 10 km.</p>	<p>Kontur angin vertikal menunjukkan banyak terjadi <i>updraft</i> sesaat di Agam mulai dari ketinggian 2 km. Di Shigaraki muncul <i>updraft</i> tetapi hanya di permukaan. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa</p>

				kecepatan angin di Shigaraki lebih tinggi dibandingkan di Agam.
	14 April 2015	Baik di Agam maupun di Shigaraki, kontur angin zonal permukaan sampai ketinggian 10 km membentuk <i>closure-closure</i> terpisah (tidak membentuk lapisan terhadap ketinggian).	Di Agam angin utara lebih dominan. Di Shigaraki terjadi kondisi sama seperti hari sebelumnya sampai ketinggian 10 km dan terjadi propagasi ke lapisan permukaan di sore hari sampai malam hari.	Di Agam terjadi <i>updraft</i> sesaat sore hari pada ketinggian 3- 4 km. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam.
	15 April 2015	Di Agam, didominasi angin timur dengan kecepatan relatif rendah. Di Shigaraki, angin barat lebih dominan dengan kecepatan cukup tinggi.	Di Agam angin utara dengan kecepatan rendah lebih dominan. Di Shigaraki terlihat ada dua pertemuan angin utara dan selatan pada siang hari mulai ketinggian 2 km sampai 13 km dengan kecepatan cukup tinggi.	Angin vertikal di Shigaraki diwarnai dengan <i>updraft</i> sesaat pada berbagai ketinggian. Perbandingan kecepatan menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam.
	16 April 2015		Di Agam angin utara dengan kecepatan rendah lebih dominan. Di Shigaraki terlihat ada dua pertemuan angin selatan dan utara pada siang hari mulai ketinggian 2 km sampai 13 km dengan kecepatan cukup tinggi.	Perbandingan kecepatan angin vertikal menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Terlihat <i>updraft</i> di Shigaraki pada siang hari dan malam hari dengan kecepatan lebih dari 0,5 km/jam.
	17 April 2015	Kontur angin zonal menunjukkan bahwa di Agam didominasi angin timur yang lambat. Ada angin barat cukup kencang pada malam hari di Agam. Di Shigaraki angin barat dengan kecepatan cukup tinggi sangat dominan. Lapisan kecepatan sama terhadap ketinggian masih jelas terlihat baik di Shigaraki maupun di Agam.	Tidak ada lapisan kecepatan terhadap ketinggian yang tegas baik di Agam maupun di Shigaraki. Arah angin di Shigaraki dan di Agam sama.	Kecepatan angin vertikal negatif lemah terjadi di Agam dan di Shigaraki.
	7 Juli 2015	Kontur yang membentuk lapisan kecepatan angin yang sama nampak dengan arah dominan angin timur dan kecepatan relatif rendah. Ada angin barat cukup kencang pada malam hari di Agam.		
	8 Juli 2015	Lapisan kecepatan sama terhadap ketinggian masih jelas terlihat baik di Shigaraki maupun di Agam. Ada angin barat cukup kencang terjadi sepanjang hari di permukaan sampai ketinggian 4 km. Di Shigaraki, angin barat dengan kecepatan cukup tinggi sangat dominan.	Kontur angin meridional menunjukkan bahwa kecepatan angin di Shigaraki lebih tinggi dibandingkan di Agam. Tidak ada lapisan kecepatan sama terhadap ketinggian yang tegas dengan arah angin relatif sama baik di Shigaraki maupun di Agam.	Kecepatan angin vertikal negatif lemah terjadi di Agam dan di Shigaraki.
	9 Juli 2015	Di Agam lebih dominan angin timur dengan kecepatan relatif rendah. Angin barat yang		

		<p>cukup kencang terjadi sepanjang hari di permukaan sampai ketinggian 4 km. Sedangkan di lapisan atasnya angin timur dengan kecepatan rendah. Lapisan terhadap ketinggian yang berbeda kecepatan masih nampak jelas.</p> <p>Di Shigaraki lebih dominan angin barat dengan kecepatan cukup tinggi, lapisan kecepatan sama masih nampak dengan jelas.</p>	<p>Lapisan dengan kecepatan yang sama terhadap ketinggian nampak jelas baik di Agam maupun di Shigaraki.</p>	<p>Angin vertikal menunjukkan bahwa kecepatannya di Shigaraki hampir sama dibandingkan dengan di Agam. Di Agam, ada <i>updraft</i> yang cukup lama terjadi antara pukul 9:45 sampai 16:00 dengan kecepatan lebih dari 0,5 km/jam.</p>
10 Juli 2015	<p>Kontur angin zonal menunjukkan angin timur dominan di Agam. Terjadi angin barat cukup kencang sepanjang hari terjadi di ketinggian 2 km sampai 4 km, di lapisan atasnya angin timur dengan kecepatan rendah. Lapisan kecepatan sama masih nampak dengan jelas. Di Shigaraki terjadi pertemuan angin dengan kecepatan sedang (barat) dan kecepatan rendah (timur) pada pagi hari.</p>	<p>Angin meridional di Shigaraki lebih kencang tetapi arahnya sama dengan yang di Agam.</p>	<p>Kecepatan angin vertikal di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Di Agam, ada <i>updraft</i> yang cukup lama terjadi antara pukul 00:00-04:00 dan 6:25 – 13:05 dengan kecepatan lebih dari 0,5 km/jam.</p>	
19 Oktober 2015	<p>Di Agam, dominan angin timur. Kecepatan angin barat di Shigaraki lebih tinggi.</p>	<p>Di Agam, lapisan dengan angin yang sama terhadap ketinggian terlihat jelas diketinggian 7- 10 km. Arah dan kecepatan angin di Shigaraki hampir sama dengan di Agam.</p>	<p>Dominan angin vertikal negatif seperti kondisi sebelumnya dengan kecepatan yang juga hampir sama, baik di Agam maupun di Shigaraki.</p>	
20 Oktober 2015		<p>Di Agam, <i>closure</i> yang membentuk lapisan terhadap ketinggian terlihat jelas yaitu lapisan 2 km - 4 km, 4 km - 7 km dan 7 km - 10 km. Kecepatan dan arah angin meridional di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Ada <i>closure</i> tetapi tidak membentuk lapisan sempurna, di dalam lapisan tersebut ada <i>closure-closure</i> angin dengan kecepatan berbeda.</p>	<p>Kecepatan angin vertikal di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Di Shigaraki, ada lapisan dengan kecepatan dan arah yang sama pada ketinggian 10 km dan terkoneksi dgn lapisan di bawahnya.</p>	
21 Oktober 2015	<p>Angin timur dominan di Agam. Di Shigaraki, angin timur dominan sampai ketinggian 4,81 km, diatasnya angin barat dengan kecepatan cukup tinggi.</p>	<p>Kecepatan dan arah angin meridional di Shigaraki dan Agam hampir sama. Di Agam, <i>closure</i> yang membentuk lapisan dengan arah dan kecepatan angin yang sama terhadap ketinggian terlihat jelas dan lebih tipis. Di Shigaraki <i>closure</i> yang membentuk lapisan terhadap ketinggian tidak nampak, hanya ada <i>closure-closure</i> terpisah.</p>	<p>Kecepatan angin vertikal di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Di Shigaraki, ada lapisan dengan kecepatan dan arah yang sama pada ketinggian 10 km dan terkoneksi dengan lapisan di bawahnya.</p>	

	22 Oktober 2015		Kecepatan dan arah angin meridional di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Di Agam lapisan dengan angin yang sama terhadap ketinggian terlihat jelas dan tipis. Di Shigaraki lapisan ini tidak teramati, hanya ada <i>closure</i> .	Kecepatan angin <i>downdraft</i> di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Teramati lapisan dengan kecepatan dan arah yang sama di Shigaraki pada ketinggian 10 km dan terkoneksi dengan <i>closure</i> di bawahnya.
	23 Oktober 2015	Angin timur dominan di Agam. Kecepatan angin barat di Shigaraki lebih tinggi.	Kecepatan dan arah angin meridional di Shigaraki hampir sama dibandingkan di Agam. Di Agam tidak teramati adanya lapisan dengan kecepatan angin yang sama terhadap ketinggian, begitu pula di Shigaraki. Di Shigaraki banyak teramati <i>closure</i> .	

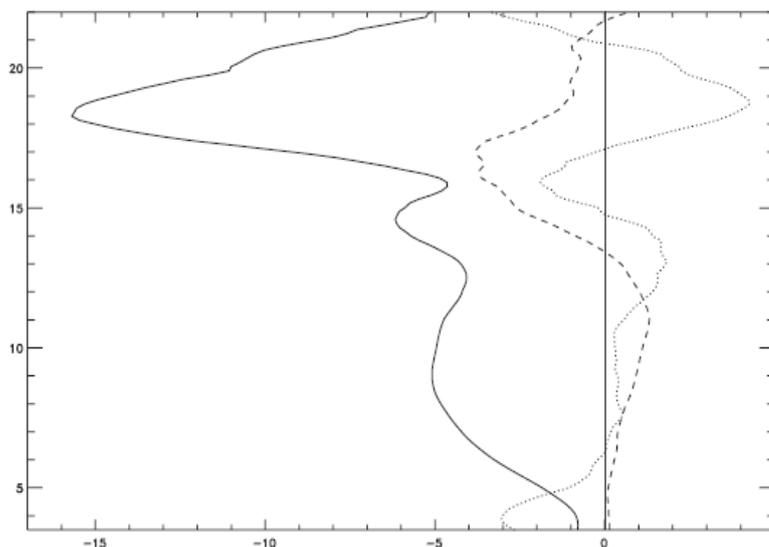
Kecepatan angin meridional (Tabel 1, kolom 4) di Agam kadang lebih rendah tetapi kadang sama dengan kecepatan angin di Shigaraki. *Closure* yang membentuk lapisan terhadap ketinggian lebih banyak ditemui di Agam sementara di Shigaraki banyak *closure-closure* terpisah, salah satu kasus ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Atas: Angin meridional EAR (Agam, Indonesia), Bawah: Angin meridional MUR (Shigaraki, Jepang), tanggal 9 Juli 2015

Angin horizontal di Agam pada periode pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kesamaan arah dan kecepatan dengan angin yang diamati pada *first campaign* CPEA.<sup>10</sup>

Kesesuaian ini menunjukkan bahwa arah angin horizontal di Agam tidak berubah, sejak tahun 2004, bahkan untuk angin meridional dan angin vertikal.



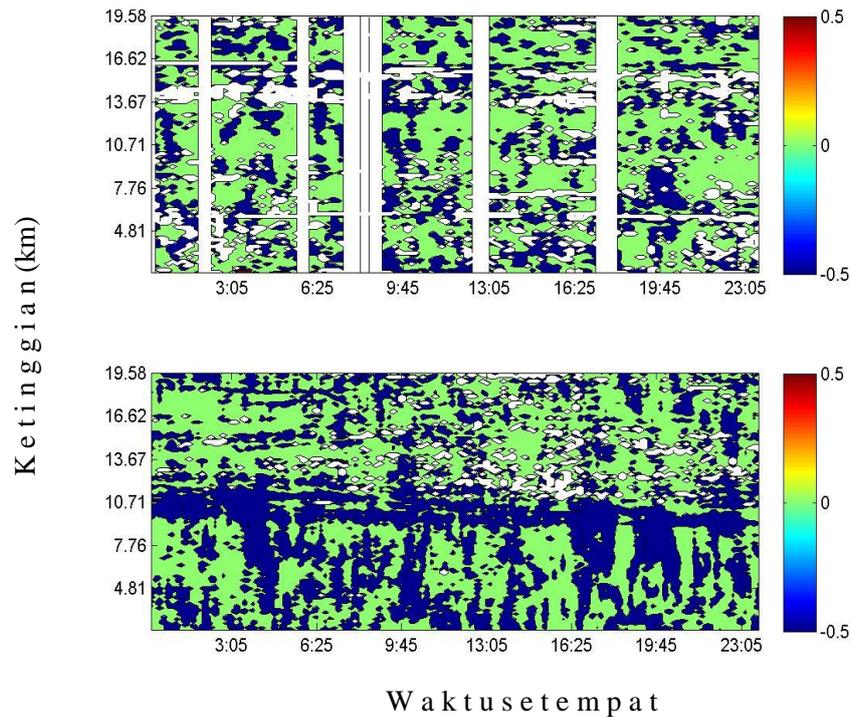
**Gambar 5.** Arah dan kecepatan angin di Agam pada periode *first campaign* CPEA tahun 2004<sup>10</sup> (garis penuh: angin zonal, garis putus-putus: angin meridional, garis titik-titik: angin vertikal x 10)

Angin zonal dan meridional di Agam kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan angin yang sama di Shigaraki. Hal ini disebabkan kontras suhu horizontal di Shigaraki lebih tinggi dibandingkan dengan di Agam. Sedangkan, untuk variasi kecepatan terhadap ketinggian di Agam lebih bervariasi dibandingkan di Shigaraki. Hal ini ditunjukkan dengan *closure* terhadap ketinggian yang jumlahnya lebih banyak di Agam dibandingkan di Shigaraki.

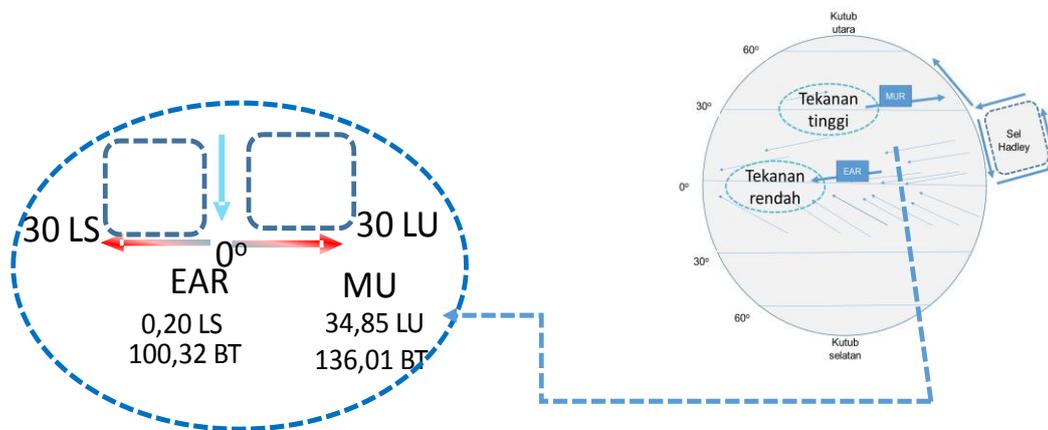
Kecepatan angin vertikal di Shigaraki sama atau lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin vertikal di Agam. Angin vertikal negatif (*downdraft*) lebih sering muncul dibandingkan angin vertikal positif (*updraft*). Sering muncul *closure-closure* angin vertikal negatif yang terkoneksi dengan lapisan bawahnya (*closure* vertikal).

Perbandingan kecepatan angin di dua lokasi di atas menunjukkan kontras suhu di Shigaraki dalam arah zonal lebih tinggi dibandingkan di Agam, sementara kontras suhu dalam arah meridional dan vertikal hampir sama.

Resultan angin meridional dan angin zonal yang membentuk angin pasat timur seperti diperlihatkan oleh data EAR di Agam menunjukkan adanya konvergensi di ekuatorial yang merupakan indikasi adanya sirkulasi vertikal di ekuator (sel Hadley). Angin horizontal yang berlawanan di Shigaraki menunjukkan adanya wilayah tekanan tinggi di lintang menengah yang juga secara langsung menunjukkan adanya wilayah divergensi di lintang menengah. Ini menjadi indikator adanya sel Hadley yang melibatkan angin di lintang rendah dengan angin di lintang tinggi (Gambar 6). Dengan demikian, data angin zonal dan meridional EAR dan MUR merepresentasikan kondisi angin ekuatorial dan lintang menengah dan menunjukkan indikasi adanya sel Hadley. Angin vertikal positif di ekuator menunjukkan konvergensi sementara angin vertikal negatif di lintang menengah menunjukkan divergensi. Dengan demikian sel Hadley terbukti keberadaannya berdasarkan data angin zonal dan meridional di Agam dan Shigaraki dan angin vertikal negatif di Shigaraki (sel Hadley meliputi 34°LU, berdasarkan Simon<sup>10</sup>).



**Gambar 5.** Atas: Angin vertikal EAR (Agam, Indonesia), Bawah: Angin vertikal MUR (Shigaraki, Jepang), tanggal 20 Oktober 2015



**Gambar 6.** Penampang sel Hadley yang terbentuk oleh sirkulasi lokal ekuatorial (EAR) dengan sirkulasi lintang menengah (MU)

Penelitian sederhana ini mampu mengidentifikasi keberadaan sel Hadley. Untuk pembuktian yang lebih sempurna dibutuhkan data spasial baik di ekuatorial maupun di lintang menengah dan rentang waktu yang lebih panjang sehingga dapat dibuktikan konsistensinya.

#### 4. KESIMPULAN

Angin timur di Agam dan angin barat di Shigaraki dan angin vertikal di Shigaraki membuktikan adanya sel Hadley lintang menengah. Angin horizontal di ekuatorial yang berupa

angin pasat timur menjadi indikator terjadinya konvergensi di permukaan ekuatorial dan angin barat di Shigaraki menjadi indikasi adanya divergensi di permukaan lintang menengah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan hasil penelitian karakter angin tiga dimensi di dua lokasi, Agam dan Shigaraki. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada LAPAN dan RISH atas dukungannya sehingga penelitian ini bisa terlaksana dan menghasilkan beberapa makalah penelitian. Makalah ini adalah salah satunya.

## DAFTAR RUJUKAN

- <sup>1</sup>Huang, J. and M. B. McElroy, 2004. Contributions of the Hadley and Ferrel Circulations to the Energetics of the Atmosphere over the Past 32 Year, *Journal of Climate* **27** (7): 2656–2666, doi:10.1175/jcli-d-13-00538.1.
- <sup>2</sup>Persson, A., 2006. Hadley's Principle: Understanding and Misunderstanding the Trade Winds. *History of Meteorology*, **3**: 17–42.
- <sup>3</sup>Fukao, S, 2006. Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA): A Project Overview, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84A**: 1-18.
- <sup>4</sup>Fudeyasu, H., K. Ichiyanagi, K. Yoshimura, S. Mori, N. Sakurai, J.-I. Hamada, M. D. Yamanaka, J. Matsumoto and F. Syamsudin, 2011. Effects of large-scale moisture transport and meso- scale processes on precipitation isotope ratios observed at Sumatera, Indonesia, *J. Meteor. Soc. Japan*, **89A**: 49-59.
- <sup>5</sup>Xiao-Wei Q., H. F. Diaz and M. P. Hoerling, 2004. Changes in the Tropical Hadley Cell since 1950. In Henry F. Diaz and Raymond S. Bradley. The Hadley Circulation: Present, Past, and Future, *Advances in Global Change Research* **21**, Springer Netherlands. pp. 85–120, doi:10.1007/978-1-4020-2944-8. ISBN 978-1-4020-2943-1. Preprint at 'Change of the Tropical Hadley Cell Since 1950', NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center.
- <sup>6</sup>Frierson D. M. W., J. Lu and G. Gang Chen, 2007. Width of the Hadley cell in simple and comprehensive general circulation models, *Geophysical Research Letters*, **34** (18): L18804. Bibcode:2007GeoRL..3418804F. doi:10.1029/2007GL031115.
- <sup>7</sup>Seidel, J. D., W. Fu, W. J. Randel and T. J. Reichler, 2007. Widening of the tropical belt in a changing climate, *Nature Geoscience*, **1** (1): 21–4. Bibcode:2008NatGe...1...21S. doi:10.1038/geo.2007.38.
- <sup>8</sup>Johanson, C. M. and Q. Fu, 2008. Hadley Cell Widening: Model Simulations versus Observations. *Journal of Climate*, **22** (10): 2713–25, Bibcode:2009JCLI...22.2713J. doi:10.1175/2008JCLI2620.1.
- <sup>9</sup>Van Geel B. and H. Renssen, 1998. Abrupt climate change around 2650 BP in North-West Europe: evidence for climatic teleconnections and a tentative explanation. In Issar, A.S. Brown, N. Water, Environment and Society in Times of Climatic Change, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 21–41.
- <sup>10</sup>Simon, A., T. Tsuda, J. Furumoto, T. Shimomai, T. Kozu, and M. Kawashima, 2006. Statistical Overview of Convection During the First CPEA, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. **84A**: 57-93.