

Indeks Monsun

Asia-Australia dan Aplikasinya



Indeks Monsun

Asia-Australia dan Aplikasinya



Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

All Rights Reserved

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indeks Monsun

Asia-Australia dan Aplikasinya

Eddy Hermawan

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2015 Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)

Katalog dalam terbitan
Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya/Eddy Hermawan-Jakarta:
LIPI Press, 2015.

xvi hlm. + 144 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-979-799-829-5 (cetak)
978-602-496-301-9 (e-book)

- | | |
|-------------------|-------------|
| 1. Monsun | 3. Indeks |
| 2. Asia-Australia | 4. Aplikasi |

551.518 4

Copy editor : Sri Suratmini
Proofreader : Martinus Helmiawan dan Risma Wahyu Hartiningsih
Penata Isi : Erna Rumbiati dan Meita Safitri
Desainer sampul : Meita Safitri

Cetakan pertama : November 2015



Diterbitkan oleh:
LIPI Press, anggota of Ikapi
Jln. Gondangdia Lama 39, Menteng, Jakarta 10350
Telp: (021) 314 0228, 314 6942. Faks.: (021) 314 4591
E-mail: press@mail.lipi.go.id

Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi Pengetahuan Lokal Tahun 2021 Balai Media dan Reproduksi (LIPI Press), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.



Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	v
PENGANTAR PENERBIT.....	vii
KATA PENGANTAR PAKAR METEOROLOGI	ix
KATA PENGANTAR KEPALA LAPAN	xi
PRAKATA	xii
BAB 1	
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Bencana Hidrometeorologi	6
C. Rekomendasi Sidang GEOSS dan IPCC	8
D. Sumbangsih PSTA Lapan	12
BAB 2	
GAMBARAN UMUM BENUA MARITIM INDONESIA DAN KONSEP DASAR PENGERTIAN INDEKS MONSUN ASIA- AUSTRALIA	19
A. Gambaran Umum Benua Maritim Indonesia (BMI)	19
B. Konsep Dasar Pengertian Monsun.....	21
C. Kriteria Kawasan Monsun	25
D. Mekanisme Terjadinya Monsun di Indonesia	27
E. Penentuan Indeks Monsun.	32
F. Curah Hujan.....	37
1. Curah Hujan Pola Monsunal	38
2. Curah Hujan Pola Ekuatorial.....	39
3. Curah Hujan Pola Lokal	39

BAB 3	
PERKEMBANGAN KEGIATAN RISET INDEKS MONSUN ASIA-AUSTRALIA DAN APLIKASINYA	47
A. Berbasis Data Radar.....	51
1. Berbasis Data EAR.....	51
2. Berbasis Data WPR.....	54
B. Berbasis Data Anomali Curah Hujan Permukaan.	69
1. Penentuan Model Anomali Curah Hujan Malang	69
2. Penentuan Awal Musim Hujan, Kemarau, dan Transisi di Yogyakarta	77
C. Interkoneksi antara Monsun dan <i>El-Niño</i>	83
1. Analisis Data Anomali Curah Hujan Bulanan	85
2. Analisis Spektral Indeks Monsun Asia-Australia dengan Data SST <i>Niño 3.4</i>	87
3. Analisis Interkoneksi antara Data Anomali Curah Hujan, Data Indeks Monsun, dan Data SST <i>Niño 3.4</i>	92
4. Korelasi Silang Berbasis <i>Cross Correlation Function</i> (CCF) Analysis.....	94
BAB 4	
IMPLEMENTASI KAJIAN INDEKS MONSUN ASIA-AUSTRALIA DI MASA MENDATANG	97
A. Penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI).....	97
B. Penentuan Awal Musim.....	100
C. Interkoneksi antara Monsun dengan <i>El-Niño</i> Terkait dengan Estimasi Curah Hujan Ekstrem	102
D. Monitoring, Prediksi, dan Proyeksi Penyusunan IMI di Masa Mendatang.....	110
E. Kemungkinan Simulasi IMI Berbasis Hasil Running Model Atmosfer Indonesia.....	114
BAB 5	
KESIMPULAN DAN IMPLEMENTASI KEBIJAKAN	117
Kesimpulan.....	117
Implementasi Kebijakan.....	118
DAFTAR ACUAN	121
GLOSARIUM	133
INDEKS	139

PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Penyediaan terbitan ilmiah yang berkualitas adalah salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku *Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya* mengulas dinamika monsun yang telah menyebabkan anomali iklim di Indonesia sejak beberapa dekade terakhir. Secara khusus, buku ini mencoba untuk mencari satu model prediksi dinamika iklim sebagai solusi. Model tersebut diformulasikan dalam bentuk indeks monsun.

Harapan kami, terbitan ini dapat memberikan sumbangan ilmu dan wawasan bagi para pembaca serta dapat memberikan informasi yang jelas mengenai keterkaitan antara anomali iklim yang terjadi dan dinamika monsun di Indonesia. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

PAKAR METEOROLOGI

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, saya menyambut gembira atas penerbitan buku “Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya” yang telah ditulis oleh Prof. Dr. Eddy Hermawan dari Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Buku ini akan sangat membantu BMKG dan akademisi dalam rangka menyosialisasikan pentingnya pemantauan indikasi awal (*precursor*) datangnya satu kondisi iklim ekstrem, khususnya curah hujan ekstrem yang terjadi di beberapa kawasan pusat produksi tanaman pangan akibat adanya perubahan (gangguan) iklim global (*global climatic change*) yang semakin sulit untuk diprediksi.

Dengan diterbitkannya buku ini, diharapkan ada pemahaman yang lebih baik tentang fenomena monsun dan aplikasinya di Indonesia, baik bagi peneliti, praktisi, dan akademisi di bidang meteorologi dan klimatologi. Pemahaman yang lebih baik ini pada akhirnya diharapkan akan meningkatkan efektivitas pengguna dalam merespons peringatan dini bakal terjadinya bencana hidrometeorologi di masa mendatang. Selain itu, buku ini diharapkan pula dapat dipakai oleh para pengambil kebijakan (*stakeholder*) dalam memprediksi anomali curah hujan serta dapat memberikan dukungan informasi bagi bidang

pertanian, perkebunan serta kelestarian lingkungan dengan memanfaatkan data dinamika atmosfer dan pengamatan lapangan di berbagai lokasi di kawasan Indonesia, khususnya kawasan sentra pangan yang ada di beberapa kawasan Indonesia.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada penulis dan semua pihak yang telah berpartisipasi hingga terbitnya buku ini, dan semoga Allah Swt., Tuhan Yang Maha Esa senantiasa meridhoi usaha kita.

Jakarta, 3 November 2015

Kapuslitbang BMKG dan IPCC Working Group I Vice Chair

Prof. Dr. Edvin Aldrian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

KATA PENGANTAR

KEPALA LAPAN

Cuaca adalah fenomena perwujudan distribusi energi matahari yang diterima daratan, lautan, dan atmosfer. Interaksi daratan, lautan, dan atmosfer dalam mendistribusikan energi tersebut tampak sebagai angin, awan, dan hujan. Posisi matahari yang secara periodik beralih utara–selatan, menyebabkan energi matahari pun dibagi secara periodik pula di belahan bumi utara dan belahan bumi selatan. Pada saat matahari di belahan utara (sekitar Juni), tekanan udara di belahan utara lebih rendah daripada belahan selatan maka angin pun bertiup dari selatan ke utara. Sebaliknya, ketika matahari di belahan selatan (sekitar Desember), angin bertiup dari utara ke selatan. Anginlah yang mempengaruhi pembentukan gugusan awan yang terkait dengan cuaca dan musim di Indonesia. Fenomena angin yang beralih periodik dengan ikutan musim hujan dan kemarau itulah yang dikenal sebagai fenomena monsun.

Cuaca di Indonesia sangat dipengaruhi oleh monsun, yaitu monsun Asia-Australia. Untuk memahami dan memprakirakan cuaca di Indonesia, penelitian tentang monsun menjadi sangat penting. Itulah salah satu penelitian di Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN dalam kerangka besar pemahaman dinamika atmosfer ekuator. Prof. Dr. Eddy Hermawan telah lama meneliti karakteristik monsun

Asia-Australia yang dinyatakan sebagai indeks monsun. Buku ini, “Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya”, menguraikan hasil penelitian tentang karakteristik monsun Asia-Australia diharapkan menjadi rujukan bagi para peneliti atmosfer dan menjadi penambah wawasan bagi publik.

LAPAN terus mendorong para penelitiannya untuk mempublikasikan hasil-hasil penelitiannya, bukan saja sebagai makalah di jurnal ilmiah, tetapi juga berupa buku ilmiah. Buku ilmiah merupakan karya akumulasi pengetahuan peneliti yang disampaikan kepada publik dalam bentuknya yang utuh. Diharapkan buku “Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya” ini menjadi kontribusi LAPAN dalam meningkatkan khazanah ilmiah pemahaman akan karakteristik dinamika atmosfer dan cuaca di Indonesia.

Jakarta, 3 November 2015

Kepala Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN)

Prof. Dr. Thomas Djamaluddin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA

Puji syukur yang tiada hingga penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala taufik, hidayah, dan inayah-Nya sehingga buku sederhana ini akhirnya dapat diterbitkan. Ide dasar atau gagasan utama diterbitkannya buku ini didasari atas adanya satu kebutuhan nasional tentang pentingnya pemantauan indikasi awal datangnya satu kondisi iklim ekstrem, khususnya curah hujan ekstrem yang terjadi di beberapa kawasan pusat produksi tanaman pangan akibat adanya perubahan (gangguan) iklim global yang kian hari kian jelas di depan mata.

Penerbitan buku ini penting dilakukan guna diperoleh pemahaman yang lebih baik lagi tentang fenomena monsun, mengingat sebagian besar masyarakat Indonesia, khususnya mereka yang tinggal jauh dari perkotaan bergantung pada sektor pertanian, khususnya petani sawah tadah hujan yang masih mengandalkan air hujan sebagai motor penggerak utama produksi padi yang dihasilkan. Tidak hanya itu saja, masyarakat yang bertani rawa pun kini memiliki masalah serupa, tatkala curah hujan ekstrem merusak kawasan mereka. Hal tersebut membuktikan sulitnya penerapan pola kalender tanam (katam) yang telah dibuat Kementerian Pertanian untuk satu kawasan pertanian tertentu.

Banyak faktor yang menentukan besar kecilnya jatah atau kiriman air hujan ke kawasan pusat produksi pangan mereka. Salah satunya adalah gejala atmosfer yang hingga kini masih menguasai sistem dinamika atmosfer Indonesia, yakni dinamika monsun. Terkait dengan ini, diperlukan suatu bentuk sosialisasi diseminasi hasil penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), khususnya Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA), melalui buku dengan judul *Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya*.

Hal ini berawal dari satu pertanyaan dasar, ada apa dengan sistem dinamika atmosfer Indonesia saat ini? Mengapa curah hujan kini tidak lagi berpola teratur? Bagaimana fenomena monsun dapat diprediksi dengan baik dan benar? Mengapa belum ada satupun model atmosfer yang cocok untuk kawasan Benua Maritim Indonesia (BMI) yang tergolong unik dan spesifik. Adakah satu model atmosfer yang telah diuji validasinya sehingga prediksi terjadinya monsun bisa dilakukan tepat waktu dan tepat sasaran? Perlukah mengkaji kembali pengertian atau konsep dasar fenomena monsun, terkait dengan penentuan awal musim dan juga pengaturan pola tanam di beberapa kawasan sentra produksi tanaman pangan di Indonesia? Masih banyak pertanyaan lain yang sepertinya membuka pandangan dan wawasan baru tentang pentingnya satu indeks monsun yang benar-benar sesuai dengan kawasan Indonesia.

Bobot dari buku ini difokuskan kepada pemahaman tentang bagaimana mekanisme terjadinya monsun di kawasan Indonesia, termasuk di dalamnya kajian faktor yang paling dominan, ke arah mana kumpulan awan-awan penghasil hujan bergerak, adakah hal ini akan berdampak kepada anomali curah hujan di kawasan yang dilalui kumpulan awan-awan tersebut? Dapatkah fenomena/kejadian di atas dimodelkan agar dapat dibuat satu model prediksi yang tepat waktu dan tepat sasaran? Hal yang tidak kalah pentingnya adalah

bagaimana kiranya proyeksi kajian monsun termasuk prediksinya di masa mendatang.

Akhirnya, penulis berharap penuh semoga hadirnya buku ini dapat dipakai oleh para pengambil kebijakan dalam prediksi anomali curah hujan, khususnya yang terjadi di kawasan sentra produksi tanaman pangan di beberapa kawasan Indonesia dalam upaya mendukung fungsi LAPAN, khususnya PSTA sebagai lembaga pemberi rekomendasi dalam masalah yang berkaitan dengan iklim dan cuaca.

Selain itu, buku ini diharapkan dapat memberikan dukungan informasi di bidang pertanian, perkebunan, dan kelestarian lingkungan dengan memanfaatkan data dinamika atmosfer dan pengamatan lapangan di berbagai lokasi, khususnya kawasan sentra pangan yang ada di beberapa kawasan Indonesia. Hasil kajian ini juga bermanfaat bagi kegiatan yang ruang geraknya di pesisir dan perairan.

Buku ini mencoba menerangkan konsep dasar tentang fenomena monsun yang telah menjadi salah satu program utama kegiatan penelitian di lingkungan PSTA LAPAN Bandung sejak lima tahun terakhir. Diawali dengan Bab 1, yakni Pendahuluan yang berisi latar belakang, gagasan utama atau alasan dasar mengapa buku ini penting untuk diterbitkan.

Bab II berisi gambaran umum Benua Maritim Indonesia (BMI) sebagai bagian penting dalam studi Monsun Asia-Australia. Selain berisi tentang pentingnya peran BMI, juga dijelaskan konsep dasar pengertian Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA), termasuk di dalamnya mekanisme terjadinya Monsun Asia-Australia. Bab III berisi perkembangan riset Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) dan aplikasinya dalam penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI). Bab IV menguraikan tentang implementasi kajian indeks monsun Asia-Australia di masa mendatang, dan Bab V merupakan kesimpulan dan implikasi kebijakan.

Dengan terbitnya buku ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara aktif, khususnya rekan-rekan di Bidang Pemodelan Atmosfer (BPA), Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) LAPAN Bandung. Terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada istri penulis yang selalu mengingatkan agar buku ini segera diselesaikan tepat waktu dan tepat sasaran. Juga tidak lupa ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada rekan Immanuel Aditya atas draf *design cover page* yang dibuat. Pada kesempatan ini, penulis juga ingin menghaturkan ucapan banyak terima kasih kepada Shailla Rustiana yang telah banyak membantu penulis dalam hal mengedit penyusunan tata bahasa Indonesia sesuai dengan saran yang diberikan *reviewer*.

Jujur, dari lubuk hati penulis yang paling dalam penulis ingin menyampaikan bahwa buku ini bukanlah murni hasil karya penulis semata, melainkan hasil kerja sama antara penulis dan rekan-rekan, dan juga hasil karya anak-anak bimbingan, di antaranya Veza Azteria, Naziah Madani, Winda Puspita Sari, Prasasti Br Surbakti, Efitri Apriliyan Senitawati, Astuti Widya Lestari, Rizki Krisnanto, Robbi Sudiantoro, Rendra Edward, dan masih banyak lagi yang tidak mungkin penulis sebutkan satu per satu.

Akhirnya, penulis menyadari, indahnya gading karena keretakannya, pun demikian dengan buku ini yang kiranya masih jauh dari sempurna. Jadi, jika nanti saatnya pengguna menemukan kesalahan, baik secara teknis maupun konsep dapat memberikan masukan kepada penulis untuk perbaikan pada penerbitannya.

Bandung, Maret 2015

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ada satu pokok permasalahan serius yang dihadapi pemerintah pusat dan daerah saat ini, khususnya Dewan Ketahanan Pangan Nasional (DKPN) atau National Food Security Council, Badan Ketahanan Pangan (BKP) atau Agency for Food Security, dan Kementerian Pertanian. Permasalahan tersebut terkait dengan dampak serius yang terjadi akibat perilaku cuaca atau iklim ekstrem yang melanda beberapa kawasan lumbung padi nasional dalam beberapa dasawarsa terakhir, khususnya sejak tahun 2010 yang berakibat kepada bergesernya pola kalender tanam (katam) di beberapa kawasan lumbung padi nasional tersebut.

Persoalan tidak hanya terbatas pada pertanian yang menggunakan sistem sawah tadah hujan semata yang masih dijumpai di beberapa kawasan lumbung padi yang ada di Pulau Jawa. Persoalan juga pada pertanian yang menggunakan sistem sawah rawa yang ada di luar Pulau Jawa, seperti Kalimantan Barat dan Selatan yang dikenal dengan rawa gambutnya. Terlihat bahwa masalah cuaca atau iklim ekstrem, terutama curah hujan ekstrem tetap menjadi kendala utama dalam penerapan pola katam yang cocok untuk kawasan tersebut.

Saat ini, paling tidak ada sebelas provinsi di Indonesia yang telah ditetapkan DKPN sebagai kawasan lumbung padi nasional yang keberadaannya sangat tergantung kepada asupan air yang diterima. Hal ini menandakan bahwa hadirnya cuaca atau iklim ekstrem dalam beberapa dasawarsa mendatang tidak mampu diprediksi dengan baik dan benar, apalagi tepat waktu dan juga tepat sasaran. Hal tersebut dipastikan akan mengakibatkan penurunan produksi gabah atau padi besar-besaran. Penurunan tidak hanya pada tataran lokal, namun juga tataran nasional. Ini tentunya berdampak sosial yang sangat serius jika terjadi dalam kurun waktu yang relatif lama (lebih dari 9 bulan) (Hermawan dkk., 2011b).

Kejadian cuaca atau iklim ekstrem yang semula umumnya menyerang kawasan sepanjang Pantai Utara (Pantura) Pulau Jawa, ternyata kini juga melanda kawasan lain di luar Pulau Jawa, seperti kawasan *Food and Rice Estate* yang ada di Provinsi Kalimantan Timur. Kawasan tersebut juga tidak luput dari ancaman cuaca atau iklim ekstrem, terutama curah hujan ekstrem yang jauh melebihi batasan normalnya, yakni di atas 400 mm/bulan (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2009; Hermawan, 2011a; Hermawan dkk., 2011b, Hermawan, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d. Hermawan dan Witono, 2012e; Hermawan, Witono, dan Lestari, 2012f).

Kondisi cuaca atau iklim ekstrem tersebut terjadi bukan diakibatkan oleh rusaknya faktor lingkungan semata, namun juga akibat berinteraksinya fenomena *El-Niño* dengan *Dipole Mode* seperti yang terjadi di tahun 1997/98, saat kedua fenomena tersebut terjadi dalam kurun waktu yang hampir bersamaan (simultan). Dampak yang dihasilkan berupa kondisi ekstrem kering atau hujan yang mencapai sembilan bulan, sedangkan kondisi normal hanya mencapai tiga bulan (Hermawan, 2003; Hermawan & Komalaningsih, 2007; Hermawan & Harjana, 2011c).

Tanpa disadari, ternyata pada saat yang hampir bersamaan fenomena monsun pun mengalami hal yang sama dengan fenomena *El-Niño* dengan *Dipole Mode*. Fenomena ini terjadi ketika nilai indeks monsun global yang masing-masing diwakili oleh *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI), *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI), dan *Australian Monsoon Index* (AUSMI) mengalami penyimpangan, deviasi atau anomali yang relatif besar melebihi batas ambang normalnya. Ini yang kiranya perlu mendapat perhatian, terlebih monsun merupakan osilasi (embutan) paling dominan yang menguasai kompleksitas dinamika atmosfer Indonesia (Hermawan, 2010a dan 2010b).

Boleh saja dianggap bahwa pada saat itu (saat terjadinya kondisi ekstrem) faktor *El-Niño*—lah yang relatif paling dominan berperan. Hal ini diindikasikan dengan nilai anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) (lebih dikenal dengan istilah SST, *Sea Surface Temperature*) *Niño3.4* dan juga anomali *Dipole Mode* yang melebihi batasan normalnya, yakni di atas atau bawah nilai 1,5. Namun, juga tidak dapat dimungkiri bahwa pada akhirnya faktor monsunlah yang memegang peranan terbesar sebagai pemicu utama terjadinya anomali curah hujan di beberapa kawasan Indonesia.

Ini terjadi selama ada perbedaan yang kontras antara daratan dan lautan dalam penerimaan radiasi surya di Benua Maritim Indonesia (BMI)(Hermawan & Edward, 2013). Ditinjau dari posisinya geografis yang unik dan spesifik, kondisi meteorologi permukaan BMI dipengaruhi oleh adanya iklim monsun atau *Monsoon Climate* (Khrisnamurti & Bhalme, 1976; Wheeler & Bride, 2005; Gadgil, 2007; Wang & Ding, 2006 dan 2008).

Satu hal yang perlu dipahami di antara berbagai fenomena global/regional tadi, ada kalanya fenomena-fenomena tersebut saling menguatkan, namun juga saling melemahkan, tergantung siklus fase yang terjadi pada saat itu. Dampak serius terjadi ketika di antara fenomena

di atas (seperti *El-Niño* dan *Dipole Mode*) terjadi dalam satu siklus fase yang sama sehingga keduanya saling menguatkan. Sementara itu, ada kalanya keduanya berada pada fase yang berbeda (berlawanan) sehingga dampak yang ditimbulkan tidaklah terlalu serius karena mereka saling melemahkan. Seluruh fenomena di atas umumnya terjadi dalam satu kurun waktu yang hampir bersamaan atau biasanya dikenal dengan istilah simultan (Harijono, 2008; Hermawan, 2010a, 2010b, 2010c, 2011a, dan 2011 b).

Hal ini pun terjadi di saat indeks Monsun Asia, yang masing-masing diwakili parameter ISMI dan WNPMI, diredam kekuatannya oleh indeks monsun Australia yang diwakili oleh AUSMI. Kapan, di mana, dan berapa besar dampak yang ditimbulkannya terhadap anomali curah hujan di beberapa kawasan Indonesia menjadi bagian utama dalam pembuatan buku ini. Banyak hal yang masih perlu dikaji kembali mengingat monsun ternyata tidaklah sesederhana yang dibayangkan, melainkan rumit dan relatif kompleks sehingga perlu kehati-hatian ketika menganalisisnya.

Oleh karena itu, dipandang perlu untuk dibuat satu buku tentang Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) dan aplikasinya di Indonesia. Hal ini didasarkan pada kebutuhan nasional, yaitu pentingnya pemahaman yang baik dan benar tentang IMAA sebagai bagian utama dalam penyusunan satu indeks monsun yang benar-benar sesuai dengan kondisi Indonesia yang dikenal sebagai Indeks Monsun Indonesia (IMI).

Dipandang perlu untuk terus-menerus mempelajari, mengkaji, dan meneliti sebelum akhirnya memahami betapa pentingnya pemahaman yang baik dan benar tentang IMAA, khususnya ilmuwan muda Indonesia yang bergerak di bidang ilmu cuaca (*meteorology*), ilmu iklim (*climatology*), perubahan iklim (*climatic change*), dan para pengambil kebijakan yang terkait. Juga kepada mereka yang bekerja di bidang/sector pertanian, perkebunan, kelautan, kehutanan, dan

lain-lain yang kiranya masih terkait erat dengan dampak anomali monsun yang akhir-akhir ini menjadi pusat perhatian.

Buku ini diharapkan menjadi pelengkap bagi subbab buku tentang “Australian-Indonesian Monsoon” dari judul besarnya *Intra-seasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System*, dipublikasi oleh Springer Praxis Books 2005, halaman 125–173 (Wheeler and Mc Bride, 2005). Disini terlihat bahwa fenomena monsun terkait erat dengan interaksi antara daratan dan lautan, yakni fenomena *Intra Seasonal Variability* (ISV), khususnya fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO) sebagai pemicu atau pembangkit utama terjadinya Monsun, khususnya di BMI (Hermawan, 2011b).

Selain itu, buku ini diharapkan menjadi pelengkap makalah yang ditulis oleh Jourdain dkk. (2013) tentang “The Indo-Australian Monsoon and its Relationship to ENSO and Dipole Mode in Re-analysis Data and the CMIP3/CMIP5 Simulations”. Dalam makalah tersebut, dibahas secara rinci bagaimana peran Monsun Indo-Australia terkait dengan aktivitas *El-Niño and Southern Oscillation* (ENSO) dan *Dipole Mode* berbasis hasil simulasi model *Couple Model Intercomparison Project* (CMIP3/CMIP5).

Hal terbaru yang diperoleh dalam beberapa dasawarsa belakangan ini adalah fenomena monsun, ternyata ada kalanya terkait erat dengan fenomena *El-Niño* (Wang dkk., 2012; Hermawan & Edward, 2013). Tidak hanya terbatas di sini saja, sebab ada juga peneliti lain, seperti Moron dkk. (2008) menganalisis koherensi dan juga prediksi musiman onset monsun yang ada di Indonesia. Hal serupa juga terjadi antara Monsun, *El-Niño*, dan *Dipole Mode* (Hermawan, 2010a, 2010b, dan 2010c). Ini semua terjadi akibat perbedaan yang sangat kontras antara proses pemanasan yang ada di daratan dan lautan, yang dominan terjadi di sepanjang sabuk ekuator Indonesia. Karena fenomena ini telah berlangsung lama maka tidak menutup kemungkinan adanya

faktor perubahan iklim global (*global climatic change*) ikut berperan memengaruhi osilasi monsun yang terjadi di kawasan ini.

Hal ini menyebabkan seorang ahli pakar meteorologi dari Tiongkok yang kini menetap di Amerika Serikat bernama Bin Wang dan rekannya bernama Qinghua Ding pada tahun 2006 menerbitkan satu buku berjudul *Changes in Global Monsoon Precipitation over the Past 56 Years* (Wang & Ding, 2006). Bahkan Bin Wang lebih jauh lagi menganalisis perubahan terkini curah hujan monsun periode 1979 hingga 2008 (Wang dkk., 2012).

Terkait dengan fenomena atau kejadian di atas maka bencana atmosfer, khususnya bencana hidrometeorologi (*hydrometeorological hazards*), seperti ini terus menjadi pusat perhatian masyarakat dunia, tidak terkecuali Indonesia. Hal tersebut akibat adanya perubahan atau pergeseran pola curah hujan, termasuk di dalamnya kejadian curah hujan ekstrem hingga jauh melebihi batasan normalnya. Pada akhirnya diketahui bahwa monsunlah yang paling bertanggung jawab atas terjadinya bencana hidrometeorologi di Indonesia.

B. Bencana Hidrometeorologi

Peristiwa banjir besar (*big floods*) yang melanda Jakarta dan kawasan sekitarnya pada tanggal 17 Januari 2013 dan juga banjir bandang yang melanda Manado pada tanggal 14 Januari 2014 merupakan bukti nyata jika bencana hidrometeorologi hampir setiap tahun melanda BMI. Kejadian tersebut bukan diakibatkan oleh kerusakan lingkungan semata, namun juga akibat adanya “serangan fajar” bersatunya dua atau lebih fenomena alam, yakni *Madden-Julian Oscillation* (MJO) dan Saruak Dingin (*Cold Surge*) dari belahan bumi utara (BBU) ke belahan bumi selatan (BBS) yang menyebabkan monsun “terbangun” dari tidur nyenyaknya (Wu dkk., 2007; Gernowo, 2010). Penjelasan kejadian ekstrem tersebut juga didukung oleh *press release* yang

dikeluarkan oleh pihak *Japan Agency of Marine-Earth Science and Technology* (JAMSTEC), Jepang (JAMSTEC, 2013).

Walaupun tidak menimbulkan banjir bandang, namun curah hujan yang terjadi terus-menerus hampir di seluruh kawasan barat Indonesia sejak akhir Desember 2013 hingga akhir Februari 2014 menambah deretan bencana hidrometeorologi di tanah air. Fenomena ini sepertinya terus berlanjut di tahun-tahun mendatang jika siklus normal monsun terusik ketenangannya oleh fenomena atmosfer lain yang menyebabkan terjadinya anomali monsun melebihi batasan normalnya.

Konsekuensi logis dari kejadian di atas adalah sejak tahun 2010 silam hampir tidak lagi dikenal musim kemarau. Hampir setiap hari, walaupun dengan intensitas ringan hingga sedang, kawasan barat Indonesia dilanda hujan. Bahkan di saat musim kemarau pun masih ada saja hujan yang turun, walau sifatnya hanyalah gerimis atau rintik-rintik (*drizzle*). Jika demikian bagaimana pengaruh monsun? Masih konsistenkah definisi monsun yang diindikasikan adanya perbedaan yang jelas dan tegas antara musim kemarau dan musim hujan? Hal inilah yang menjadi bagian penting dari isi buku.

Namun, tidak itu saja, anomali monsun juga menyebabkan pasokan air hujan jadi melimpah ke beberapa wilayah Indonesia, khususnya kawasan barat Indonesia. Karena hujan dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat (dalam hitungan jam) maka tidak mengherankan jika gagalnya antisipasi banjir merupakan akibat gagalannya memprediksi anomali monsun dengan baik dan benar, yaitu tepat waktu dan tepat sasaran. Hal ini dapat diamati dari peristiwa banjir besar di Jakarta pada tanggal 17 Januari 2013 dan kembali terjadi pada tanggal dan bulan yang nyaris sama, yakni 14 Januari 2014 di Manado. Meskipun lokasi dan waktunya berbeda, namun keduanya mirip, yakni fenomena banjir bandang yang terjadi akibat adanya kisanan atau pusaran angin (dikenal dengan istilah *vortex*) yang

menimbulkan “serangan fajar” masa uap air ke Jakarta dan Manado di awal tahun 2013 dan 2014.

Karena terjadi hampir tiap tahun, bencana banjir tersebut kini mulai dianggap hal yang biasa bagi sebagian besar warga, terutama di saat musim hujan (Desember-Januari-Februari). Mereka mulai menyadari bahwa banjir yang terjadi akhir-akhir ini bukan akibat anomali cuaca atau iklim semata, melainkan lebih didominasi oleh adanya kerusakan lingkungan yang menyebabkan air sungai tidak mengalir dengan lancar dari dataran tinggi ke dataran yang relatif lebih rendah. Banjir di kawasan pesisir juga bukan hanya akibat masuknya air laut ke pesisir pantai utara Jakarta (dikenal dengan istilah banjir *rob*), namun juga akibat “terganggunya” fenomena monsun yang menyebabkan terjadinya anomali atau penyimpangan curah hujan yang terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia bagian barat.

C. Rekomendasi Sidang GEOSS dan IPCC

Hasil analisis data curah hujan dan suhu sejak 1990 menunjukkan bahwa tidak hanya telah terjadi peningkatan jumlah curah hujan dalam waktu relatif singkat, namun juga peningkatan tajam frekuensi atau intensitas curah hujan di Jakarta. Fenomena monsun tadinya beresilasi dengan baik dan sempurna, yang pergeserannya mengikuti gerak semu matahari terhadap bumi, namun kini sulit diprediksi dengan tepat. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya faktor lain yang berperan besar memengaruhi dinamika siklusnya, yakni osilasi setiap tahun yang dikenal dengan istilah *Annual Oscillation* (AO).

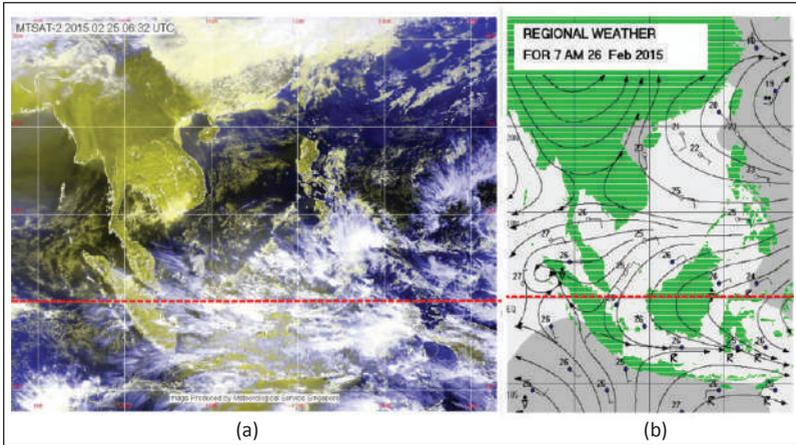
Diduga telah terjadi perubahan atau pergeseran pola monsun seiring dengan berpindahnya pusat-pusat tekanan rendah (*low pressure center*) yang ada di muka bumi. Monsun kini tidak hanya memicu terjadinya fenomena lain, namun juga dipicu oleh fenomena lain. Inilah yang digambarkan oleh pakar-pakar iklim dunia pada acara

simposium *Global Earth Observation System to System* (GEOSS) Maret tahun 2010 di Bali dan juga pertemuan sidang *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC) saat membahas *Assessment Report* (AR)5 pada tahun 2011 di Jakarta yang merekomendasikan bahwa sebagai satu “interkoneksi” atau “telekoneksi” atau “interaksi” yang paling dominan maka monsun dan dampak yang ditimbulkannya perlu terus dikaji lebih lanjut secara komprehensif.

Pentingnya BMI terkait dengan perannya terhadap isu perubahan iklim global telah dikaji oleh Neale dkk., (2003) dengan judul makalah *The Maritime Continent and Its Role in The Global Climate*. Kejadian akhir-akhir ini, terutama fenomena curah hujan ekstrem tentunya menyadarkan semua bahwa ada sesuatu yang berubah di permukaan bumi. Pusat tekanan rendah terjadi selama bulan JJA (Juni-Juli-Agustus) di belahan bumi utara (BBU) yang menyebabkan masa udara dari belahan bumi selatan (BBS) yang mestinya sudah harus bergerak ke BBU, namun hingga mendekati akhir Februari 2014 silam masih setia bersemayam di BBS. Hal ini menyebabkan tertahannya masa udara hangat dari BBS oleh masa udara dingin dari BBU. Jadi, tidaklah mengherankan jika suhu udara permukaan yang dirasakan akhir Februari 2014 silam relatif dingin. Hal ini di kalangan meteorologis disebut sebagai serangan udara dingin dari BBU (dikenal sebagai saruak dingin), sebagaimana dijelaskan rinci oleh Wu dkk. (2007).

Indikasinya jelas, yakni hampir sepanjang hari kawasan ini diselimuti oleh kumpulan awan-awan tebal yang dikenal sebagai *Super Cloud Clusters* (SCCs) yang bisa saja sewaktu-waktu menghasilkan hujan lebat dengan intensitas mencapai lebih dari 125 mm/hari. Bahkan dari citra satelit *Multi-functional Transport Satellite* (MTSAT), terutama dari sensor infra merah, kawasan yang dilanda curah hujan lebat dengan intensitas tinggi tampak lebih nyata, misalnya yang terjadi di sepanjang Laut Jawa yang letaknya di bawah garis ekuator

pada tanggal 25 Maret 2015 pukul 06:32 UTC atau sekitar 13:32 WIB seperti tampak pada Gambar 1 berikut.



sumber :

(a) http://www.weather.gov.sg/wip/pp/ssops/mtsats_latest.jpeg

(b) <http://www.weather.gov.sg/wip/pp/rndops/web/ship/gif/wxchaert.gif>

Gambar 1. Distribusi Kumpulan Awan Cb di Sekitar Sabuk Ekuator pada Tanggal 25 Maret 2015 Sekitar Pukul 13:32 WIB

Mengapa hal ini dapat terjadi? Bukankah matahari sebagai sumber utama terjadinya anomali ini sudah mulai bergerak merangkak ke BBU? Tidak mudah menjawabnya, namun yang jelas dan pasti adalah pada saat itu kawasan Indonesia menjadi pusat tekanan rendah yang menyebabkan adanya kumpulan awan-awan *Cumulonimbus* (Cb) yang berasal dari Lautan Hindia bebas leluasa memasuki kawasan BMI. Adanya Selat Sunda (*Sundanese Strait*) yang membelah Pulau Jawa dan Pulau Sumatra seakan menambah kawasan ini menjadi pusat tekanan rendah yang relatif dominan untuk kawasan Indonesia bagian barat. Ini semua tentunya membangkitkan kesadaran untuk belajar kembali memahami mekanisme terjadinya fenomena monsun dengan baik dan benar. Tentunya dengan kaidah-kaidah ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan dengan baik dan benar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Apakah fenomena ini mengindikasikan bahwa telah terjadi perubahan atau pergeseran iklim khususnya pola curah hujan di Indonesia? Tampaknya hal ini perlu dikaji lagi dengan baik dan benar (Naylor dkk., 2007). Terlepas dari apakah hal ini terkait dengan isu perubahan iklim atau bukan, yang jelas dampak kejadian di atas tidak hanya dirasakan oleh negara-negara yang letaknya relatif dekat dengan kutub, yaitu tempat mencairnya es (*glasier*), namun terjadi juga di Indonesia. Walaupun terletak pada posisi yang relatif jauh dari kutub, bahkan terletak di kawasan sabuk ekuator, namun Indonesia juga rentan terhadap dampak perubahan iklim global.

Jika dikaji lebih cermat maka tampak bahwa fenomena anomali monsun yang terjadi saat ini seperti yang dicirikan dengan tipe hujan gerimis atau rintik-rintik hampir sepanjang hari. Hal ini dapat digambarkan seperti sebuah *front*, yakni bersatu atau bertemunya dua massa udara yang berbeda masing-masing dari belahan bumi selatan (BBS), yaitu masa udara panas dari Benua Australia dan massa udara dingin yang berasal dari belahan bumi utara (BBU). Hasilnya adalah suhu udara permukaan yang relatif lebih dingin daripada biasanya, terutama di malam dan menjelang pagi.

Kecenderungan perubahan perilaku monsun sebagaimana dijelaskan di atas, umumnya ditandai oleh peningkatan suhu permukaan (*surface temperature*), baik yang ada di laut maupun di darat secara global sehingga dikenal dengan istilah pemanasan global. Keadaan tersebut kemudian diikuti dengan naiknya permukaan air laut sehingga terjadi “infiltrasi” (penyusupan atau masuknya) air laut ke daratan yang dikenal dengan istilah *rob* yang umumnya terjadi di kawasan yang letaknya berhadapan langsung dengan laut, seperti kawasan pantai utara Pulau Jawa (pantura).

Satu dampak serius yang dikhawatirkan apabila isu pemanasan global tersebut menjadi kenyataan adalah terganggunya produksi tanaman pangan akibat terjadinya perubahan atau pergeseran pola

iklim dari kondisi normal. Hal ini kemudian menimbulkan fenomena ekstrem, seperti curah hujan ekstrem yang kian hari kian sulit untuk diprediksi dengan tepat (Hermawan dan Edward, 2013). Dengan kata lain, telah terjadi pergeseran atau perubahan pola curah hujan yang berdampak kepada semakin sulitnya penentuan waktu tanam yang tepat sehingga peluang terjadinya risiko gagal panen semakin besar.

Walaupun bukan termasuk negara penghasil emisi terbesar di dunia (dikenal dengan istilah kelompok ANEX), namun mengingat posisi Indonesia yang sangat strategis, diapit oleh dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua samudra besar (Pasifik dan Hindia), juga dinamika atmosfer yang relatif kompleks maka peran Indonesia dalam menekan laju emisi gas rumah kaca (GRK), khususnya gas karbon dioksida (CO₂), sangat diperlukan. Ini penting dilakukan sebagai komitmen pemerintah Indonesia dalam menindaklanjuti pertemuan G-20 di Pittsburg untuk menurunkan emisi GRK di Indonesia hingga 26% di tahun 2020.

D. Sumbangsih PSTA Lapan

Sebagai lembaga riset pemerintah yang salah satu tugasnya menangani masalah iklim, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) khususnya Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) Lapan Bandung, berkewajiban memberikan informasi yang cepat, tepat, dan akurat tentang kondisi iklim masa lalu, masa kini, dan masa mendatang, baik untuk jangka pendek, menengah maupun panjang. Informasi disampaikan, khususnya bagi para pengambil kebijakan (*stakeholder*) melalui satu media yang dikenal dengan istilah *Decision Supporting system* (DSS).

Hal ini tentunya sejalan dengan visi dan misi utama PSTA LAPAN sebagai pusat keunggulan di bidang sains dan teknologi atmosfer. Walaupun hasil-hasil riset yang didapat selama ini belumlah

optimal mengingat masih perlu dilakukan kajian lebih lanjut/mendalam, dengan semangat kebersamaan hasil-hasil yang telah didapat selama ini terus dikembangkan dan disempurnakan.

Diterbitkannya buku ini dimaksudkan sebagai sumbangsih nyata PSTA LAPAN Bandung dalam memenuhi satu kebutuhan nasional dalam hal pemantauan indikasi awal datangnya kondisi iklim ekstrem (khususnya curah hujan ekstrem) di Indonesia. Pemantauan ini diperlukan terutama di beberapa kawasan sentra pangan di Indonesia, karena pengaruh monsun terhadap terjadinya anomali curah hujan hingga kini masih dianggap yang paling dominan. Hal ini sejalan dengan program pemerintah pusat (dalam hal ini Dewan Ketahanan Pangan Nasional) yang sedang giat-giatnya berupaya semaksimal mungkin menyelamatkan sentra produksi tanaman pangan yang tersebar di 11 provinsi di Indonesia. Kawasan tersebut rentan terhadap kondisi cuaca atau iklim ekstrem yang berkepanjangan. Sejak awal tahun 2010 hingga sekarang, kondisi hujan masih saja menyelimuti sebagian besar kawasan terutama di kawasan barat Indonesia. Kesebelas provinsi tersebut adalah Provinsi Sumatra Utara, Lampung, Sumatra Selatan, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Selatan, dan Sulawesi Selatan (Hermawan, 2012a, 2012b, 2012c, dan 2012d; Hermawan & Edwuard, 2013).

Berkaitan dengan itu buku ini difokuskan kepada pemahaman yang lebih mendalam tentang konsep dasar Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) yang masing-masing diwakili oleh parameter *Indian SumhPaer Monsoon Index* (ISMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) untuk kawasan Benua Asia, dan *Australian Monsoon Index* (AUSMI) untuk Benua Australia, termasuk aplikasinya bagi penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI). Hingga saat ini, belum ada satupun indeks iklim global yang benar-benar sesuai dengan kawasan Indonesia.

Sehubungan dengan itu, diperlukan kajian yang utuh, runut, dan terpadu tentang kompleksitas dinamika atmosfer Indonesia. Kajian tidak hanya melibatkan komponen atmosfer dan laut yang ada di dalamnya, namun juga interaksi yang terjadi antara darat dan laut ataupun sebaliknya yang dikenal dengan istilah interaksi antara laut dan atmosfer. Dari hal tersebut ditemukan adanya dua komponen utama yang berperan besar terhadap peredaran umum cuaca dan iklim di Indonesia. Yang pertama dikenal sebagai Sirkulasi Barat-Timur (*Zonal Circulation*) dengan Sirkulasi Walker (*Walker Circulation*) sebagai parameter utamanya. Di sini terlihat jelas adanya dua kekuatan besar yang mempengaruhi dinamika atmosfer Indonesia, yakni fenomena *El-Niño* dan *Dipole Mode* yang dominan ada di Lautan Pasifik dan Hindia. Sementara itu, komponen kedua adalah Sirkulasi Utara-Selatan (*Meridional Circulation*) dengan Sirkulasi Hadley (*Hadley Circulation*) sebagai parameter utamanya. Terlihat jelas pula adanya fenomena monsun yang diduga masih mendominasi kompleksitas dinamika atmosfer Indonesia terutama dari parameter anomali curah hujan dan angin di lapisan troposfer. Ini semua merupakan hasil kegiatan riset PSTA LAPAN yang masih terus dikaji.

Bahasan selanjutnya difokuskan kepada fenomena monsun yang memang mendominasi perilaku iklim, khususnya curah hujan di atas Indonesia. Buku ini bukan merupakan buku kajian monsun yang pertama kali diterbitkan, namun fakta menunjukkan bahwa fenomena monsun sepertinya tetap menarik untuk dikaji lebih mendalam, apalagi setelah sidang *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ke-31 tanggal 26–29 Oktober 2009 di Bali dan juga sidang *Global Earth System to System* (GEOSS) ke-4 tanggal 10–12 Maret 2010 di tempat yang sama, telah memasukkan fenomena Monsun dan kompleksitas dinamika atmosfer yang ditimbulkannya terhadap anomali curah hujan di beberapa kawasan Indonesia untuk dikaji lebih mendalam dan serius (Hermawan, 2011a, 2011b, dan 2011c).

Buku ini merupakan penyempurnaan dari satu makalah yang penulis lakukan ketika menulis tentang monsun di tahun 2010 dengan judul “Investigasi Datangnya Awal Monsun di Kawasan Barat Indonesia Berbasis Hasil Analisis Data *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR)” yang dipublikasi di Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi, Vol. 10, No. 2, Juni–September 2010, hlm.145–150, ISSN 1411-8289, terakreditasi berdasarkan SK LIPI No. 276/AU1/P2HPAI/05/2010 (Hermawan, 2010d).

Tulisan ini juga memberi inspirasi kepada penulis untuk terus mengembangkan sekaligus memanfaatkan data EAR, WPR, dan fasilitas lain yang ada di Loka LAPAN Kototabang, Bukittinggi, Sumatra Barat dan juga pengamatan dirgantara Pontianak, Manado, dan Biak. Fasilitas tersebut sebagai bagian penting dalam pembangunan sistem peringatan dini terjadinya anomali iklim, khususnya anomali monsun yang terjadi di kawasan barat Indonesia.

Hasil sementara menunjukkan bahwa sinyal monsun di kawasan barat Indonesia terdeteksi dengan jelas di lapisan 200 hPa atau sekitar 11,7 km di atas permukaan laut (dpl). Hal ini didasarkan pada hasil analisis data angin meridional (utara-selatan) EAR rata-rata bulanan periode April 2002 hingga April 2006 dengan osilasi kuat pada *peak* 12 bulanan (dikenal dengan istilah *Annual Oscillation* (AO) (Hermawan dkk., 2010e).

Intraseasonal variability of the South Asian Monsoon observed with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) merupakan makalah yang mengungkapkan tentang analisis terhadap data EAR untuk dapat diaplikasikan langsung, tidak lagi *science to science*, tetapi *science to applicable research* (Hermawan dkk., 2010e). Belum banyak yang diungkap dari makalah sederhana di atas, seperti penentuan masalah *onset, pre, break, active, withdrawal, dan post* monsun. Analisis struktur vertikal, angin zonal, dan juga angin meridional EAR mulai dari 2 hingga 24 km dpl, sepertinya mutlak dilakukan.

Selain itu, diperoleh hasil bahwa perilaku data WPR dan EAR ternyata berkorelasi baik dengan salah satu indeks monsun Asia-Australia terutama di dua lapisan utama, yaitu masing-masing pada 850 dan 200 hPa atau setara dengan ketinggian sekitar 1,5 dan 11,7 km di atas permukaan laut (dpl). Terkait dengan fenomena tertangkapnya sinyal monsun di lapisan troposfer bawah, yaitu di sekitar lapisan 850 hPa, telah dilakukan satu kajian tentang pengembangan Indeks Monsun Indonesia (IMI) berbasis hasil analisis data WPR. Dengan berbasis data angin zonal pada lapisan 850 hPa, dari kawasan Pontianak, Manado, dan Biak periode 30 Oktober 2008 hingga 29 Oktober 2010 (sekitar dua tahun pengamatan) yang pengukurannya dilakukan dalam kurun waktu yang hampir bersamaan (*simultan*), ditemukan adanya sinyal monsun di ketiga kota di atas dengan osilasi dominan sekitar 12 bulanan (*Annual Oscillation/AO*) (Hermawan dkk., 2011d).

Hal ini dianggap tidak berlebihan mengingat monsun memainkan peranan yang sangat penting tidak hanya terhadap variabilitas iklim Indonesia, melainkan juga dunia. Badan Meteorologi Dunia (*World Meteorological Organization/WMO*) yang bermarkas di Swiss (Genewa) telah menetapkan Indonesia sebagai salah satu dari 3 kawasan penting dunia, yaitu kawasan pemicu terjadinya perubahan iklim global. Hal ini merupakan konsekuensi logis akibat posisi Indonesia yang diapit oleh dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua samudra besar (Pasifik dan Hindia). Berdasarkan hal tersebut, Ramage (1968, 1971) menamakan kawasan ini sebagai *Indonesia Maritime Continent* (IMC) atau lebih dikenal dengan istilah Benua Maritim Indonesia (BMI). Sekilas tampak terlihat sederhana karena proses pembentukan atau mekanisme terjadinya monsun diduga terkait erat dengan pergeseran semu matahari terhadap bumi. Namun, fakta menunjukkan lain. Ini dibuktikan dengan kajian yang dilakukan Aldrian dan Susanto (2003) yang menemukan adanya tiga tipe pola

curah hujan; satu di antaranya berbanding terbalik dengan pola monsun.

Mekanisme terjadinya monsun dan pengaruh yang ditimbulkannya terhadap anomali curah hujan sangatlah menarik untuk dikaji lebih dalam terutama untuk kawasan barat Indonesia. Hal ini disebabkan kawasan ini sepanjang tahun hampir menjadi pusat tekanan rendah tempat bertemunya dua massa udara dari belahan bumi utara dan belahan bumi selatan, yaitu selama bulan-bulan hujan Desember-Januari-Februari (DJF). Selain berhadapan langsung dengan Lautan Hindia, kawasan ini didominasi pula oleh kumpulan pulau-pulau kecil yang menghasilkan konveksi skala lokal yang dicirikan oleh terbentuknya kumpulan awan-awan *Cumulonimbus* yang dikenal dengan nama *Super Cloud Clusters* (SCCs) (Hermawan, 2003; Hermawan dan Komalaningsih, 2007).

BAB II

BENUA MARITIM INDONESIA DAN KONSEP DASAR PENGERTIAN INDEKS MONSUN ASIA-AUSTRALIA

A. Benua Maritim Indonesia (BMI)

Sebelum membahas lebih lanjut tentang konsep dasar pengertian Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA), akan dibahas tentang pentingnya kajian Benua Maritim Indonesia (BMI) sebagai salah satu kawasan penting dunia dalam pemantauan mekanisme terjadinya monsun di kawasan ekuator. Semula banyak orang beranggapan bahwa BMI adalah negara kepulauan yang terdiri dari lima pulau besar, masing-masing Pulau Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Papua, dan lebih dari 17.000 pulau kecil yang tersebar bagai zamrud permata dari Sabang hingga Merauke.

Namun, anggapan tersebut seperti ini berubah sejak Ramage (1968 dan 1971) menamakan Indonesia sebagai satu-satunya kawasan unik di ekuator dengan nama *Indonesian Maritime Continent* (IMC) atau lebih dikenal dengan istilah Benua Maritim Indonesia (BMI). Dari susunan tata bahasanya saja, mudah dipahami bahwa BMI adalah negara lautan (perairan) yang barangkali termasuk tiga terbesar di dunia, dengan 2/3 bagian wilayahnya didominasi oleh laut, dan sisanya didominasi oleh daratan (*archipelago*). Wajar jika kawasan ini senantiasa didominasi oleh kumpulan awan-awan raksasa (*giant*

clouds), suatu konsekuensi logis sebagai penyimpan bahang (panas) terbesar, baik yang bersifat nyata (*sensible*) maupun yang tidak nyata atau tersembunyi (*latent*).

BMI ternyata juga memiliki garis pantai yang relatif panjang, yakni sekitar 54.716 km atau nomor dua setelah Kanada (Kanada memiliki garis pantai sepanjang kurang lebih 202.080 km) (Resa, 2011), yang mengelilingi lebih dari 17.000 pulau, baik besar maupun kecil dengan distribusi daratan yang beragam atau acak (*random*). Kawasan laut menghasilkan konveksi skala besar, didukung oleh pulau-pulau yang kecil yang memberi sumbangsih besar pula terhadap konveksi lokal. Oleh karena itu, BMI mampu memicu terjadinya sirkulasi angin laut (dikenal dengan istilah *sea breeze circulation*). Dapat dikatakan bahwa kawasan Indonesia memiliki aktivitas kuat konveksi, minimal untuk kawasan ekuator yang dicirikan dengan terbentuknya kumpulan awan-awan Cb (SCCs) hingga mencapai lapisan tropopause (sekitar 17 km dpl).

Letak Indonesia di antara 6°LU hingga 11°LS menyebabkan kawasan ini memiliki pengaruh gaya Coriolis (*Coriolis Force*) relatif kecil. Akibatnya, walaupun memiliki garis ekuator yang relatif panjang (sekitar 1/8 bagian dari bola dunia), yakni 90°BT hingga 145°BT, kawasan ini hampir relatif bebas dari bahaya angin badai topan (*thunderstorm*) sepanjang tahunnya.

Fenomena monsun sebenarnya tidaklah jauh beda dengan fenomena sirkulasi angin laut hanya berbeda pada skala waktu dan ruang saja. Jika fenomena angin laut relatif berskala kecil, yakni antara darat dan laut saja fenomena monsun melibatkan benua dan samudra. Tidak hanya melibatkan faktor curah hujan semata, melainkan juga faktor arah dan kecepatan angin sebagai parameter utamanya, terutama perilaku angin di lapisan 200 dan 850 hPa (sekitar 11,7 km dan 1,5 km di atas permukaan laut, dpl) sesuai dengan konsep

dasar definisi monsun yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi Dunia yang dikenal dengan nama *World Meteorological Organization* (WMO).

Monsun tidak selamanya berjalan normal, ada kalanya saling menguatkan, namun kadang pula saling melemahkan. Monsun tidaklah berdiri sendiri, melainkan saling berinteraksi antara monsun satu dengan monsun lainnya, dikenal dengan istilah interkoneksi atau interaksi atau telekoneksi, seperti digambarkan oleh Wang and Zhang (2002) dan Wang dkk. (2000 dan 2003a, dan 2003b).

Tidak hanya terbatas kepada interkoneksi sesama monsun, melainkan juga antara monsun dan *Dipole Mode* atau antara monsun dan *El-Niño* seperti yang pernah penulis lakukan (Webster and Yang, 1992; Wang dkk., 2000; Wu and Wang, 2002; dan Hermawan dan Edwuard, 2013). Kejadian musim kemarau panjang yang alami di tahun 1982/83 dan juga 1997/98 merupakan bukti nyata bahwa monsun telah terusik dari kondisi normalnya (Wang dkk., 2001 dan 2008).

B. Konsep Dasar Pengertian Monsun

Sebelum membahas masalah indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) dan pengaruhnya pada dinamika atmosfer Indonesia yang terkait dengan anomali curah hujan, disajikan gambaran umum tentang definisi atau makna monsun. Kata Monsun (Monsoon) berasal dari bahasa Arab dari kata *mausam* yang berarti musim. Monsun didefinisikan sebagai angin yang berubah arah selama setahun atau angin yang bertiup musiman dan merupakan sistem sirkulasi regional (Ramage, 1971; Chao and Chen 2001; and Wang dkk., 2004(a) dan (b): dan Goswani dkk., 1999).

Monsun berbalik arah secara musiman sebagai akibat dari perbedaan dinamika termal (panas/bahang) antara benua dan lautan. Sirku-

lasi monsun yang paling luas di dunia terjadi di wilayah tropis Asia. Khrisnamurti (1971) menyatakan bahwa monsun Asia membentuk sirkulasi subsistem yang besar pada sirkulasi umum di atmosfer global. Monsun ini mengatur iklim di bagian Benua India yang menghasilkan adanya musim hangat hujan dan musim dingin kering (Holton, 1993 dan Berliana, 1995).

Wilayah Indonesia dikaitkan dengan iklim Monsun karena terletak antara dua benua, Asia dan Australia, dan di antara dua samudra (lautan), Pasifik dan Hindia. Curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh monsun yang digerakkan oleh adanya sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah di Benua Asia dan Australia secara bergantian. Pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF), pergeseran semu matahari berada $23,5^\circ$ di BBS (*Tropics of Capricorn*) sehingga bertiup angin dari utara menuju selatan yang lebih dikenal dengan monsun barat. Enam bulan kemudian, tepatnya pada bulan-bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) berlaku sebaliknya (*Tropics of Cancer*), yakni monsun timur. Sementara itu, bulan-bulan lainnya diistilahkan dengan musim peralihan sebagaimana dijelaskan oleh Wang and Xu (1997); Wang and Fan (1999); Wang dkk. (2003a dan 2003b); Wang dkk. (2008a dan 2008b); dan Prawirowardoyo (1996).

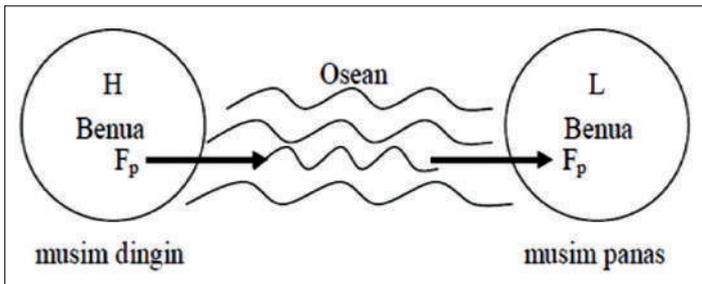
Menurut Chao dan Chen (2001), monsun merupakan rata-rata waktu (misalnya: bulanan) dari sistem konvektif daratan di daerah tropis. Secara umum, dapat digambarkan bahwa monsun berhubungan dengan fluktuasi *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ) di sekitar sabuk ekuator sehingga keberadaan monsun tidak bergantung pada perbedaan antara daratan dan lautan yang kontras. Namun, secara keseluruhan monsun dapat didefinisikan sebagai pembalikan (*reversal*) angin permukaan tahunan, termasuk pembalikan perpindahan tahunan dan distribusi presipitasi tahunan yang kontras antara musim panas dan musim dingin. Pusat musim panas menyebabkan musim hujan

dan relatif kering saat musim dingin (Wang and Ho, 2002; dan Wang and Ding, 2006).

Dengan demikian, dapat dikatakan pada dasarnya monsun sebagai fenomena global dinamika atmosfer disebabkan oleh dua faktor sebagaimana dijelaskan oleh Tjasyono (1996, 2004, dan 2008).

- 1) Peredaran semu matahari terhadap bumi yang bergerak antara $23,5^{\circ}\text{LU}$ – $23,5^{\circ}\text{LS}$ mengakibatkan arah pergeseran angin mengikuti peredaran matahari tersebut dengan periode setengah tahunan atau sering disebut sebagai periode musiman.
- 2) Adanya perbedaan kapasitas panas yang diterima antara daratan dan lautan yang cukup besar.

Pada saat musim panas, daratan memiliki suhu permukaan relatif lebih tinggi daripada lautan. Oleh karena itu, pada saat musim panas daratan berubah menjadi pusat tekanan rendah dan angin otomatis bergerak dari lautan menuju daratan. Sebaliknya, pada saat musim dingin suhu daratan relatif lebih kecil daripada suhu lautan sehingga pada saat musim dingin daratan berubah menjadi pusat tekanan tinggi sehingga sirkulasi udara permukaan bergerak dari daratan menuju lautan (Prawiwardoyo, 1996). Hal ini juga sesuai dengan Tjasyono (1996, 2004, dan 2008) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



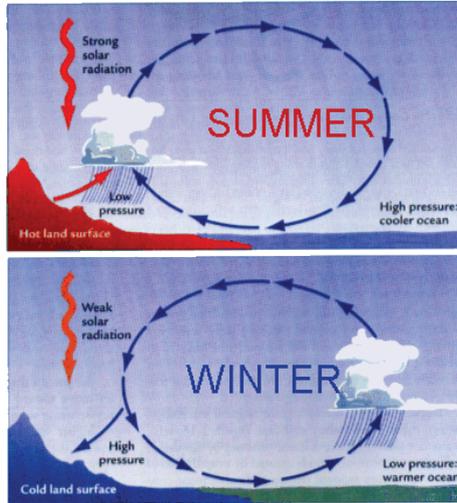
Sumber: Tjasyono, 1996, 2004, dan 2008

Gambar 2. Sirkulasi Musiman Sistem Monsun dalam Musim Dingin dan Panas

Monsun yang berpengaruh pada datangnya musim hujan setelah musim kemarau telah menjadi teka-teki yang relatif lama dalam ilmu meteorologi. Perbedaan skala benua dan laut yang sangat kontras merupakan salah satu alasan utama terjadinya fenomena monsun (Wang & Fan, 1999; Wheeler & Mc. Bride, 2005; dan Wang & Ding, 2008). Beberapa ahli tersebut menjelaskan bahwa mekanisme utama terjadinya monsun dapat dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Pada saat musim panas, pemanasan daratan yang sangat intensif oleh matahari (contohnya di benua Asia) menyebabkan suhu udara permukaan yang ada di kawasan tersebut meningkat, yang dikenal dengan istilah skala termal tinggi daratan. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya pusat tekanan rendah (*low pressure*) yang dikenal dengan istilah *konvergensi*. Hal ini juga memicu bertiupnya angin permukaan dari arah barat daya ke kawasan tersebut. Angin ini diduga “kaya” dengan uap air yang berasal dari belahan bumi selatan (BBS) sehingga terbentuklah kumpulan udara lembab seperti kumpulan awan-awan kumulus.
- 2) Sebaliknya, pada saat musim dingin, pendinginan daratan Asia yang berlangsung relatif lama menyebabkan suhu udara permukaan di kawasan tersebut menurun dan dikenal dengan istilah skala termal rendah daratan. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya pusat tekanan tinggi (*high pressure*) yang dikenal dengan istilah *divergensi*. Divergensi memicu angin permukaan bertiup ke arah barat daya. Angin ini diduga “miskin” uap air dari belahan bumi utara (BBU) sehingga yang terbentuk hanyalah kumpulan udara kering.

Penjelasan tentang mekanisme terjadinya Monsun dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: Weather Street (2013)

Gambar 3. Sirkulasi Monsun di Saat *Summer* (Panel Atas), (Panel Bawah) di Saat *Winter*

C. Kriteria Kawasan Monsun

Istilah monsun sudah lama dikenal orang. Istilah ini pertama kali digunakan di Jazirah Arab untuk menamakan angin di Laut Arab yang dalam satu tahun bertiup berubah arah, setengah tahun dari arah timur laut dan setengah tahun kemudian dari arah sebaliknya, yakni tenggara.

Bergantinya tiupan angin tersebut, terkait erat dengan perbedaan panas yang cukup jelas antara laut dan darat sehingga timbul perbedaan tekanan udara. Tekanan udara di darat relatif lebih tinggi di saat musim dingin dan relatif lebih rendah di saat musim panas (Ramage, 1968, 1971). Karena pergantian arah angin ini maka monsun tidak terjadi di setiap daerah, melainkan hanya di kawasan tertentu, yakni di kawasan tropik yang kondisinya memenuhi syarat untuk terjadinya Monsun (Wang & Ding, 2008; Wu & Wang, 2000 dan 2001).

Terkait dengan hal itu, Ramage (1971) memberikan kriteria untuk areal monsun berdasarkan sirkulasi permukaan bulan Januari dan Juli sebagai berikut:

- 1) Arah angin utama berubah sekurang-kurangnya 120° antara bulan Januari dan Juli;
- 2) Rata-rata kemiringan angin utama pada bulan Januari dan Juli melebihi 40%;
- 3) Rata-rata resultan angin dalam sebulan adalah lebih dari 3m/detik;
- 4) Sekurang-kurangnya satu antisiklon terjadi bergantian di daerah 5° lintang dan bujur.

Dari kriteria yang dikemukakan Ramage (1971) di atas maka kawasan antara 35°LU dan 25°LS serta antara 30°BT dan 170°BT adalah kawasan yang memenuhi syarat untuk dikatakan sebagai kawasan monsun. Dari banyak kawasan monsun, yang paling jelas adalah di Asia (Asia Selatan, Asia Timur, Asia Tenggara), Monsun Australia Utara, Monsun Australia, dan Monsun Afrika (Afrika Selatan, Afrika Barat, Afrika Timur).

Selain kriteria yang dikemukakan Ramage (1971), saat ini kawasan monsun juga didefinisikan dengan menggunakan kriteria posisi Pias Pumpun Antartropik (PPAT) yang tidak lain merupakan lajur perbatasan antara daerah Antisiklon Utara dan Antisiklon Selatan yang lebih dikenal dengan istilah *Inter Tropical Convergence Zone* (ITCZ). PPAT digunakan sebagai kriteria kawasan Monsun karena daerah yang dilewati PPAT selalu mengalami perubahan arah angin yang memenuhi kriteria Ramage. Dengan demikian, selain kawasan yang telah disebutkan, kawasan monsun lebih umum terletak di antara kawasan PPAT paling utara (Juli) dan paling selatan (Januari), termasuk daerah Pasifik Timur, Amerika Selatan, dan Atlantik Barat.

D. Mekanisme Terjadinya Monsun di Indonesia

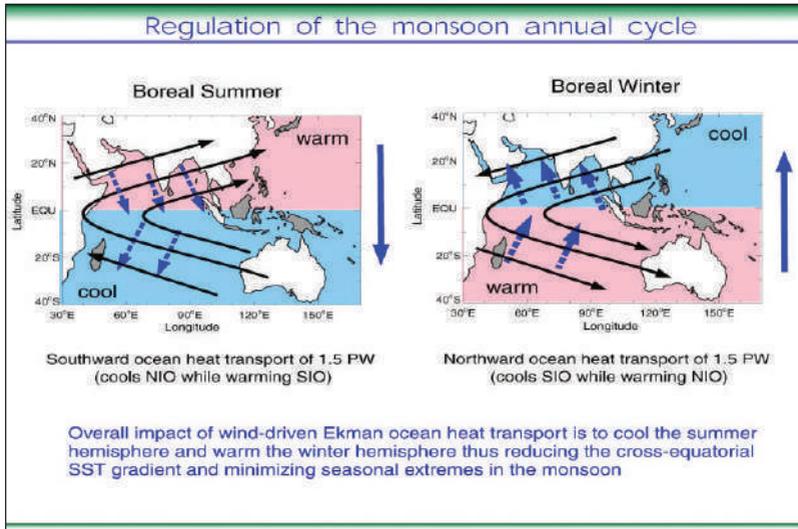
Khusus untuk kawasan Asia, termasuk Indonesia, Ramage (1971) dan Wheeler & Bride (2005) mengemukakan bahwa ada dua sistem monsun di Asia, yaitu monsun musim dingin Asia Timur (*the East Asian Winter Monsoon*) dan monsun musim panas Asia Selatan (*the South Asian Summer Monsoon*) disingkat *Winter and Summer Monsoon*, terjadi masing-masing pada bulan Januari dan Juli sesuai dengan posisi matahari terhadap bumi, khususnya untuk Belahan Bumi Utara (BBU).

Pada musim dingin, di saat matahari terletak di BBS, massa udara mengalir dari pusat tekanan tinggi ke pusat tekanan rendah, yakni dari arah utara ke selatan dan tenggara melewati Korea, Tiongkok, dan Jepang. Massa udara yang bergerak ke arah tenggara mengalami konvergensi dengan massa udara timur laut dari Samudra Pasifik di Laut Tiongkok selatan. Kemudian dua massa udara yang mengalami konvergensi bergabung menuju tenggara dan membentuk Monsun Timur Laut. Selanjutnya, angin ini berubah menjadi angin barat di Indonesia setelah melewati ekuator.

Sebaliknya, pada musim panas pusat tekanan rendah berada di sebelah timur laut India, tetapi monsun mulai berkembang di Tiongkok Selatan kemudian ke Birma dan beberapa bulan kemudian mulai berkembang di India (Wang dkk., 2004b dan 2008a; dan Supiah, 1992). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Ada dua indikasi utama yang umumnya digunakan untuk mengkaji terjadinya fenomena monsun di Indonesia, yakni anomali curah hujan dan perubahan arah angin (dikenal adanya angin baratan, *Westerly* dan angin timuran, *Easterly*). Hal yang tampak jelas terlihat adalah adanya perbedaan musim yang tegas/jelas di Indonesia, yakni musim hujan (*rainy season*) dan musim kemarau (*dry season*). Pada saat posisi matahari terletak di belahan bumi selatan (BBS), dimulai

dari bulan Oktober hingga Maret, umumnya terjadi peningkatan intensitas curah hujan dibandingkan pada saat posisi matahari di belahan bumi utara (BBU), yaitu dimulai dari bulan April hingga September. Dengan kata lain, tidaklah sulit untuk membedakan masa musim hujan tiba atau bila musim kemarau dimulai.



Sumber: http://www.goes-r.gov/users/comet/tropical/textbook_2nd_edition/media/graphics/indian_seasonal_cycle.jpg

Gambar 4. Pola Angin Monsun pada Saat Musim Dingin (*winter*) dan Panas (*Summer*)

Terkait dengan itu, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) (2009) telah menetapkan atau mendefinisikan awal musim kemarau dan juga musim hujan. Awal musim hujan didefinisikan sebagai “bilamana jumlah curah hujan selama satu dasarian (10 hari) sama atau lebih dari 50 milimeter serta diikuti oleh dua dasarian berikutnya, dan umumnya ditandai dengan angin baratan (*Westerly*)”. Sementara itu, awal musim kemarau didefinisikan sebagai “bilamana jumlah curah hujan selama satu dasarian (10 hari) kurang dari 50

Buku ini tidak diperjualbelikan.

milimeter, kemudian diikuti oleh dua dasarian berikutnya, umumnya ditandai dengan angin timuran (*Easterly*)". Dasarian I: tanggal 1–10, dasarian II: 11–20, dan dasarian III: 21–akhir bulan. Contoh: awal musim hujan di zona musim A jatuh pada bulan Oktober minggu II terhitung sejak 11–20 Oktober, awal musim kemarau, jatuh pada bulan Juni minggu I terhitung sejak tanggal 1–10 Juni, dan seterusnya.

Lebih jauh, BMKG (2009) menjelaskan sifat hujan normal (N) didefinisikan sebagai jumlah curah hujan selama satu musim berkisar antara 85%–115% rata-rata curah hujan. Sifat hujan atas normal (AN) didefinisikan sebagai jumlah curah hujan selama satu musim di atas 115% rata-rata curah hujan. Sifat hujan bawah normal (BN) bila jumlah curah hujan selama satu musim di bawah 85% rata-rata curah hujan. Rata-rata curah hujan dihitung dari data hujan minimal selama 30 tahun. Sifat hujan N dan AN berarti normal hingga atas normal. Jika ditinjau dari parameter angin, di kawasan Indonesia bagian barat dan timur pada umumnya dikenal angin musim barat dan angin musim timur. Angin musim barat mulai berlangsung sekitar bulan Oktober dan berakhir sekitar bulan September. Di sebagian Indonesia bagian barat, dikenal angin musim barat daya dan angin musim timur laut.

Angin musim barat daya berlangsung sekitar bulan Mei sampai akhir bulan September dan angin musim timur laut berlangsung sekitar bulan Oktober sampai bulan April. Pergantian arah angin tersebut berkaitan dengan monsun Asia. Musim angin timur laut berkaitan dengan Monsun musim dingin di Asia, sedangkan angin barat daya berkaitan dengan Monsun musim panas di Asia.

Hal yang harus dipahami adalah ada kalanya kedua monsun tersebut saling memperkuat, namun kadang pula saling melemahkan seperti terjadi pada Monsun Asia dan Monsun Australia. Monsun Asia yang dimaksud adalah *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) dan *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI), sedangkan

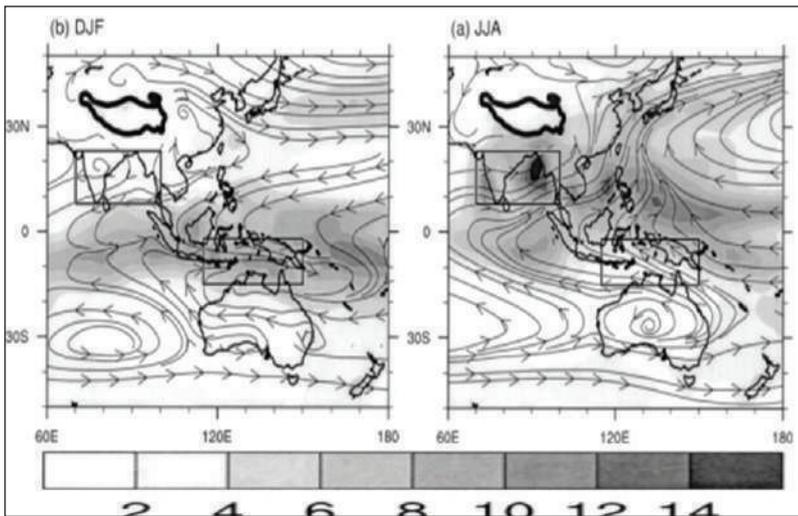
Monsun Australia yang dimaksud yaitu *Australian Monsoon Index* (AUSMI) (Hermawan, 2010a, 2010b, dan 2010c).

Lebih lanjut dapat dijelaskan bahwa Monsun Asia atau yang juga disebut angin monsun barat adalah angin yang berhembus atau bertiup dari arah barat menuju timur sejak bulan Oktober hingga April. Pada periode itu, matahari berada di belahan bumi selatan (BBS) sehingga Benua Australia lebih banyak memperoleh panas matahari daripada Benua Asia. Akibatnya, terjadi pusat tekanan rendah (*depression*) di BBS, tepatnya di Benua Australia. Sebaliknya, terjadi pusat tekanan tinggi (*compression*) di Benua Asia. Keadaan ini menyebabkan angin bergerak dari pusat tekanan tinggi di Benua Asia menuju pusat tekanan rendah di Benua Australia. Selanjutnya, arus angin tersebut bergerak menuju garis khatulistiwa/ekuator.

Terkait dengan itu, yang mesti dipahami bahwa bumi ini tidaklah datar (*flat*), namun ia berputar pada porosnya sehingga menghasilkan gaya Coriolis (*Coriolis Force*). Hal ini menyebabkan angin dari BBU tadi harus menentang gaya Coriolis sehingga angin yang berasal dari BBU tadi seakan berasal dari bagian barat dan dikenal sebagai angin baratan (*Westerly*). Oleh karena angin ini melewati Samudra Hindia yang cukup luas dan banyak membawa uap air, pada umumnya di kawasan Indonesia bagian barat terjadi musim hujan. Hal itu umum, terjadi selama bulan Desember–Januari–Februari (DJF). Sementara itu, Angin Monsun Australia atau lebih dikenal dengan angin monsun timur merupakan angin yang berhembus atau bertiup pada bulan April–Oktober. Angin ini bertiup di saat matahari berada di belahan bumi utara (BBU) yang menyebabkan suhu udara di Benua Australia relatif lebih dingin dan bertekanan tinggi, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Sesuai dengan sifat dari massa udara yang senantiasa bergerak dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah maka angin bertiup dari Benua Australia menuju Benua Asia. Karena menuju garis khatulistiwa/

ekuator, angin seolah dibelokkan ke arah barat. Pada keadaan ini, sebagian besar kawasan timur Indonesia mengalami musim kering, umumnya terjadi selama bulan Juni hingga Agustus. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa daerah yang membentang dari ujung selatan Sumatra Selatan, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara sampai Papua, musim Monsun Barat praktis terjadi bersamaan dengan musim hujan, sedangkan musim monsun timur praktis terjadi bersamaan dengan musim kemarau.



Sumber: Hung *et al.*, 2004

Gambar 5. Rata-Rata *Streamline* pada 850 hPa dan Curah Hujan (mm/day) Saat DJF dan JJA

Dari beberapa hasil penelitian yang ada, dapat dikatakan bahwa faktor-faktor utama penyebab variabilitas curah hujan tahunan di wilayah Denpasar, Mataram, dan Makassar adalah fenomena monsun Asia Timur dan Tenggara (Hung dkk., 2004 dan Suryantoro, 2009). Sementara itu, berdasarkan kriteria Ramage (1971) wilayah Indonesia bagian barat hanya meliputi 64% wilayah saja yang dapat digolongkan

sebagai wilayah monsun, beberapa di antaranya pengaruh angin lokal yang lebih mendominasi (Mustofa, 2000).

Monsun dicirikan dengan menggunakan nilai indeks, misalnya indeks meridional untuk mengenali komponen peredaran utara-selatan (U-S) atau peredaran Hadley (*Hadley Circulation*) terutama pertukaran sifat udara tropik dan subtropik, sedangkan indeks zonal untuk mengenali komponen peredaran barat-timur (B-T) atau peredaran Walker (*Walker Circulation*).

E. Penentuan Indeks Monsun

Penentuan indeks monsun sangatlah penting mengingat Monsun berfungsi sebagai pembawa uap air dan penciri sifat udara lainnya. Pada tahun 1957, Khomorov dalam Ramage (1971) telah mengembangkan indeks Monsun untuk menentukan satu wilayah monsun yang kemudian dikenal dengan indeks Khomorov dengan formula:

$$I_{kh} = \frac{(F_{jan} + F'_{juli})}{2}$$

Di mana F_{jan} dan F'_{juli} merupakan frekuensi angin dominan (%) yang memiliki perbedaan arah sedikitnya 120° antara periode bulan Januari dan Juli. Berdasarkan indeks dari Khomorov tersebut, Indonesia merupakan daerah monsun. Pada umumnya wilayah Indonesia memiliki indeks monsun antara 40–60% kecuali di Pulau Sumatra bagian utara (termasuk wilayah Aceh) yang memiliki indeks monsun lebih dari 60%.

Yang diperlukan saat ini adalah adanya satu indeks monsun yang benar-benar bisa mewakili kondisi atau situasi iklim Indonesia. Ini bisa dilakukan ketika terdapat data angin zonal (B-T) dan meridional (U-S), terutama di lapisan 200 dan 850 hPa sesuai dengan definisi

atau konsep dasar monsun yang penulis sampaikan di atas. Indeks tersebut harus didasarkan pada periode pengamatan yang relatif panjang.

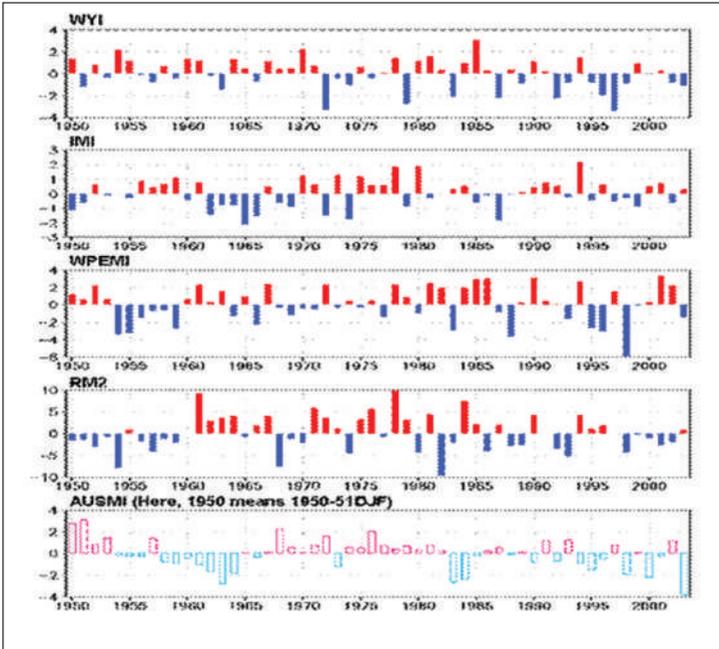
Hal ini terkait erat dengan data klimatologis (lebih dari 30 tahun) agar benar-benar dapat mewakili kawasan yang ditinjau. Oleh karena itu, langkah yang arif dan bijak adalah “mengawinkan” (lebih dikenal dengan istilah asimilasi) antara data indeks monsun global yang berperiode lebih dari 60 tahun (diawali tahun 1948 hingga sekarang) dan data observasi langsung (data *in-situ*) yang dimiliki.

Untuk mengkaji dinamika monsun masa lalu, masa kini, dan masa yang datang, dibuat satu indeks yang diberi nama indeks monsun (*Monsoon Index*). Paling tidak, ada lima indeks monsun global yang beredar saat ini, antara lain *Webster and Yang Monsoon Index* (WYMI), *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI), *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI), *Regional Monsoon Index* (RMI), dan *Australian Monsoon Index* (AUSMI). Kelima Monsun indeks di atas dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Tabel 1. Berbagai Macam Indeks Monsun Global

Indeks	Wilayah	Referensi	Fokus
WY	U850(0-20N 40-110E)– U200(0- 20N 40-110E)	Webster and Young 1992	<i>Broad scale South Asian monsoon</i>
IMI	U850(5-15N 40-80E)– U850(20-30N 60-90E)	Wang and Fan 1999	<i>Indian summer monsoon</i>
WPMEI	U850(5-15N 100-130E)– U850(20-30N 110-140E)	Wang and Fan 1999	<i>Western Pasific-East Asian monsoon</i>
RM2	U200(42-52N 110-150E)– U200(27-37N 110-150E)	Lau dkk. 2000	<i>Regional scale East Asian monsoon</i>
AUSMI	U850(0-10S 120-150E)	Mcbride dkk.	<i>Australian summer monsoon</i>

Sumber: Seoul National University, 2005



Sumber: Seoul National University, 2005

Gambar 6. Berbagai Macam Indeks Monsun Global

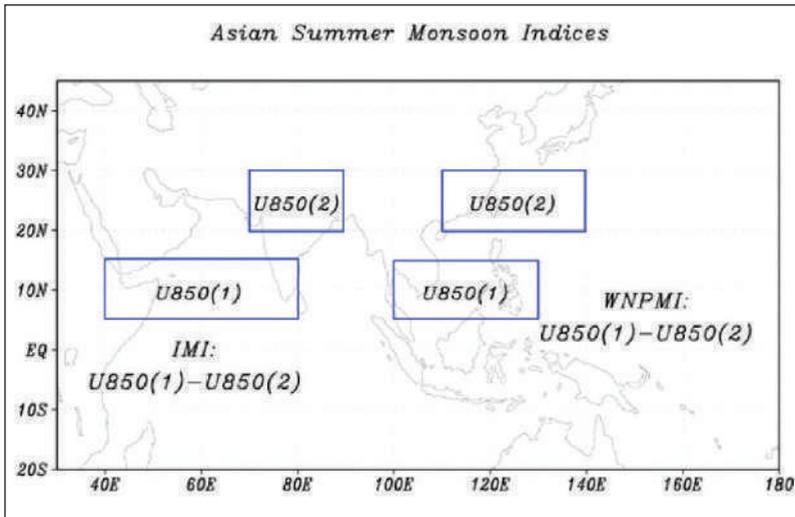
Di antara kelima indeks monsun di atas, hanya dibahas tiga indeks monsun yang dianggap memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perilaku curah hujan di Indonesia, yakni

- 1) Indeks Monsun Asia yang diwakili oleh *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) sebagaimana dijelaskan oleh Wang & Fan (1999) dan Wang dkk. (2001). Adapun formula/rumusan yang digunakan sebagai berikut:

ISM Index = $U_{850}(40^{\circ}\text{BT}-80^{\circ}\text{BT}, 5^{\circ}\text{LU}-15^{\circ}\text{LU}) - U_{850}(70^{\circ}\text{BT}-90^{\circ}\text{BT}, 20^{\circ}\text{LU}-30^{\circ}\text{LU})$ dan

WNPM Index = $U_{850}(100^{\circ}\text{BT}-130^{\circ}\text{BT}, 5^{\circ}\text{LU}-15^{\circ}\text{LU}) - U_{850}(110^{\circ}\text{BT}-140^{\circ}\text{BT}, 20^{\circ}\text{LU}-30^{\circ}\text{LU})$

Perbedaan kedua indeks di atas tampak jelas seperti pada Gambar 7.



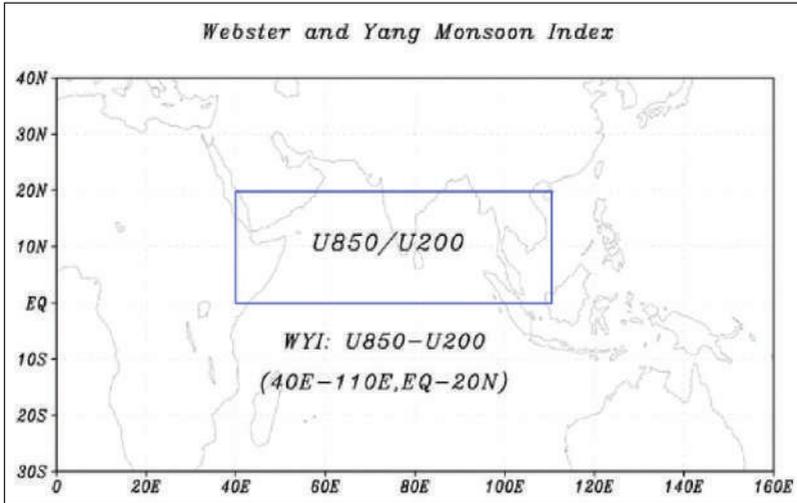
Sumber: Kajikawa & Wang, 2014b

Gambar 7. Kawasan Kajian ISMI dan WNPMI

- 2) Indeks Monsun *Webster and Yang Monsoon Index* (WYMI) sebagaimana dijelaskan oleh Webster and Yang (1992). Adapun formula yang digunakan:

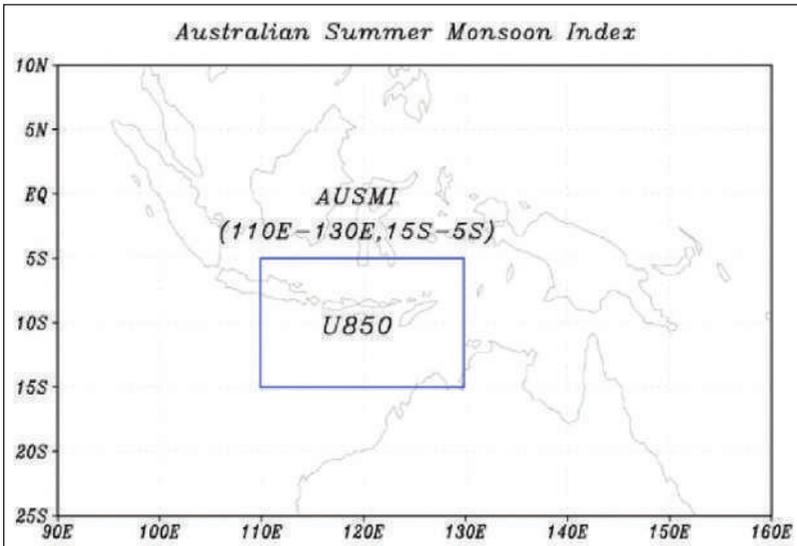
$$\text{WYM Index} = U850 (40^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}, \text{EQ} - 20^{\circ}\text{LU}) - U200 (40^{\circ}\text{BT} - 110^{\circ}\text{BT}, \text{EQ} - 20^{\circ}\text{LU})$$
 Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.
- 3) Indeks Monsun Australia yang lebih dikenal dengan istilah *Australian Monsoon Index* (AUSMI) sebagaimana dijelaskan Kajikawa dkk. (2010). Adapun formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{AUSM Index} = U850 (110^{\circ}\text{BT} - 130^{\circ}\text{BT}, 15^{\circ}\text{LS} - 5^{\circ}\text{LS})$$
 Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Sumber: Kajikawa & Wang, 2014c

Gambar 8. Kawasan Kajian WYM Indeks



Sumber: Kajikawa & Wang, 2014d

Gambar 9. Kawasan Kajian AUSM Indeks

Satu hal yang dapat disampaikan di sini adalah penentuan indeks Monsun umumnya menggunakan data angin zonal (U) di lapisan 850 hPa (sekitar 1,5 km dpl), kecuali untuk indeks WYM yang melibatkan data angin zonal troposfer atas, yakni data U di lapisan 200 hPa (sekitar 11,7 km dpl). Karena masalah monsun terkait erat dengan perilaku curah hujan, pada subbab berikut dijelaskan sedikit gambaran tentang perilaku curah hujan di Indonesia.

F. Curah Hujan

Hujan merupakan unsur iklim yang paling penting di Indonesia karena menjadi salah satu unsur dalam siklus hidrologi yang membawa air ke daratan. Dinamikanya relatif sangat cepat, baik menurut waktu maupun tempat sehingga kajian tentang perilaku iklim umumnya lebih banyak diarahkan pada hujan. Hujan adalah salah satu bentuk dari presipitasi yang tidak lain merupakan proses jatuhnya butiran air atau kristal es ke permukaan bumi. Tjasyono (2004) mendefinisikan presipitasi sebagai bentuk air cair dan padat (es) yang jatuh ke permukaan bumi di mana kabut, embun, dan embun beku bukan merupakan bagian dari presipitasi (*frost*) walaupun berperan dalam alih kehumasan (*moisture*).

Jumlah curah hujan dicatat dalam inci atau milimeter (1 inci = 25,4 mm). Jumlah curah hujan 1 mm menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan bumi 1 mm, dengan syarat air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer (Tjasyono, 2004). Berdasarkan terjadinya, hujan dibedakan menjadi lima jenis.

- 1) Hujan siklonal, yaitu hujan yang terjadi karena udara panas yang naik disertai dengan angin berputar.
- 2) Hujan zenithal, yaitu hujan yang sering terjadi di daerah sekitar ekuator akibat pertemuan angin pasat timur laut dengan angin pasat tenggara. Setelah itu, angin tersebut naik dan membentuk

gumpalan-gumpalan awan di sekitar ekuator yang berakibat awan menjadi jenuh dan turunlah hujan.

- 3) Hujan orografis, yaitu hujan yang terjadi karena angin yang mengandung uap air yang bergerak horizontal. Angin tersebut naik menuju pegunungan, suhu udara menjadi dingin sehingga terjadi kondensasi. Terjadilah hujan di sekitar pegunungan.
- 4) Hujan frontal, yaitu hujan yang terjadi apabila massa udara yang dingin bertemu dengan massa udara yang panas. Tempat pertemuan antara kedua massa itu disebut bidang *front*. Karena lebih berat, massa udara dingin lebih berada di bawah. Di sekitar bidang *front* inilah sering terjadi hujan lebat yang disebut hujan frontal.
- 5) Hujan monsun, yaitu hujan yang terjadi karena angin musim (angin monsun). Penyebab terjadinya angin monsun karena ada pergeseran semu tahunan matahari antara garis balik utara dan garis balik selatan. Di Indonesia, secara teoritis hujan Monsun terjadi bulan Oktober sampai April, sedangkan di kawasan Asia Timur terjadi bulan Mei sampai Agustus.

Perilaku curah hujan yang terjadi di beberapa kawasan Indonesia, secara umum telah dibahas mendalam oleh Tjasyono (1996) dan juga Aldrian dan Susanto (2003). Pola curah hujan di Indonesia dibagi menjadi tiga, yakni pola monsun, ekuatorial, dan lokal (anti Monsun) dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Curah Hujan Pola Monsun

Pola monsun dicirikan oleh tipe curah hujan yang bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) yang pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi musim kering, sedangkan untuk bulan Desember, Januari, dan Februari merupakan bulan hujan. Sementara itu, enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan

musim hujan ke musim kemarau). Daerah yang didominasi oleh pola Monsun ini berada di daerah Sumatra bagian selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara Barat dan Timur.

2. Curah Hujan Pola Ekuatorial

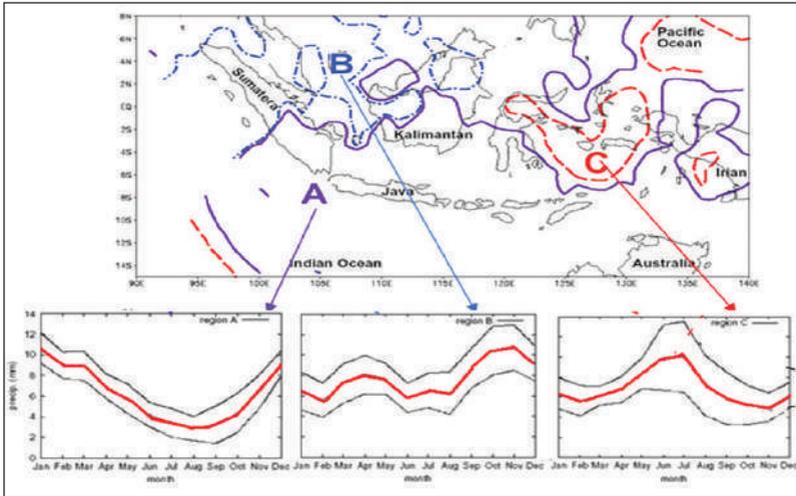
Pola ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekinoks. Daerahnya meliputi Pulau Sumatra bagian tengah dan utara serta Pulau Kalimantan bagian utara.

3. Curah Hujan Pola Lokal

Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun. Daerahnya hanya meliputi daerah Maluku, Sulawesi, dan sebagian Papua.

Pada kondisi normal, daerah yang bertipe hujan monsun mendapatkan jumlah curah hujan yang berlebih pada saat monsun barat (DJF) dibandingkan saat monsun timur (JJA). Pengaruh monsun di daerah yang memiliki pola curah hujan ekuator kurang tegas karena pengaruh insolasi pada saat terjadi ekinoks. Demikian juga pada daerah yang memiliki pola curah hujan lokal yang lebih dipengaruhi oleh efek orografi. Gambar ketiga pola curah hujan yang dimaksud seperti tampak Gambar 10.

Satu hal yang perlu diketahui, tiga pola curah hujan di atas adakalanya tidak berlaku sempurna untuk satu kawasan tertentu. Hasil analisis terhadap 33 stasiun penakar curah hujan yang tersebar di Sumatra Barat selama kurang lebih tujuh tahun pengamatan (Januari 1986 hingga Desember 1992) menunjukkan bahwa di antara 33 stasiun tersebut, 24 di antaranya menunjukkan osilasi satu tahunan (AO).



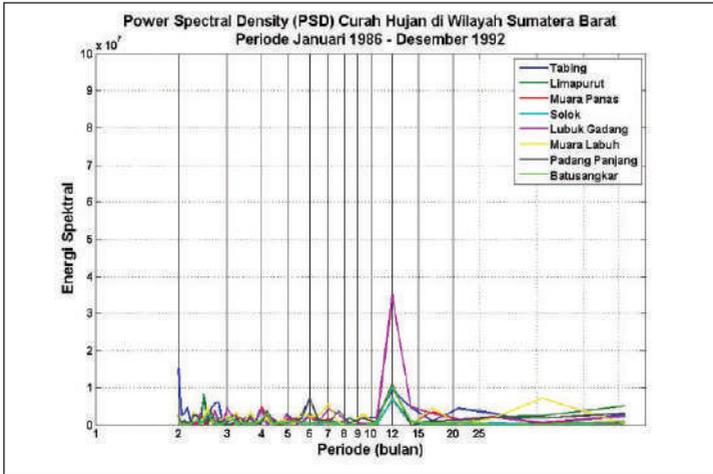
Sumber: Aldrian dan Susanto, 2003

Gambar 10. Tiga Pola Curah Hujan di Indonesia Wilayah A (Monsun) Garis Hitam, Wilayah B (Ekuatorial) Garis dan Titik, Wilayah C (Lokal) Garis Putus-putus

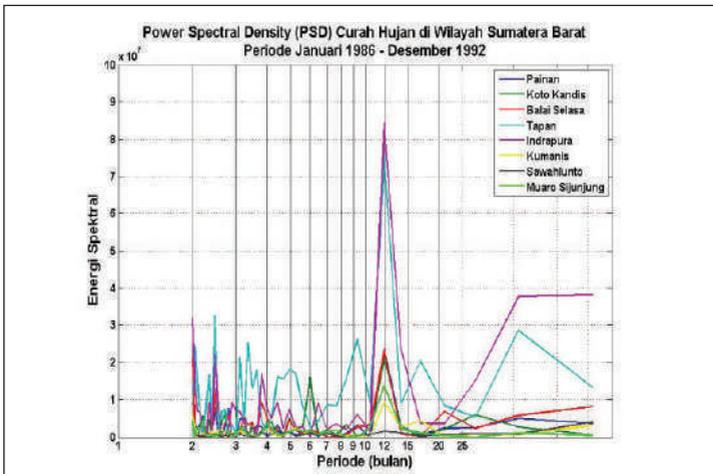
Hal serupa juga dialami oleh sebagian besar stasiun penakar curah hujan yang tersebar di Sumatra bagian selatan, khususnya kota Palembang. Namun, ada juga beberapa kawasan tertentu khususnya di Sumatra Barat yang justru menunjukkan osilasi setengah tahunan, dikenal dengan istilah *Semi Annual Oscillation* (SAO). Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 11 hingga 14.

Setelah dilakukan analisis berbasis teknik spektral menggunakan semilog, terlihat bahwa dari seluruh gambar diperoleh puncak energi spektral yang menunjukkan adanya keberadaan dua pola osilasi dominan secara perDipole Modeik, yaitu osilasi tahunan (*Annual Oscillation/AO*) yang puncak energinya berada pada saat periode 12 bulanan dan osilasi setengah-tahunan (*Semi-Annual Oscillation/SAO*) yang puncak energinya berada pada saat periode enam bulanan.

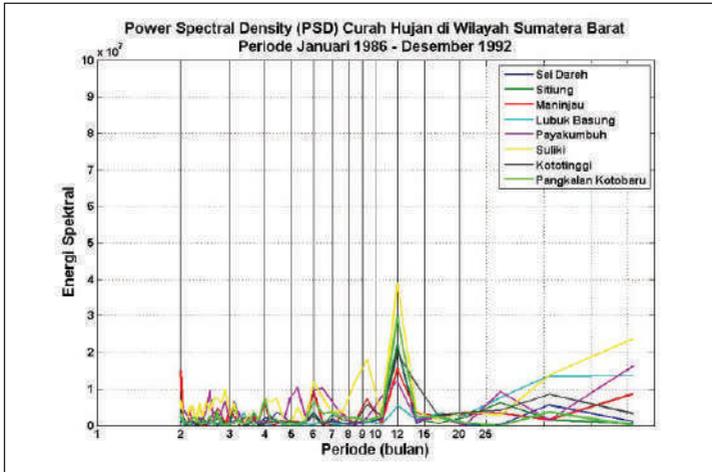
Dari rangkaian Gambar 11 hingga 14 terlihat bahwa hampir sebagian besar stasiun penakar curah hujan yang tersebar di kawasan



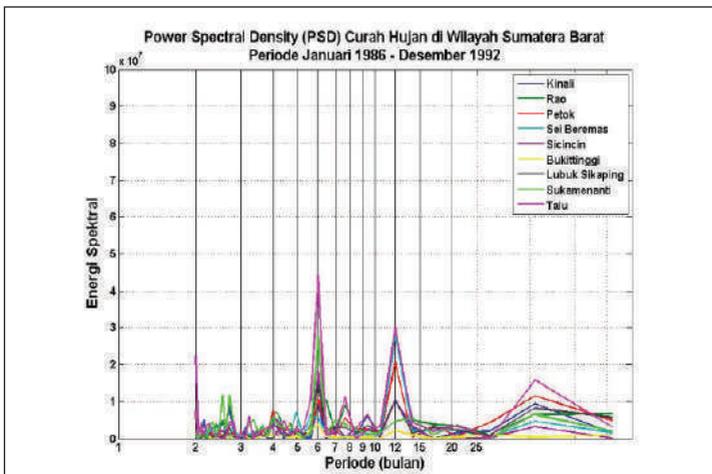
Gambar 11. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Barat Periode Januari 1986 hingga Desember 1992 untuk Stasiun Tabing, Limapurut, Muara Panas, Solok, Lubuk Gadang, Muara Labuh, Padang Panjang, dan Batu Sangkar



Gambar 12. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Barat Periode Januari 1986 hingga Desember 1992 untuk Stasiun Painan, Koto Kandis, Balai Selasa, Tapan, Indrapura, Kumanis, Sawahlunto, dan Muaro Sijunjung



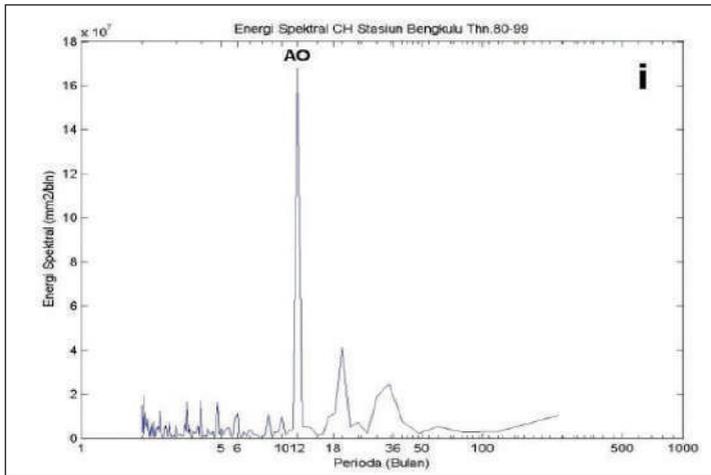
Gambar 13. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di kawasan Sumatra Barat Periode Januari 1986 hingga Desember 1992 untuk Stasiun Sel Dareh, Sitiung, Maninjau, Lubuk Basung, Payakumbuh, Suliki, Kototinggi, dan Pangkalan Kotobaru



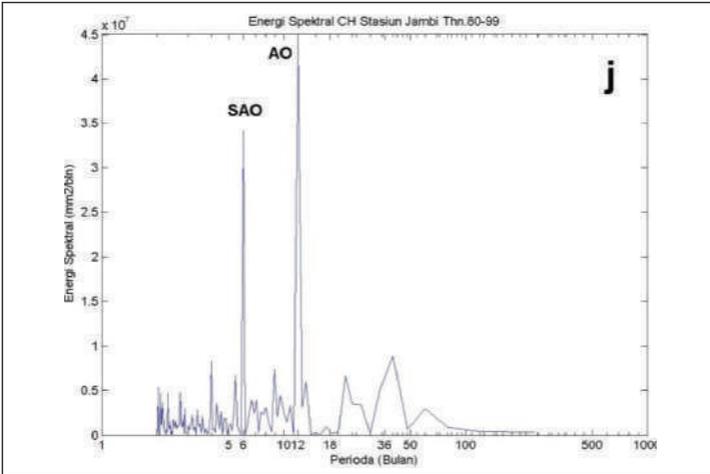
Gambar 14. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Barat Periode Januari 1986 hingga Desember 1992 untuk Stasiun Kinali, Rao, Petok, Baresmes, Sicincin, Bukittinggi, Lubuk Sikaping, Sukamenanti, dan Talu

Sumatra Barat dan sekitarnya berpola monsunal dengan osilasi dominan sekitar 12 bulanan, yakni sebanyak 24 stasiun. Sementara sisanya, yakni sebanyak 9 stasiun berpola *Semi-Annual Oscillation* (SAO).

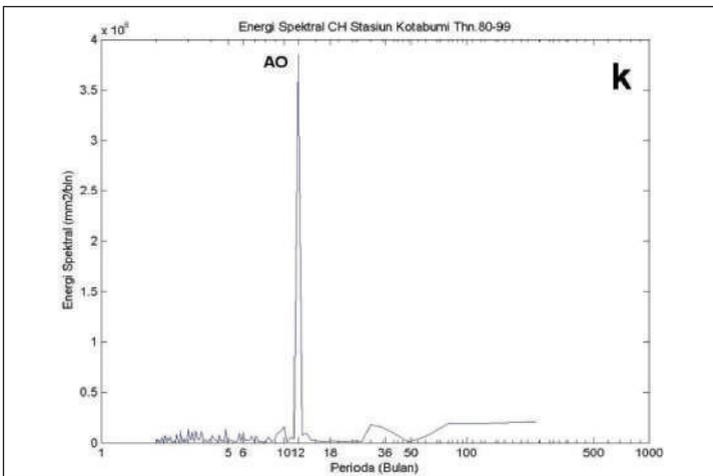
Hal yang menarik adalah apakah kondisi ini sama atau berbeda dengan sebagian besar stasiun penakar curah hujan yang tersebar di Sumatra bagian selatan, khususnya untuk kota Palembang. Dengan teknik yang sama, walaupun dengan periode pengamatan yang berbeda, terlihat bahwa sebagian besar kawasan Sumatra bagian selatan beresilasi *Annual Oscillation* (AO) seperti tampak pada Gambar 15 hingga 18.



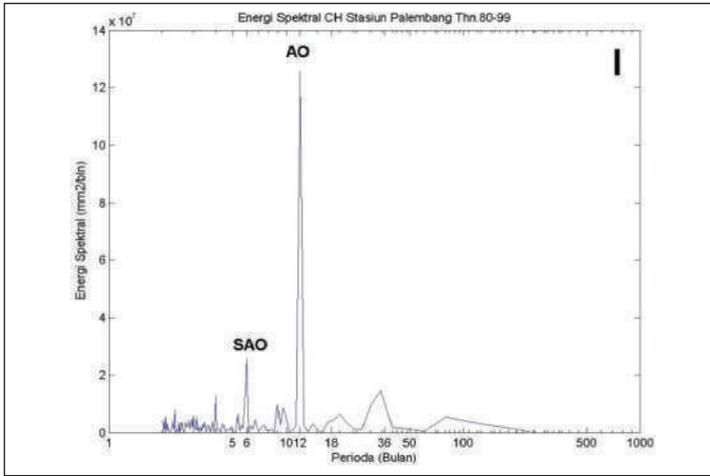
Gambar 15. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Selatan Periode Januari 1980 hingga Desember 1999 untuk Stasiun Bengkulu



Gambar 16. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Selatan Periode Januari 1980 hingga Desember 1989 untuk Stasiun Jambi



Gambar 17. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Selatan Periode Januari 1980 hingga Desember 1989 untuk Stasiun Kotabumi



Gambar 18. Hasil Analisis *Power Spectral Density* (PSD) yang Tersebar di Kawasan Sumatra Selatan Periode Januari 1986 hingga Desember 1989, Stasiun Palembang

Berdasarkan hasil analisis dari Gb. 15–18 dapat disimpulkan bahwa 1) Dipandang penting untuk dilakukan pengelompokan pola curah hujan yang terjadi pada beberapa stasiun penakar curah hujan yang tersebar di Pulau Sumatra; 2) Umumnya didominasi oleh pola curah hujan monsunal dengan *Annual Oscillation* (AO). Hasil analisis lebih lanjut juga mengungkapkan bahwa dari 33 stasiun penakar curah hujan yang tersebar di Sumatra Barat (periode Januari 1986 hingga Desember 1992) 24 di antaranya menunjukkan osilasi satu tahunan (AO).

Pembahasan topik di atas akan lebih menarik jika indeks monsun dapat diaplikasikan dalam kondisi nyata di lapangan. Salah satu di antaranya adalah penentuan model anomali curah hujan di Malang, Jawa Timur berbasis data indeks monsun Asia-Australia dan penentuan awal musim hujan, kemarau, dan transisi di Yogyakarta yang juga berbasis data yang sama (Indeks Monsun Asia-Australia). Keduanya terletak di Pulau Jawa, yaitu Surabaya dan Yogyakarta karena keduanya sangat dominan dipengaruhi fenomena monsun.

BAB III

PERKEMBANGAN KEGIATAN RISET INDEKS MONSUN ASIA-AUSTRALIA DAN APLIKASINYA

Perkembangan riset aplikasi Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) diawali ketika Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yang kini berubah menjadi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengadakan *International Symposium on Equatorial Monsoon System* tanggal 16–18 September 2008 di Sheraton Mustika Hotel, Yogyakarta. Kegiatan ini terus berlanjut karena pada tahun berikutnya diadakan acara yang sama, tepatnya tanggal 16–18 Juli 2009 di Kuta Paradiso Hotel, Bali. Begitu pun pada tahun 2010, acara serupa dilanjutkan tetap dengan nama dan tema yang sama, tanggal 28–29 Juli 2010 di Le Grandeur Hotel, Jakarta. Kegiatan yang berturut-turut diselenggarakan selama tiga tahun ini mengindikasikan bahwa persoalan monsun dan juga aplikasinya di Indonesia penting untuk dikaji lebih serius dan mendalam. Masih banyak hal yang belum diketahui terkait dengan kompleksitas dinamika monsun di Indonesia.

Banyak topik yang dibahas, mulai dari karakteristik, mekanisme hingga prediksi awal datangnya monsun di Indonesia. Dari topik-topik tersebut, ada satu yang menarik perhatian sebagian besar peserta imposium, yakni adanya pandangan, ulasan, dan gagasan untuk membuat satu indeks monsun yang benar-benar sesuai untuk kawasan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Indonesia, yang memang sangat riskan atau sensitif terhadap dampak terjadinya Monsun.

Pada tahun 2009, di perkenalkan satu istilah Indeks Monsun Indonesia yang lebih dikenal dengan istilah *Indonesian Monsoon Index* (INDOMI) yang belakangan diubah menjadi Indeks Monsun Indonesia (IMI). Ide atau gagasan ini muncul setelah mendalami pembangunan satu radar raksasa (*giant radar*) yang ada di Loka LAPAN Kototabang, Bukittinggi, Sumatra Barat yang bernama *Equatorial Atmosphere Radar* (EAR) atau dikenal juga dengan nama Radar Atmosfer Khatulistiwa (RAK) yang dioperasikan dan diresmikan sejak 26 Juni 2001 oleh Menristek yang pada waktu itu dijabat oleh Dr. A.S. Hikam. Dari sanalah muncul satu makalah berjudul “Intra-seasonal Variability of the South Asian Monsoon with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR)” yang disampaikan pada acara simposium Monsun pertama di Yogyakarta (Hermawan, 2008).

Makalah ini juga menekankan pentingnya kajian monsun dan *Madden-Julian Oscillation* (MJO) atau Osilasi *Madden-Julian* sebagai salah satu mode osilasi dominan untuk kawasan ekuator (Madden and Julian, 1971 dan 1972). Ini penting dilakukan mengingat MJO hingga saat ini diduga kuat sebagai pemicu utama terjadinya anomali monsun untuk kawasan ekuator. Hal ini terkait erat dengan meningkatnya aktivitas pergeseran atau pergerakan kumpulan awan-awan *Cumulonimbus* (Cb) yang dikenal dengan istilah *Super Cloud Clusters* (SCCs) (Takayabu, 1994; Matthews, 2000; dan Puspawardhany, 2005).

Sebagai tindak lanjut makalah di atas, pada simposium kedua tahun 2009 ditulishlah makalah berjudul “Detection of Monsoon Signal Over Kototabang, Bukittinggi, West Sumatra Based on the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) Data Analysis” (Hermawan, 2009). Ini adalah pertama kali sinyal Monsun dideteksi menggunakan alat yang relatif canggih (EAR). Perangkat ini memiliki resolusi pengamatan dan resolusi ketinggian yang relatif tinggi (*good time and*

spatial height resolution). Ini dimungkinkan karena EAR dirancang khusus untuk mendeteksi arah dan kecepatan angin secara tiga dimensi, yakni *meridional* (utara-selatan), *zonal* (barat-timur), dan *vertical* (atas-bawah). Hasilnya menunjukkan bahwa sinyal monsun kuat atau jelas tampak terlihat mulai dari lapisan atau ketinggian 10–17 km di atas permukaan laut (dpl), khususnya di sekitar lapisan 200 hPa (sekitar 11,7 km dpl).

Selanjutnya, dilakukan analisis berdasarkan pada beberapa hal, misalnya hasil dari sinyal monsun yang diperoleh di tahun 2009 hingga tahun 2010 dengan menambahkan parameter indeks monsun global yang kemudian difokuskan kepada indeks monsun regional saja. Indeks Monsun regional antara Benua Asia dan Australia dikenal dengan nama Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA). Indeks masing-masing diwakili oleh parameter *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) untuk Indeks Monsun Asia, dan *Australian Monsoon Index* (AUSMI) untuk Indeks Monsun Australia. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa terjadi hubungan yang erat antara arah dan kecepatan angin meridional EAR di lapisan 200 hPa dengan ketiga indeks monsun regional di atas, khususnya parameter AUSMI (Hermawan dkk., 2010d dan 2010e).

Ide penyusunan IMI tentunya tidak berdiri sendiri, namun didukung dengan pembangunan radar baru, yaitu *Wind Profiler Radar* (WPR). Dalam hal ini, pihak Jepang yang diwakili oleh Research Institute for Sustainability Humanosphere (RISH), Universitas Kyoto, Jepang bekerja sama dengan Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) untuk memasang sekaligus juga mengoperasikan radar. Radar tersebut adalah WPR yang dipasang di beberapa kota di Indonesia, yaitu Pontianak, Manado, dan Biak berada di bawah satu proyek riset bernama *Hyrometeorological Array for ISV Monsoon Automonitoring* (HARIMAU).

Dari namanya terlihat jelas bahwa ada dua fenomena alam yang menjadi fokus kegiatan riset atmosfer dan kelautan di Indonesia, yakni *Intra Seasonal Variability* (ISV) yang dominan dikuasai oleh *Madden-Julian Oscillation* (MJO) dan monsun yang memang hingga kini masih paling dominan menguasai dinamika atmosfer Indonesia. Konsekuensi logisnya adalah ada keterkaitan yang erat antara kejadian monsun dan MJO yang kadangkala saling melemahkan, namun terkadang saling memperkuat. Buku ini didasari oleh keinginan untuk meninjau latar belakang dibangunnya WPR di Pontianak, Manado, dan Biak.

Karena pembangunan WPR terkait erat dengan pembangunan EAR yang ada di Bukittinggi, Sumatra Barat maka penggunaan keduanya dalam waktu yang hampir bersamaan sangat penting untuk dilakukan. Jika EAR dirancang khusus untuk lapisan 2–24 km dpl maka WPR yang ada di Pontianak, Manado, Biak, dan juga BLR (*Boundary Layer Radar*) yang ada di Loka LAPAN Kototabang khusus dirancang di bawah 2 km, yakni mulai dari sekitar 500 mdpl hingga lapisan 5 atau 6 km dpl. Puspawardhany (2005) mulai melakukan analisis tentang pemanfaatan data BLR dan EAR dalam mengkaji fenomena MJO dan keterkaitannya dengan curah hujan di wilayah Kototabang dan sekitarnya.

Tahun 2006 dilakukan kajian tentang pengaruh fenomena MJO terhadap perilaku curah hujan harian yang tersebar di seluruh kawasan Sumatra Barat, khususnya Kototabang dan sekitarnya. Tahun 2007 dilanjutkan dengan usaha mengetahui propagasi dan struktur vertikal MJO serta mekanisme pembentukannya di atas Kototabang dan kawasan sekitarnya yang berbasis hasil analisis data-data yang ada di Loka LAPAN Kototabang.

Pada tahun 2008, berhasil dipahami mekanisme MJO hasil analisis penalaran gelombang Kelvin di atas Kototabang, Pontianak, dan Biak. Pada tahun yang sama juga dikembangkan satu model

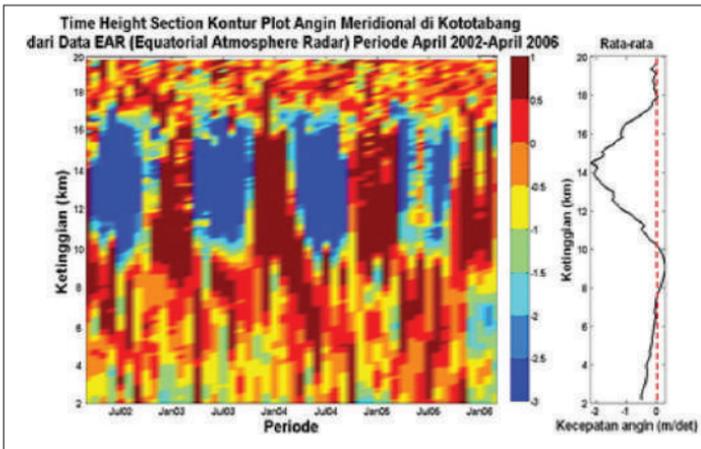
prediksi MJO berbasis hasil analisis data radiasi gelombang Panjang atau dikenal dengan istilah *Outgoing Longwave Radiation* (OLR) global yang telah divalidasi terlebih dahulu dengan data arah dan kecepatan angin WPR di atas tiga kawasan tadi.

A. Berbasis Data Radar

1. EAR

Pada tahun 2009 untuk pertama kali dipresentasikan satu makalah tentang sinyal monsun (*monsoon signal*) berbasis hasil analisis data EAR yang ada di Loka LAPAN Kototabang. Hasil dipresentasikan pada acara *International Symposium on Equatorial Monsoon System* dari tanggal 16–17 Juli 2009 di Denpasar, Bali. Sejak saat itu, fenomena monsun di Indonesia mulai dikaji lebih serius, baik berbasis hasil analisis menggunakan data radar (khususnya EAR dan WPR) maupun data observasi permukaan, khususnya curah hujan yang tersebar di beberapa kawasan di Indonesia.

Terkait dengan hal itu, pada tahun 2010 dilakukan kajian tentang “Investigasi Datangnya Awal Monsun di Kawasan Barat Indonesia Berbasis Hasil Analisis Data EAR” (Hermawan, 2010d, 2010e) yang merupakan kajian pengembangan dari studi yang dilakukan oleh Azteria (2009). Kajian ini menekankan pentingnya pemahaman yang benar tentang datangnya awal monsun di kawasan barat Indonesia sebagai salah satu parameter penting dalam memperkirakan terjadinya awal musim hujan dan kemarau di Indonesia. Berbasis hasil analisis data harian tentang angin meridional, zonal, dan vertikal yang dihasilkan oleh EAR yang terletak di Kototabang, Bukittinggi, Sumatra Barat selama periode dari April 2002 hingga April 2006, diketahui adanya sinyal monsun yang beresilasi dengan periode sekitar 12 bulanan pada ketinggian 8–18 km dpl dengan puncak osilasi terkuat terjadi di sekitar lapisan 11,7 km dpl seperti tampak pada rangkaian Gambar 19.

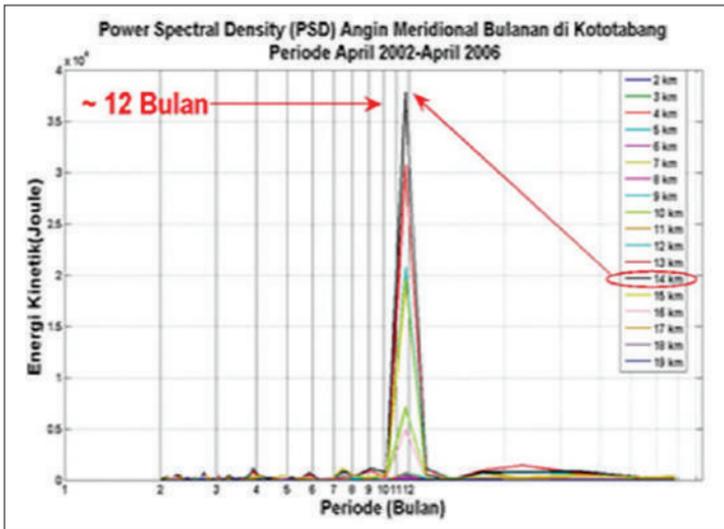


Sumber: Azteria, 2009

Gambar 19. *Time Height Section* Kontur Plot Angin Meridional di Kototabang Periode April 2002–April 2006

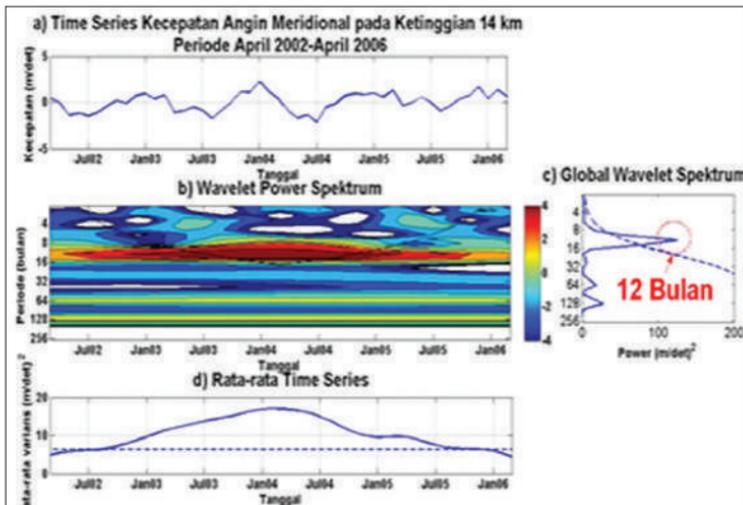
Hal baru yang terungkap di sini adalah ternyata sinyal monsun terlihat jelas di lapisan troposfer bawah di sekitar lapisan atau ketinggian 14,1 km dpl, walaupun ada juga di lapisan sekitar 11,7 km dpl. Sementara itu, pada ketinggian 2–7 km atau pada lapisan permukaan tidak memperlihatkan tanda-tanda adanya osilasi monsun yang jelas. Analisis monsun dengan angin meridional (utara-selatan) diperoleh osilasi sekitar 12 bulanan dan puncak maksimum terjadi pada ketinggian 14,1 km (lihat Gambar 20). Osilasi ini dapat diketahui dengan menggunakan teknik analisis *Fast Fourier Transform* (FFT), yaitu dengan analisis *Power Spectral Density* (PSD) dan analisis Wavelet.

Analisis yang sama dengan menggunakan teknik wavelet menunjukkan periodisitas dominan dari data angin meridional (utara-selatan) pada ketinggian 14,1 km adalah terjadi sekitar 12 bulanan (lihat Gambar 20). Sementara itu, berdasarkan analisis *wavelet power spectrum* menunjukkan puncak angin terjadi sekitar bulan Januari 2004 seperti tampak pada Gambar 21.



Sumber: Azteria, 2009

Gambar 20. Power Spectral Density Kecepatan Angin Meridional pada Ketinggian 14,1 km di Kototabang Periode April 2002–April 2006



Sumber: Azteria, 2009

Gambar 21. Wavelet Angin Meridional pada Ketinggian 14,1 km Periode April 2002–April 2006

2. WPR

Khusus untuk analisis berbasis data WPR, bahan utama materi ini diambil dari makalah yang ditulis bersama-sama dengan Robbi Sudiantoro yang diterbitkan di buku *Sains Atmosfer, Teknologi, dan Aplikasinya*, kajian mengenai analisis berbasis data WPR terdapat dalam makalah “Penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI) Berbasis Data *Wind Profiler Radar* (WPR) (Sudiantoro dan Hermawan, 2013).” Kajian ini merupakan pengembangan lebih lanjut dari peneliti sebelumnya, yang dilakukan oleh Sunarsih (2008) yang menganalisis perilaku curah hujan di Kototabang, Pontianak, dan Biak berbasis hasil analisis data EAR dan WPR. Kajian dilanjutkan oleh Kaparang (2010) yang mengidentifikasi sinyal monsun di Indonesia juga menggunakan data WPR. Akhirnya dilakukan pengembangan model prediksi MJO berbasis hasil analisis data WPR oleh Madani (2012).

Usaha mengembangkan pemanfaatan data EAR dan WPR bagi aplikasi praktis terus dilakukan, khususnya yang terkait dengan penentuan awal musim berbasis data radar. Sinyal monsun dengan EAR tampak jelas di lapisan atas troposfer sekitar 11,7 km dpl menggunakan data angin meridional (U-S) EAR (Azteria, 2009). Lalu bagaimana dengan WPR, apakah juga menggunakan data angin meridional atau angin zonal? Hal ini harus sesuai dengan konsep dasar pengertian monsun, yakni harus mengacu kepada kajian dua lapisan utama, yaitu 200 hPa (untuk data EAR) dan 850 hPa (untuk data WPR). Selain itu, harus dikembalikan pada tujuan utama diaplikasikannya indeks Monsun Asia-Australia yang tidak lain difokuskan untuk menyusun indeks Monsun yang benar-benar dapat mewakili kondisi Indonesia dengan tiga tipe curah hujan yang ada (Aldrian & Susanto, 2003).

Ide awal atau gagasan utama penelitian ini berasal dari kebutuhan untuk mengembangkan suatu indeks monsun yang kemudian dikenal dengan istilah IMI (Indeks Monsun Indonesia), namun hingga kini belum tercapai dengan baik. Kajian ini telah dilakukan sejak 2008

menggunakan data EAR yang ada di Loka Kototabang, Bukittinggi, Sumatra Barat dan konsep pembalikan arah serta kecepatan angin (*reversal wind*) masing-masing di lapisan 850 dan 200 hPa atau setara dengan kira-kira 1,5 dan 11,7 km dpl.

Pengembangan IMI sangat diperlukan mengingat perilaku iklim, khususnya anomali curah hujan yang terjadi di Benua Maritim Indonesia (BMI) khususnya kawasan barat Indonesia, sangat dipengaruhi oleh fenomena monsun. Hal ini juga dipengaruhi dari letaknya yang relatif dekat dengan Lautan Hindia. Selain itu, juga fasilitas lengkap untuk mengkaji fenomena Monsun ada di Loka LAPAN Kototabang.

Pengembangan IMI bukanlah yang pertama kali dilakukan. Semula dikenal indeks Monsun global atau regional, khususnya Indeks Monsun Asia yang diwakili oleh parameter *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI), sedangkan Australia yang diwakili oleh *Australian Monsoon Index* (AUSMI). Namun, belum ada satu indeks yang berlaku spesifik untuk kawasan Indonesia. Oleh karena itu, pengembangan IMI yang merupakan penurunan indeks monsun global yang telah divalidasi sesuai dengan perilaku atau anomali curah hujan yang ada di beberapa kawasan Indonesia sehingga belum dapat dianggap berlaku umum.

Sebagaimana dipahami bersama sesuai dengan definisi monsun, selain faktor curah hujan, ada indikasi lain yang memang sangat relevan digunakan dalam mengindikasikan terjadinya monsun, yakni faktor arah dan kecepatan angin. Dengan demikian, menjadi relevan jika menggunakan data radar, khususnya *Wind Profiler Radar* (WPR) yang memang dirancang khusus untuk mendeteksi arah dan kecepatan angin dalam tiga dimensi.

Idealnya, data angin yang digunakan pada dua lapisan tersebut, dianalisis dalam kurun waktu dan tempat yang hampir bersamaan,

yaitu tidak terpisah satu dengan lainnya. Hal tersebut seperti penentuan indeks monsun yang dikembangkan oleh Webster & Yang (1992) dikenal sebagai WYM Index yang didefinisikan sebagai $WYM\ Index = U850(40-110^{\circ}BT, EQ-20^{\circ}LU)$ hingga $U200(40-110^{\circ}BT, EQ-20^{\circ}LU)$, dengan U850 dan U200, masing-masing menyatakan kecepatan angin zonal (barat-timur) pada lapisan 850 dan 200 hPa.

Metode Webster & Yang (1992) menunjuk pada satu kawasan atau lokasi tertentu, yakni $40-110^{\circ}BT$ dan ekuator $20^{\circ}LU$, dengan menggunakan dua lapisan utama, masing-masing 850 dan 200 hPa. Namun, dalam penelitian ini, pengembangan IMI hanya menggunakan data di satu lapisan utama saja, yakni di lapisan 850 hPa. Hal ini disebabkan data WPR yang ada tidak mampu menjangkau hingga lapisan 200 hPa, hanya sekitar 500 hPa atau setara dengan 5,8 km di atas permukaan laut. Hal ini tidak mungkin dilaksanakan mengingat data utama WPR yang digunakan dalam penelitian ini tidak memiliki jangkauan hingga 200 hPa. Maksimum ketinggian yang dicapai tidak lebih dari 5 km dpl.

Sebenarnya masih mungkin jika dilakukan menggunakan data EAR, namun hanya di satu titik lokasi saja, yaitu di Kototabang, Bukittinggi. WPR tersebar di Pontianak, Manado, dan Biak dengan lokasi pengamatan yang relatif dekat dengan sabuk (*belt*) ekuator. Dengan segala keterbatasan yang dimiliki, penelitian ini dilakukan dengan data utama WPR yang tersebar di tiga kota tersebut. WPR dirancang khusus sebagai alat pemantau arah dan kecepatan angin tiga dimensi dengan resolusi pengamatan yang relatif tinggi (*high resolution*) menggunakan orde menit dan resolusi ketinggian yang juga relatif tinggi, yakni sekitar 150 m per lapisan ketinggian atmosfer.

Data tersebut telah ada sejak Januari 2007 dan beroperasi dengan baik hingga sekarang. Hasilnya masih jauh dari sempurna, terutama jika belum melibatkan perilaku arah dan kecepatan angin di lapisan 200 hPa. Berekferensi kepada indeks monsun lain, sebenarnya ada juga

peneliti yang hanya menggunakan data angin zonal di satu lapisan utama saja, yakni di lapisan 850 hPa, seperti yang dilakukan oleh Kajikawa dkk. (2010) yang mendefinisikan AUSMI sebagai AUSMI Index = $U_{850} (110-130^{\circ}\text{BT}, 15^{\circ}\text{LS}-5^{\circ}\text{LS})$.

Dasar utama dipilihnya ketiga lokasi di atas karena data angin di lapisan 850 hPa merupakan data *in-situ* yang dimiliki Lapan saat ini dan dianggap valid untuk mewakili kondisi nyata. Hal ini penting dilakukan sebagai langkah awal agar IMI yang dikembangkan nantinya benar-benar mencerminkan perilaku monsun yang ada di Indonesia, khususnya di tiga kota tersebut di atas.

Indonesia merupakan satu-satunya kawasan di ekuator yang 2/3 bagian utamanya didominasi oleh lautan (*maritime*) dan sisanya daratan (*archipelago*). Suatu kawasan yang dipengaruhi monsun, karena diapit dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua samudra besar (Pasifik dan Hindia) dengan garis pantai yang relatif panjang sekitar 81.000 km dan dikelilingi sekitar 17.508 pulau. Konsekuensi dari kondisi di atas adalah dibutuhkan satu indeks monsun yang benar-benar sesuai dengan kawasan Indonesia.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan mengembangkan satu model IMI berbasis hasil analisis data WPR yang telah “dikawinkan” dengan dua data indeks monsun global, masing-masing indeks Monsun Asia (diwakili ISMI dan WNPMI) dan Australia (diwakili AUSMI) terutama pada saat kedua indeks monsun di atas terjadi dalam kurun waktu yang hampir bersamaan. Hal ini juga terkait dengan apa yang pernah dialami di tahun 1997 dan 1998 ketika dua fenomena alam, yaitu *El-Niño* dan *Dipole Mode* terjadi secara *simultan*. Dua fenomena itu terkadang saling menguatkan, namun ada kalanya pula saling melemahkan sehingga dampak terhadap anomali curah hujan di Indonesia menjadi berbeda. Di sini terlihat jelas bahwa AUSMI-lah yang relatif dominan dalam mempengaruhi dinamika hujan di Indonesia, termasuk kesamaan pola model yang didapat.

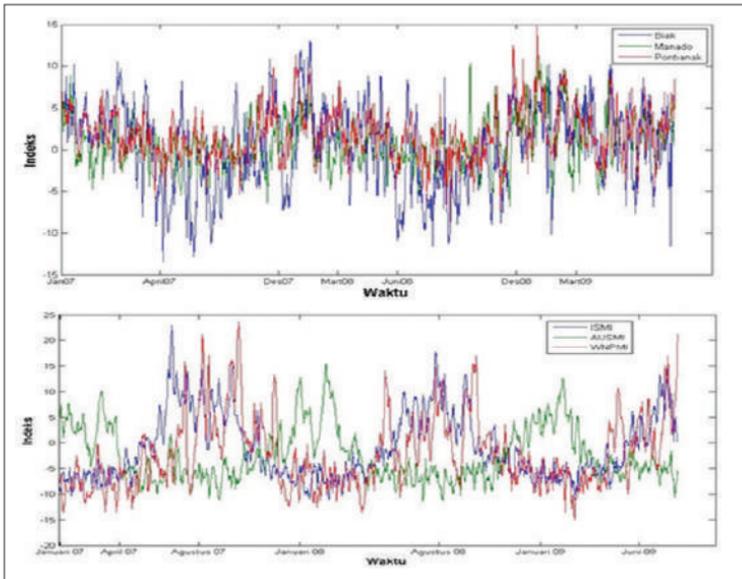
Data angin WPR beresolusi menitan periode Januari 2007 hingga Juli 2009 yang berasal dari Pontianak, Manado, dan Biak diperoleh melalui *website* (RISH Kyoto University, 2014). Sementara itu, Kajikawa & Wang (2014e) menunjukkan data indeks monsun global, baik AUSMI, ISMI, maupun WNPMI pada periode yang sama. Data WPR yang beresolusi menitan kemudian diubah menjadi data angin harian dengan fokus hanya pada ketinggian sekitar 850 hPa atau setara dengan 1,5 km dpl. Sementara itu, data indeks monsun global diatur dengan resolusi yang sama, yakni rata-rata harian periode Januari 2007–31 Juli 2009 atau sekitar 943 hari. Mengingat fenomena Monsun di Indonesia sangat kuat dipengaruhi oleh Monsun Asia dan juga Monsun Australia maka secara sederhana pengertian IMI dalam makalah ini dapat diformulasikan menjadi satu bentuk regresi linier berganda (*multiple regression*):

$$\text{IMI} = U_{850\text{hPa}} = a[\text{ISMI}] + b[\text{WNPMI}] + c[\text{AUSMI}] + \text{kostanta}$$

IMI menyatakan Indeks Monsun Indonesia yang diwakili oleh perilaku angin zonal di lapisan 850 hPa, masing-masing untuk kota Pontianak, Manado, dan Biak. Sementara a, b, dan c menyatakan besarnya nilai parameter yang mencerminkan sumbangsih pengaruh ISMI, WNPMI, dan AUSMI terhadap IMI. Dengan formula tersebut diharapkan diketahui, besaran kekuatan IMI yang merupakan hasil resultan kekuatan indeks Monsun Asia dan Australia.

Hasil awal yang ditampilkan berupa *time-series* data angin zonal WPR masing-masing di atas Pontianak, Manado, dan Biak periode Januari 2007 hingga Juli 2009, dan juga data Indeks Monsun Asia dan Australia yang masing-masing diwakili ISMI, WNPMI, dan AUSMI selama kurang lebih 943 hari pengamatan seperti tampak pada Gambar 22 (Sudiantoro & Hermawan, 2013).

Agar hasil awal mudah dianalisis, hasil analisis disajikan dalam bentuk *spectral* berbasis *wavelet* pada periode yang sama, khususnya

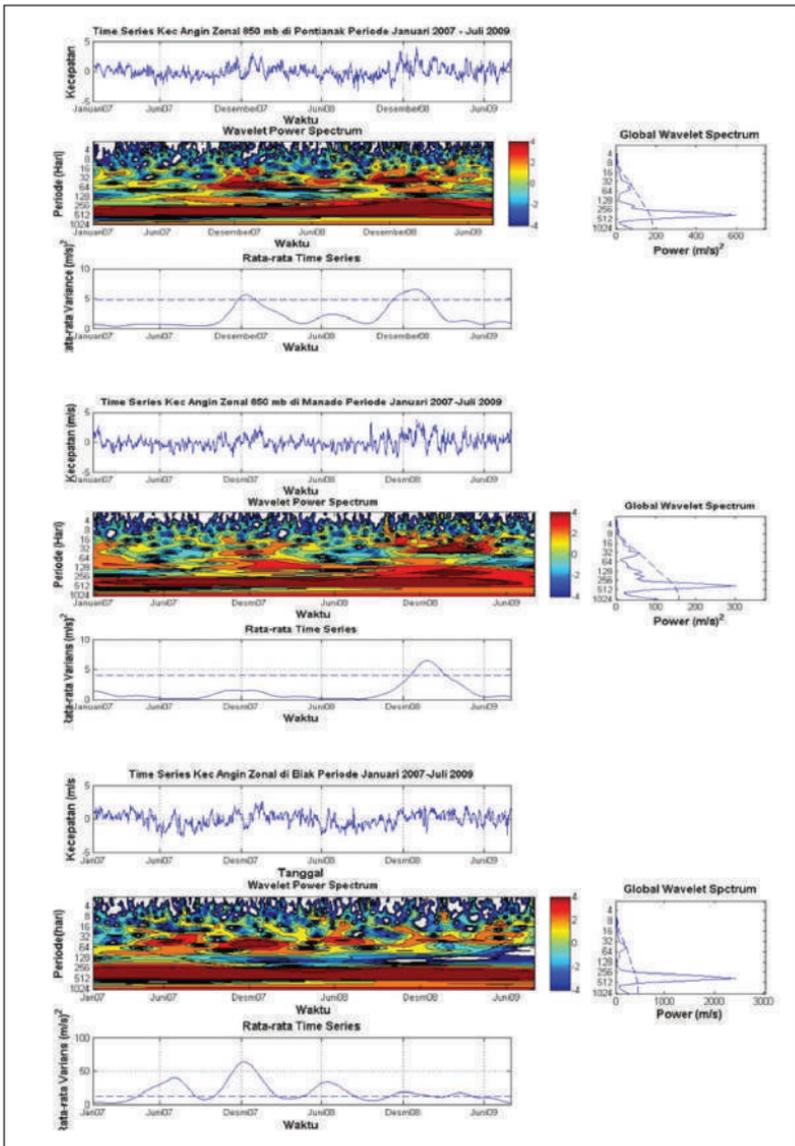


Sumber: Sudiantoro dan Hermawan, 2013.

Gambar 22. Time-series atau Angin Zonal WPR di atas Pontianak, Manado, dan Biak Januari 2007 hingga Juli 2009 dan Indeks Monsun Asia dan Australia masing-masing diwakili oleh ISMI, AUSMI, dan WNPMI pada periode yang sama

untuk data angin zonal WPR pada periode waktu yang sama seperti tampak pada Gambar 23. Hal ini dilakukan untuk mengetahui osilasi dominan yang terjadi selama periode pengamatan di atas, juga untuk mengetahui kapan *variance* atau penyimpangan data WPR itu terjadi.

Selain itu, hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa memang terjadi interkoneksi antara Indeks Monsun Asia dan Australia. Sekilas memang terlihat bahwa ketiga data angin zonal yang dihasilkan WPR menunjukkan pola osilasi dominan yang sama, yakni sekitar 365



Sumber: Sudiantoro dan Hermawan, 2013.

Gambar 23. Wavelet Angin Zonal WPR pada Lapisan 850 hPa Periode Januari 2007 hingga Juli 2009 masing-masing untuk Kota Pontianak, Manado, dan Biak

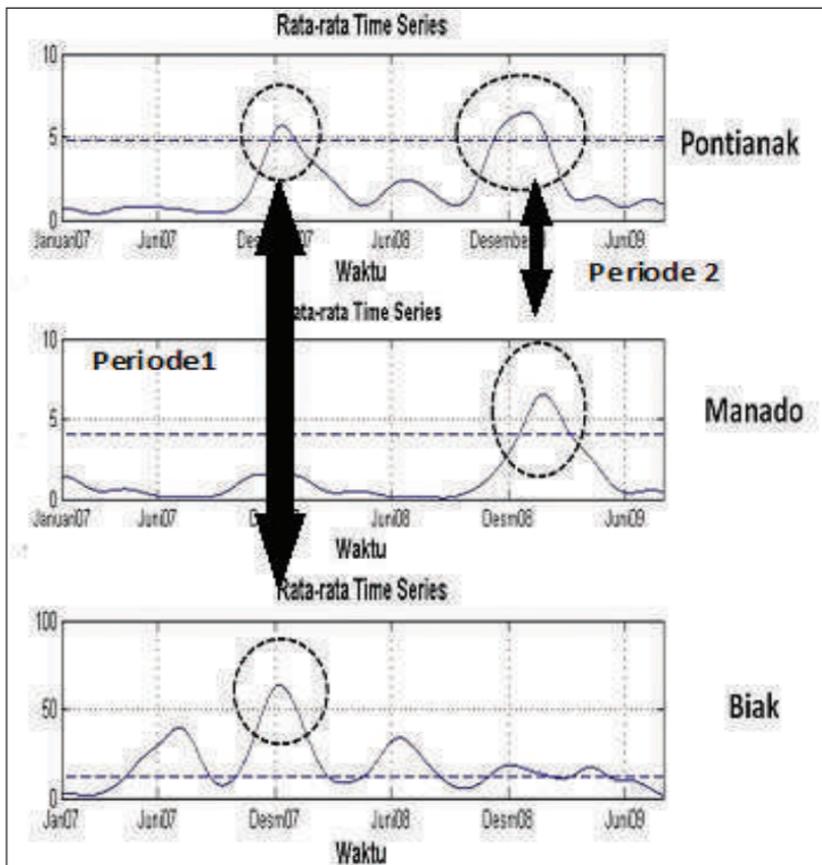
harian sehingga terlihat jelas bahwa ketiga kota sangat didominasi oleh pengaruh monsun.

Pada Gambar 23, tampak nilai *variance* (terletak di sebelah kiri panel) yang mengindikasikan besarnya nilai penyimpangan angin zonal di tiga kota. Penyimpangan itulah yang menjadi menarik untuk dianalisis lebih lanjut. Berbasis hasil analisis di atas, pembahasan difokuskan kepada hasil analisis nilai *variance* yang dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu periode pertama (**Periode 1**) dan periode kedua (**Periode 2**).

Periode 1 dihitung sejak 1 November 2007 hingga 30 Januari 2008 ketika nilai *variance* antara data WPR Pontianak dan Biak sama-sama saling menguat. Sementara itu, Periode 2 dihitung sejak 7 Desember 2008 hingga 7 Maret 2009 ketika *variance* antara data WPR Pontianak dan Manado juga saling menguat. Ini menandakan bahwa ada unsur interaksi yang kuat antara data WPR Pontianak, Manado, dan Biak walaupun ketiganya terpisah dalam jarak yang relatif jauh. Hasil *variance*-nya dapat dilihat pada Gambar 24.

Terkait dengan kejadian tersebut maka dipandang perlu untuk menyajikan hasil analisis statistik *Cross Correlation Function* (CCF) yang menggambarkan perbandingan antara data Periode 1 dan Periode 2, seperti tampak pada Tabel 2 dan 3. Memang belum dapat diambil kesimpulan yang bersifat umum, namun ada hal menarik untuk dapat dibahas lebih lanjut.

Pada periode pertama terlihat bahwa pengaruh Monsun Asia relatif lebih kecil dibandingkan Monsun Australia, dibuktikan dengan nilai CCF yang relatif besar (sekitar 0,6) pada Indeks Monsun AUSMI (Tabel 2). Berbasis data tersebut maka diperlukan adanya analisis data *time-series* ISMI, WNPMI, dan AUSMI terhadap kota Pontianak dan Biak pada periode 1. Stasiun di atas didasarkan pada keberadaan data



Sumber: Sudiantoro dan Hermawan, 2013.

Gambar 24. Puncak-Puncak yang Terdapat di Tiga Kota dari Data WPR (*Wind Profiler Radar*)

WPR, belum mempertimbangkan pengaruh lokal di sekelilingnya, seperti lautan luas, daratan luas Kalimantan dan Papua serta jarak ke Australia. Juga pengaruh coriolis yang dianggap relatif kecil di sepanjang sabuk ekuator.

Tabel 2. Periode 1, 1 November 2007–30 Januari 2008

Kota	CCF		
	ISMI (Lag)	WNPMI (Lag)	AUSMI (Lag)
Pontianak	-0.355 (5)	0.406 (0)	0.486 (0)
Biak	-0.248 (4)	0.253 (4)	0.599 (0)

Sumber: Sudiantoro dan Hermawan, 2013.

Tabel 2 menunjukkan bahwa Pontianak relatif lebih kuat dipengaruhi oleh AUSMI dengan nilai CCF sebesar 0,486, sedangkan nilai CCF untuk ISMI dan WNPMI masing-masing sebesar -0,355 dan 0,406. Demikian juga pada kota Biak, iklim global yang paling besar pengaruhnya adalah AUSMI dengan nilai korelasi sebesar 0,599. Berturut-turut besarnya korelasi ISMI dan WNPMI, yaitu -0,248 dan 0,253. Hubungan positif terjadi jika kenaikan satu variabel diikuti kenaikan variabel yang lain. Demikian juga sebaliknya, hubungan negatif dapat terjadi jika kenaikan satu variabel diikuti penurunan variabel yang lain.

Tabel 3. Periode 2, 7 Desember 2008–7 Maret 2009

Kota	CCF		
	ISMI (Lag)	WNPMI (Lag)	AUSMI (Lag)
Pontianak	-0.251 (7)	-0.203 (7)	0.21 (6)
Manado	0.419 (1)	0.277 (1)	0.301 (1)

Sumber: Sudiantoro dan Hermawan, 2013.

Pada periode kedua, seperti terlihat pada Tabel 3 dominasi pengaruh Monsun Australia terhadap Pontianak masih terjadi yang ditandai dengan Monsun Asia, baik ISMI maupun WNPMI bernilai negatif terhadap kota Pontianak. Namun, berbeda dengan Manado, Monsun Asia (WNPMI dan ISMI) tidak bernilai negatif. Tabel 3 menunjukkan bahwa korelasi terbesar Pontianak dipengaruhi oleh AUSMI dengan

nilai CCF sebesar 0,21, sedangkan Manado dipengaruhi oleh ISMI dengan nilai CCF sebesar 0,419.

Sesuai dengan tujuan utama penelitian ini, yakni memperoleh satu bentuk model IMI yang diturunkan dari data angin zonal di lapisan 850 hPa dengan disajikan adanya pengaruh indeks monsun Asia dan Australia, terutama disaat periode pertama dan kedua. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketiga indeks Monsun di atas terhadap perilaku angin zonal di lapisan 850 hPa yang terjadi di atas Pontianak, Manado, dan Biak sebagaimana dijelaskan di Tabel 2 dan 3. Berbasis kepada metode analisis yang digunakan maka dibuatlah satu model regresi berganda masing-masing untuk periode pertama dan kedua dengan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{IMI} &= U_{850 \text{ hPa}} \\ &= a[\text{ISMI}] + b[\text{WNPMI}] + c[\text{AUSMI}] + \text{kostanta} \end{aligned}$$

Model di atas menjelaskan seberapa besar indeks iklim global memengaruhi angin zonal di kota Pontianak, Manado, dan Biak. Perbedaan fase antara Monsun Asia dan Monsun Australia menunjukkan bahwa ketika Monsun Asia menguat maka diduga Monsun Australia meredam kekuatannya. Begitu juga sebaliknya, ketika Monsun Australia menguat maka Monsun Asia meredam kekuatannya. Nilai variabel a, b, dan c merupakan nilai parameter yang dihasilkan dari persamaan regresi linier berganda di atas. Peran MJO terkait dengan kejadian di atas diasumsikan sangat kecil. Ini akibat resolusi data pengamatannya relatif kasar (rata-rata bulanan), sedangkan MJO menggunakan data rata-rata harian atau jam-jaman.

Perbandingan antara data observasi angin zonal di lapisan 850 hPa dan model yang dihasilkan masing-masing untuk periode pertama

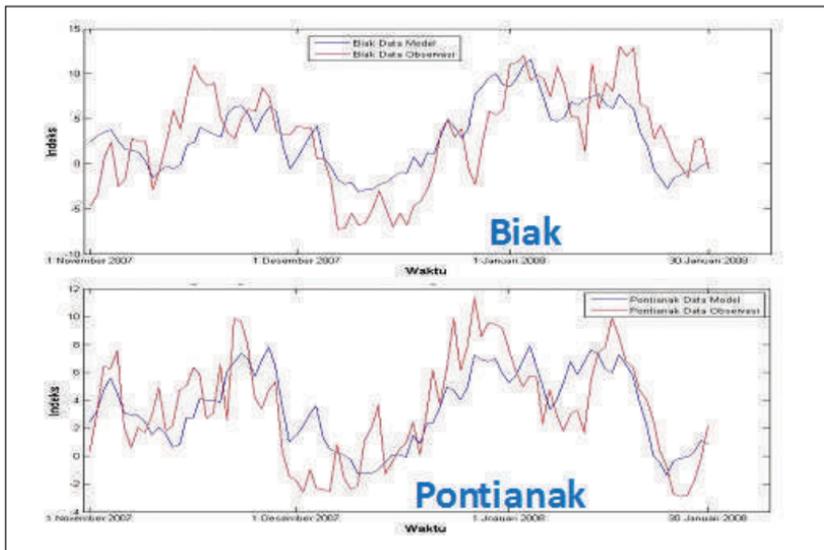
dan kedua yang diharapkan dapat dijadikan acuan dibangunnya IMI yang sesuai untuk BMI, khususnya Pontianak, Manado, dan Biak berdasarkan kesamaan fase yang dihasilkan seperti terlihat di Gambar 22.

Periode pertama, 1 November 2007–30 Januari 2008 (Pontianak vs Biak) maka bentuk persamaan IMI-nya:

$$\text{Biak } (U_{850\text{hPa}}) = -0,288 [\text{ISMI}] + 0,329 [\text{WNPMI}] + 0,455 [\text{AUSMI}] + 2,352$$

$$\text{Pontianak } (U_{850\text{hPa}}) = -0,039 [\text{ISMI}] + 0,311 [\text{WNPMI}] + 0,815 [\text{AUSMI}] + 2,880$$

Periode kedua, 7 Desember 2008–7 Maret 2009 (Manado vs Pontianak) maka bentuk persamaan IMI-nya:

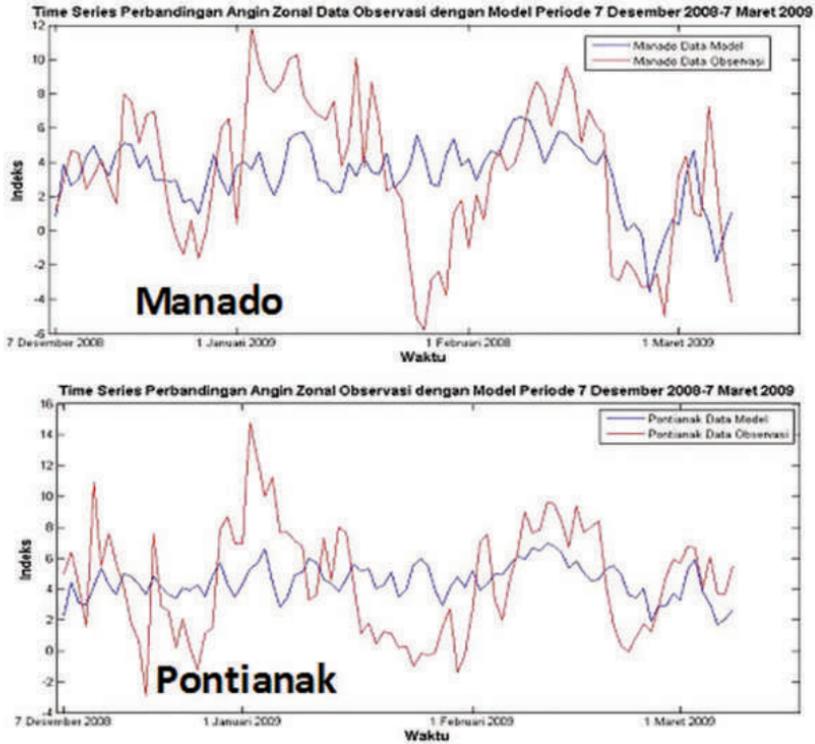


Gambar 25. Time Series Perbandingan antara Data Angin Zonal Observasi dan Model di 850 hPa di atas Biak dan Pontianak (Sudiantoro & Hermawan, 2013)

Buku ini tidak diperjualbelikan.

$$\text{Manado } (U_{850\text{hPa}}) = 0,814 [\text{ISMI}] + 0,152 [\text{WNPMI}] + 0,305 [\text{AUSMI}] + 8,282$$

$$\text{Pontianak } (U_{850\text{hPa}}) = 0,634 [\text{ISMI}] - 0,192 [\text{WNPMI}] + 0,208 [\text{AUSMI}] + 6,374$$



Gambar 26. Sama dengan Gambar 23, tetapi untuk Periode Kedua yaitu di atas Manado dan Pontianak (Sudiantoro & Hermawan, 2013)

Dari Gambar 25 dan 26 terlihat jelas bahwa perbedaan antara data observasi angin zonal WPR dan model yang dihasilkannya relatif nyata pada periode pertama dibandingkan periode kedua. Di periode pertama terhitung sejak 1 November 2007 hingga 30 Januari 2008, terlihat jelas bahwa model mengikuti pola data observasi, baik yang ada di atas Pontianak maupun Biak. Sementara itu, pada periode

kedua terhitung sejak 7 Desember 2008 hingga 7 Maret 2009, model ternyata tidak mengikuti pola data observasi, baik yang ada di atas Manado maupun Pontianak. Hal ini diduga terkait dengan lokasi Manado yang memang relatif agak jauh dari sabuk ekuator.

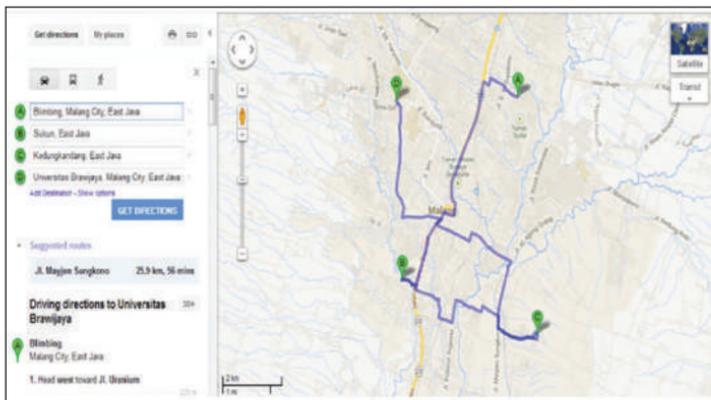
B. Berbasis Data Anomali Curah Hujan Permukaan

1. Penentuan Model Anomali Curah Hujan Malang

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan untuk stasiun Pos Blimbing, Sukun, Unbra Lowokwaru, dan Kedung Kandang periode Januari 2006 hingga Juli 2009. Data berasal dari satelit *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) format 3B43 dan data indeks Monsun global yang masing-masing diwakili oleh parameter ISMI dan WNPMI, keduanya mewakili indeks Monsun Asia dan AUSMI yang dianggap mewakili indeks Monsun Australia.

Kumpulan data tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan metode statistik, khususnya analisis hubungan keeratan (koefisien korelasi, R^2) dan teknik regresi ganda (*multivariate regression*). Data tersebut untuk menentukan model atau formula regresi ganda antara anomali curah hujan dan indeks monsun global. Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, terlebih dahulu disampaikan perbandingan antara data curah hujan hasil pengukuran langsung (*in-situ observation*) dan data satelit TRMM bulanan per periode Januari 2006 hingga Juli 2009, masing-masing untuk kawasan stasiun Blimbing, Sukun, Unbra Lowokwaru, dan Kedung Kandang dengan sebaran spasial, seperti tampak pada Gambar 27.

Dari Gambar 27, terlihat jarak relatif dari masing-masing stasiun yang ditinjau. Keterangan rinci posisi dari masing-masing stasiun dapat dijelaskan sebagai berikut: Blimbing ($7,96^\circ\text{LS}$ dan $112,62^\circ\text{BT}$), Sukun ($8,01^\circ\text{LS}$ dan $112,66^\circ\text{BT}$), Unbra Lowokwaru ($7,99^\circ\text{LS}$ dan

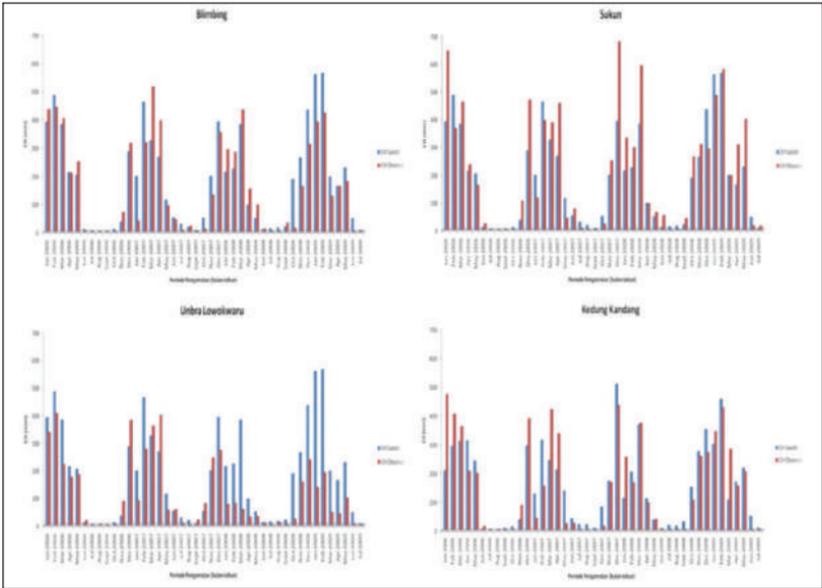


Gambar 27. Sebaran Spasial Stasiun Pengamatan yang Dijadikan Kawasan Kajian

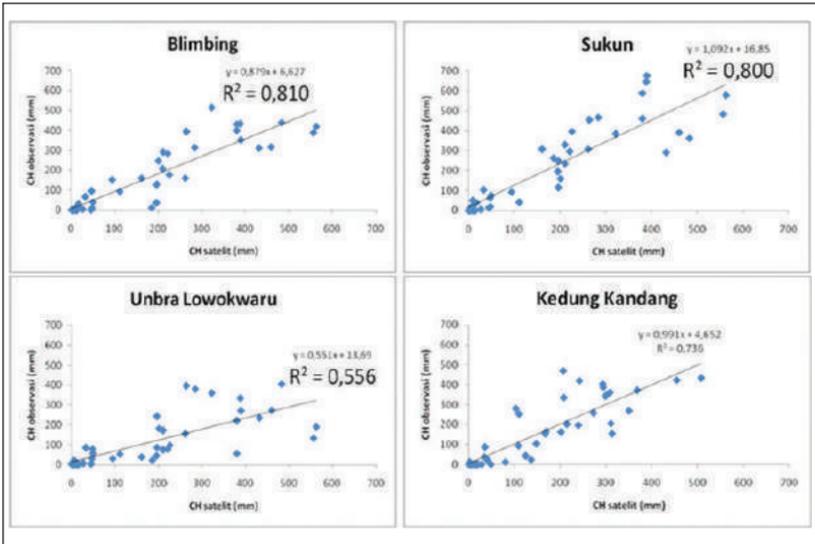
112,61°BT), dan Kedung Kandang (7,95°LS, 112,65°BT). Sehubungan dengan banyaknya data observasi yang relatif kurang baik atau kosong maka disajikan *time-series* dari masing-masing data. Dari keempat kawasan yang ditinjau, hampir semuanya memiliki pola curah hujan monsunial yang tegas, yaitu diindikasikan dengan perubahan pola *sinusoidal* yang jelas dan tegas (Gambar 28).

Oleh karena itu, diperlukan data yang relatif panjang terkait dengan analisis perilaku monsun, yang tampaknya relatif dominan terjadi di Malang dan sekitarnya. Selanjutnya dipandang perlu untuk menganalisis perbandingan antara data *in-situ* dan data satelit TRMM yang telah di-*setting* pada periode dan lokasi yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 29.

Dari gambar 28 dan 29, terlihat bahwa stasiun Pos Blimbing memiliki nilai koefisien korelasi yaitu yang relatif paling besar 0,81, sedangkan stasiun Sukun dengan nilai 0,80. Oleh karena itu, perlu analisis lebih tajam antara data satelit TRMM dan data curah hujan *in-situ* stasiun Pos Blimbing seperti ditunjukkan pada Gambar 30 dan 32. Namun, perlu dicatat bahwa formula yang digunakan untuk



Gambar 28. Time-series Data Curah Hujan Bulanan di atas Stasiun Blimbing, Sukun, Unbra Lowokwaru, dan Kedung Kandang periode Januari 2006–Juli 2009



Gambar 29. Perbandingan antara Data Curah Hujan *In-situ* per Wilayah Kajian dengan Data TRMM

menurunkan perkiraan data curah hujan Pos Blimbing dari hasil penurunan data satelit TRMM adalah sebagai berikut:

$$\text{CH estimasi} = 0,879 (\text{data CH TRMM}) + 6,627$$

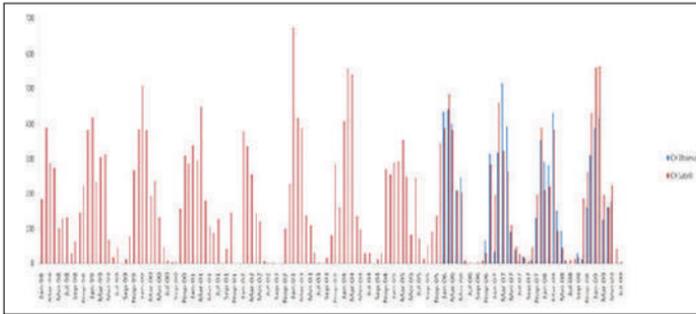
Dengan CH adalah curah hujan dan periode yang digunakan Januari 1998 hingga Juli 2009. Jadi, ada sekitar 139 bulan pengamatan yang dianalisis.

Memang diperoleh perbedaan R^2 yang cukup signifikan antara sebelum dan setelah dilakukan estimasi (*forecasting*) sebagaimana dijelaskan pada Gambar 5(a) dan 5(b). Sebelum dilakukan *forecasting* diperoleh R^2 sebesar 0,76 dan setelah dilakukan *forecasting* nilai R^2 bertambah menjadi 0,92. Ini mengindikasikan bahwa nilai curah hujan dapat diturunkan estimasi untuk stasiun pengamat Pos Blimbing dengan formula:

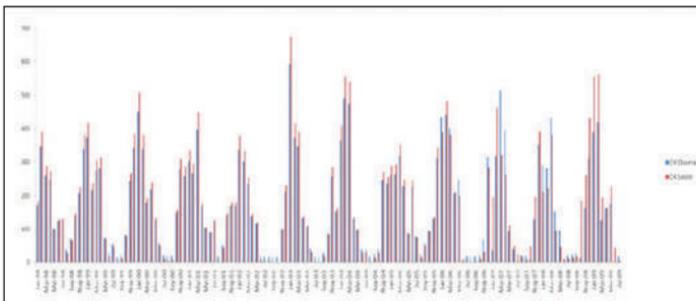
$$\text{CH estimasi} = 0,857 (\text{data CH TRMM}) + 14,16$$

Dengan demikian, hasil analisis terhadap data indeks Monsun global menunjukkan bahwa Indeks Monsun Australia (AUSMI) hingga kini masih dianggap dominan menguasai dinamika atmosfer Indonesia, khususnya dari segi parameter curah hujan.

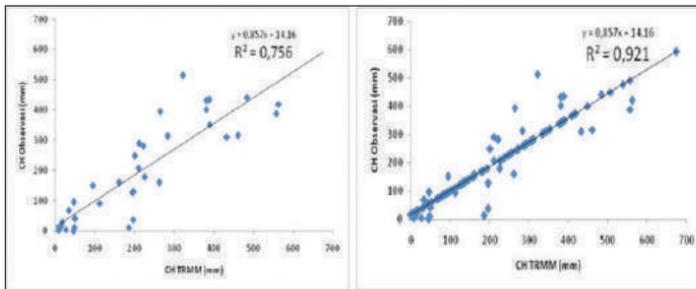
Dari Gambar 33, terlihat bahwa jika hanya indeks AUSMI semata maka besarnya nilai R^2 sekitar 0,62. Namun, ketika indeks AUSMI dikurangi dengan Indeks Monsun Asia lainnya, ISMI dan WNPMI maka besarnya R^2 meningkat menjadi sekitar 0,69. Oleh karena itu, dilakukanlah analisis interaksi, interkoneksi, atau telekoneksi berbagai indeks monsun global di atas terkait dengan penentuan Indeks Monsun Indonesia, khususnya untuk Malang dan kawasan sekitarnya. Analisis lebih lanjut menggunakan teknik regresi ganda (*multivariate regression*) sehingga diperoleh suatu persamaan



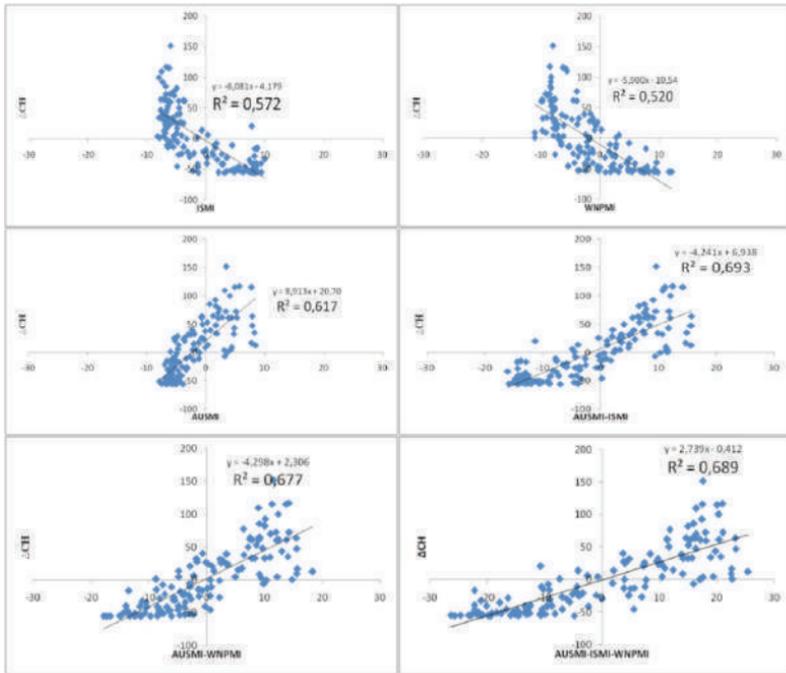
Gambar 30. Perbandingan antara Data Curah Hujan *In-situ* Pos Blimbing dan Data TRMM Sebelum Dilakukan Perkiraan (*Forecasting*)



Gambar 31. Sama dengan Gambar 30, Hanya Saja Setelah Dilakukan Perkiraan (*Forecasting*)



Gambar 32. Perbandingan antara Data Curah Hujan *In-situ* Pos Blimbing dan Data TRMM Sebelum Gambar 30 dan Gambar 31 Setelah Dilakukan Perkiraan (*Forecasting*)



Gambar 33. Korelasi antara Anomali Curah Hujan Estimasi dan Berbagai Kombinasi Indeks Monsun Global di Atas Stasiun Pos Blimbing

(yang kemudian didefinisikan sebagai model) dengan formula sebagai berikut:

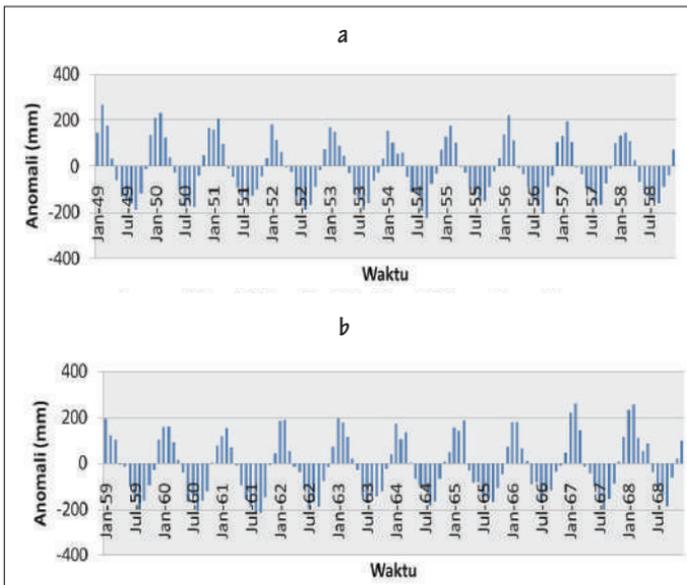
$$\Delta CH \text{ (Pos Blimbing)} = 14,795 [\text{AUSMI}] - 5,088 [\text{ISMI}] - 6,451 [\text{WNPMI}] + 19,350$$

dengan:

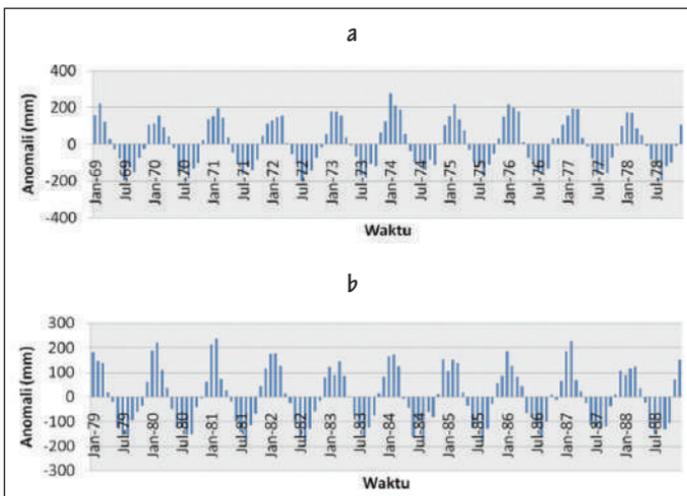
Δ = anomali dengan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.71

Dengan formula di atas, diperoleh nilai anomali curah hujan Pos Blimbing yang ada di Malang, Jawa Timur yang merupakan hasil turunan dari data indeks monsun global sebagaimana ditunjukkan pada rangkaian Gambar 34 hingga 36.

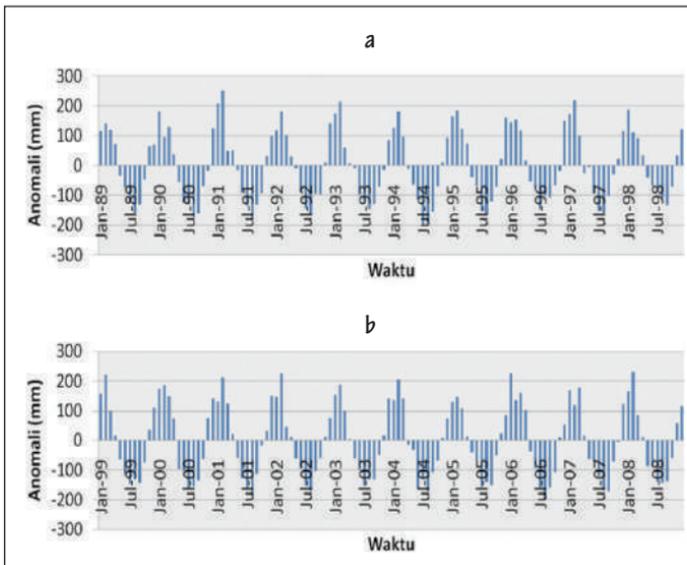
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 34. Anomali Curah Hujan Pos Blimbing, Malang, Jawa Timur (a) Periode Januari 1949–Desember 1958 dan (b) Periode Januari 1959–Desember 1968



Gambar 35. Sama Dengan Gambar 34 tetapi untuk (a) Periode Januari 1969–Desember 1978 dan (b) Periode Januari 1979–Desember 1988



Gambar 36. Sama Dengan Gambar 34 tetapi untuk (a) Periode Januari 1989–Desember 1998 dan (b) Periode Januari 1999–Desember 2008

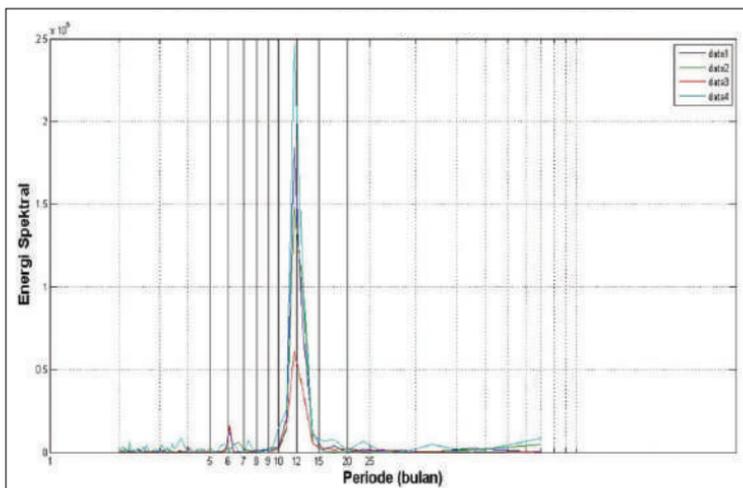
2. Penentuan Awal Musim Hujan, Kemarau, dan Transisi di Yogyakarta

Studi yang satu ini merupakan kaji ulang hasil analisis yang dilakukan Senitawati (2012) tentang pengembangan model Indeks Monsun Indonesia (IMI) sebagai penentu awal musim hujan, kering, dan transisi di kawasan barat Indonesia. Hasilnya menunjukkan bahwa Indeks Monsun AUSMI merupakan indeks monsun global yang polanya relatif mendekati pola yang sama dengan pola angin meridional EAR pada lapisan 200 hPa (-11,7 km dpl). Dengan teknik komposit, diperoleh bahwa awal musim hujan, transisi, dan kemarau di kawasan barat Indonesia masing-masing Desember, April, dan Juni. Sebenarnya, kajian penentuan awal musim di Yogyakarta merupakan pengembangan hasil studi yang dilakukan bersama Senitawati (2011) yang mengkaji studi curah hujan dan indeks monsun menggunakan

teknik *Power Spectral Density* (PSD) dan *wavelet* Yogyakarta. Lestari (2011) juga menganalisis karakteristik sirkulasi udara di atas Indonesia secara analisis zonal (timur-barat) dan hubungannya dengan curah hujan di Yogyakarta menggunakan data satelit TRMM rata-rata bulanan periode Januari 1998 hingga Desember 2009.

Pada waktu yang bersamaan, dianalisis pula data indeks Monsun global, masing-masing parameter WNPMI dan AUSMI. Data tersebut bersifat data global dan harian seperti yang diungkapkan oleh Kajikawa & Wang (2014f).

Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan teknik spektral untuk mengkaji osilasi dominan yang terjadi; analisis regresi berganda (*multivariate regression*) untuk mengkaji formula indeks Monsun Indonesia, khususnya Yogyakarta; dan analisis komposit (*composite technique analysis*) untuk mengkaji perilaku anomali curah hujan bulanan. Pada Gambar 37 ditunjukkan hasil analisis osilasi dominan



Gambar 37. Grafik Osilasi Monsun dan Anomali Curah Hujan Yogyakarta Periode 1998–2000 (Catatan: Data1=ISMI, Data2=WNPMI, Data3=AUSMI, dan Data4=Anomali Curah hujan Yogyakarta)

dari masing-masing data ISMI, WNPMI, AUSMI, dan anomali curah hujan Yogyakarta periode 1998 hingga 2009.

Gambar 37 jelas terlihat bahwa hampir semua parameter yang ditinjau memiliki osilasi dominan yang sama, yakni di sekitar 12 bulanan yang dikenal dengan istilah *Annual Oscillation* (AO). Ini mengindikasikan bahwa Yogyakarta dan kawasan sekitarnya dipengaruhi oleh fenomena monsun yang relatif kuat. Analisis lebih lanjut menggunakan teknik regresi ganda (*multivariate regression*) menunjukkan satu bentuk persamaan (yang kemudian didefinisikan sebagai model) dengan formula sebagai berikut:

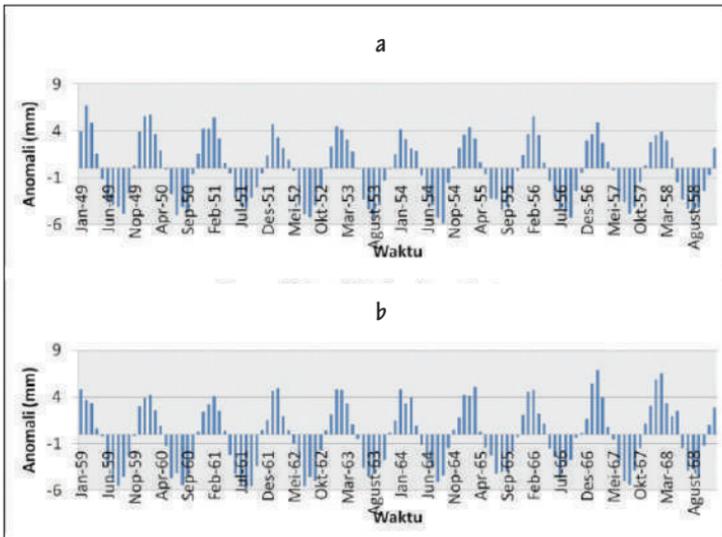
$$\Delta\text{CH (Yogyakarta)} = 0,320 [\text{AUSMI}] - 0,239 [\text{ISMI}] - 0,127 [\text{WNPMI}] + 0,379$$

di mana:

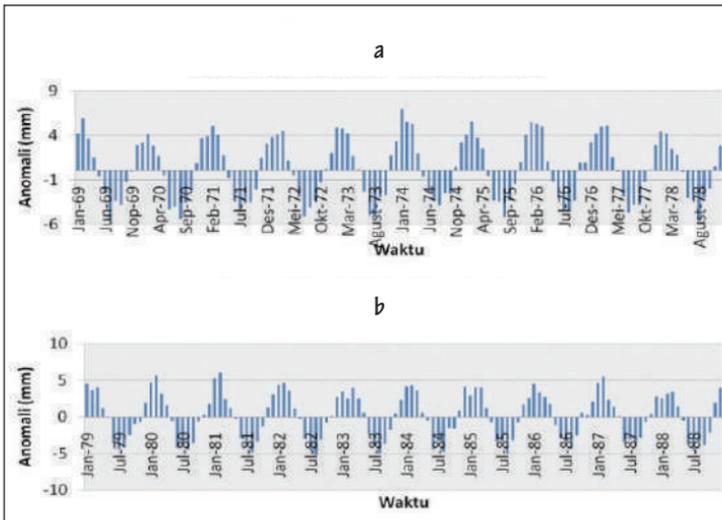
Δ = anomali dengan nilai koefisien korelasi (R²) sebesar 0,84

Dengan formula di atas itulah, diperoleh nilai anomali curah hujan Yogyakarta yang merupakan hasil penurunan dari data indeks Monsun global sebagaimana ditunjukkan pada rangkaian Gambar 38 hingga 40. Hasil analisis anomali curah hujan di Yogyakarta pada Gambar 38 hingga itu memerlukan penjelasan agak rumit, walaupun pola yang dihasilkan hampir mendekati pola sinusoidal sempurna. Oleh karena itu, perlu analisis lebih lanjut dengan teknik komposit. Dengan teknik ini menjadi terlihat jelas awal musim hujan, kemarau, dan transisi, di Yogyakarta serta kawasan sekitarnya seperti pada Gambar 41 dan 42.

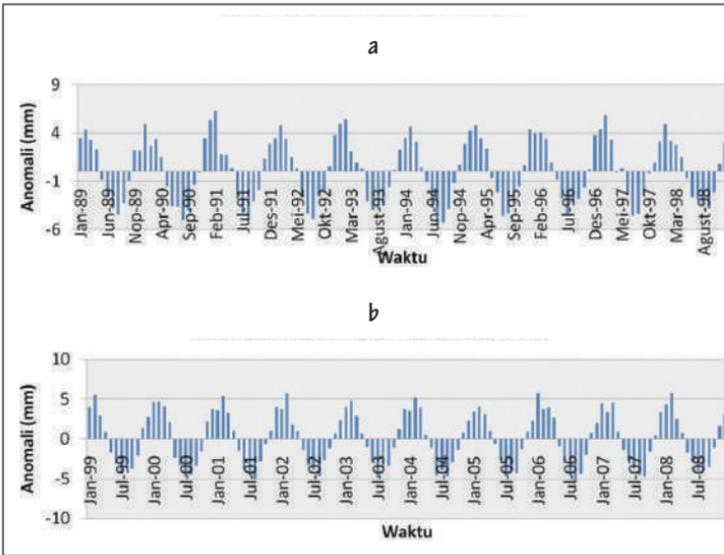
Dari gambar 41 dan 42, jelas terlihat bahwa musim hujan (ditandai dengan nilai anomali yang positif, di sebelah kanan) dimulai sejak Januari berlanjut hingga Maret. Sementara itu, walaupun nilai anomali April masih positif, nilainya sudah mulai sedikit berkurang.



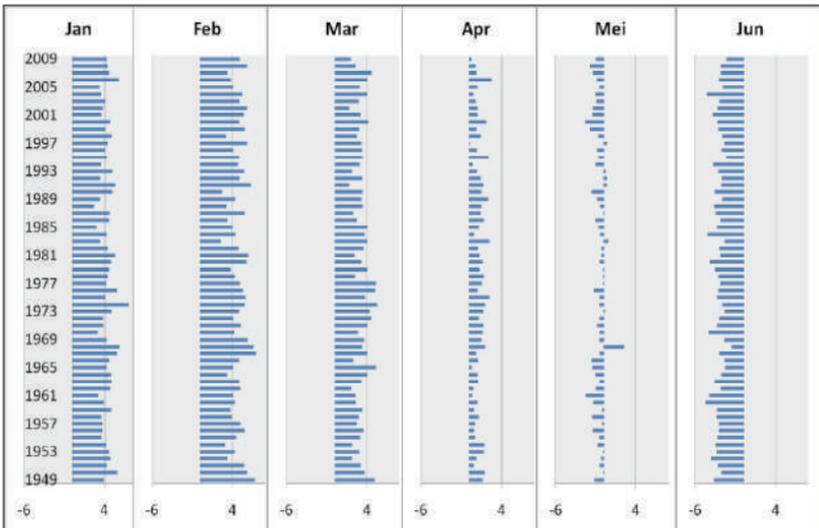
Gambar 38. Anomali Curah Hujan Yogyakarta (a) periode Januari 1949–Desember 1958 dan (b) Periode Januari 1959–Desember 1968



Gambar 39. Sama Dengan Gambar 38 tetapi untuk Periode Januari 1969–Desember 1978 (a) dan (b) Periode Januari 1979–Desember 1988

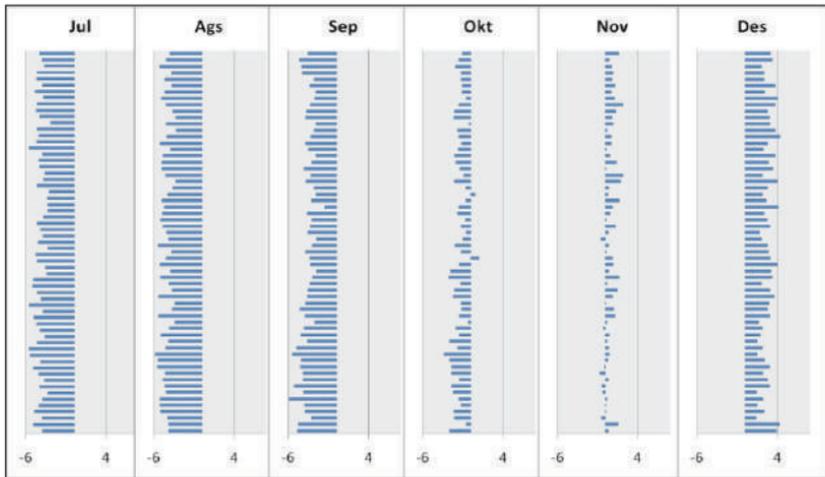


Gambar 40. Sama Dengan Gambar 39+ tetapi untuk Periode Januari 1989–Desember 1998 (a) dan (b) Periode Januari 1999–Desember 2008



Gambar 41. Komposit Anomali Curah Hujan Yogyakarta Periode 1949–2009 Masing-masing untuk Bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, dan Juni

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 42. Sama Dengan Gambar 41, tetapi untuk Bulan Juli, Agustus, September, Oktober, November, dan Desember

Sejak bulan Mei, pola anomali curah hujan yang dihasilkan mulai berubah yang semula positif lambat laun berubah menjadi negatif. Ini menandakan jika bulan Mei merupakan awal musim transisi dari musim hujan ke musim kemarau.

Bulan Juni sebagai awal musim transisi sepenuhnya dimulai ditandai dengan nilai anomali curah hujan yang keseluruhannya negatif. Keadaan ini terus berlanjut hingga bulan September. Sementara itu, walaupun Oktober memiliki nilai anomali curah hujan masih negatif, nilainya juga sudah mulai berkurang. Hal ini menandakan jika bulan Oktober sebagai musim transisi kedua (dari musim kemarau ke musim hujan dimulai), dan jelas terlihat di bulan November. Secara keseluruhan tampak jelas jika bulan Desember sebenarnya merupakan awal musim hujan secara total.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

C. Interkoneksi antara Monsun dan *El-Niño*

Analisis interkoneksi antara monsun dan *El-Niño*, khususnya data *Sea Surface Temperature (SST) Niño 3.4* utamanya diambil dari tulisan Rendra Edward (Hermawan & Edward, 2013). Hal terpenting dari adanya interkoneksi adalah bahwa osilasi monsun tidak selamanya berjalan mulus dan sempurna. Ada kalanya diganggu oleh fenomena lain, seperti *El-Niño*. Interkoneksi keduanya saat ini dikaji serius oleh banyak peneliti di mancanegara sebagaimana direkomendasikan oleh IPCC dalam AR4 (2007) dan AR5 (2013).

Interkoneksi merupakan studi lanjut yang telah dilakukan oleh Sari (2012) yang menganalisis perilaku curah hujan di beberapa kawasan Indonesia pada saat fenomena monsun dan *Dipole Mode* saling berinteraksi. Krisnanto (2012) juga menganalisis pengembangan model telekoneksi antara kejadian *El-Niño* dan *Dipole Mode* serta pengaruhnya terhadap fluktuasi curah hujan di daerah sentra produksi tanaman pangan dengan studi kasus Sukamandi dan Padang Panjang. Awalnya tertarik untuk menganalisis interaksi yang terjadi antara monsun dan *Dipole Mode*, namun setelah dipelajari ternyata interaksi antara Monsun dan *El-Niño*, dampak yang lebih nyata.

Sementara itu, belum ada peneliti yang mencoba mengaitkan kejadian MJO, baik dengan monsun, *Dipole Mode* maupun *El-Niño*. Hal ini diduga terkait dengan perbedaan resolusi data yang digunakannya. Jika monsun, *Dipole Mode*, dan *El-Niño* menggunakan resolusi data bulanan, sedangkan MJO justru harus menggunakan data yang resolusi pengamatannya harian atau rata-rata lima harian (pentad).

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: (a) Data curah hujan rata-rata bulanan, masing-masing untuk kawasan Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjar Baru, dan Pandeglang periode 1976–2000; (b) Data SST *Niño 3.4* yang diperoleh dari NOAA (2011), periode 1950–2009; dan (c) Data indeks monsun periode

1950–2009 yang terdiri dari data AUSMI, WNPMI, dan ISMI. (Kajikawa & Wang, 2014e).

Sementara itu, interkoneksi dibagi dalam beberapa tahap yang diawali dengan mengubah data curah hujan bulanan menjadi suatu data anomali dengan formula sebagai berikut:

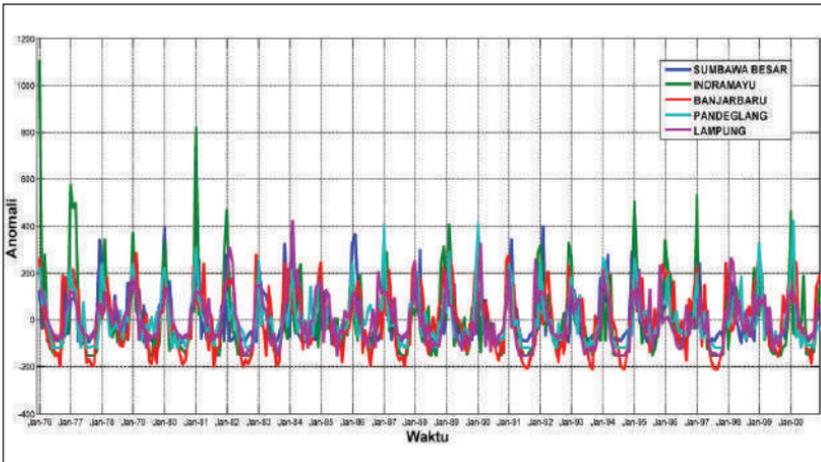
$$\text{Anomali} = \frac{\text{(data CH bulan ke } i \text{)}}{\text{(rata-rata seluruh data)}}$$

Formula untuk menghitung anomali digunakan agar sifat monsunal pada data curah hujan bulanan tidak dihilangkan. Setelah data curah hujan berbentuk anomali diperoleh maka dapat dilakukan tahap penelitian selanjutnya. Diawali dengan analisis spektral untuk mengetahui osilasi dominan dari data anomali curah hujan rata-rata bulanan di atas. Salah satu metode analisis spektral yang banyak digunakan orang adalah teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) sebagaimana dijelaskan oleh Mulyana (2004).

Teknik lain yang masih tergolong sebagai analisis spektral adalah teknik *wavelet* (Tang, 2009 dan Darwis dkk., 2002). Kedua teknik tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan, seperti teknik FFT misalnya, ia dengan tepat dapat mengetahui osilasi dominan dalam satu data *time-series*, juga dapat mengetahui dengan pasti bila osilasi dominan itu muncul. Sementara itu, penentuan nilai ketepatan energi spektral dengan teknik WL agak sulit untuk ditentukan, namun tetap dapat diketahui bila osilasi dominan itu muncul. Oleh karena itu, umumnya kedua teknik digunakan dalam satu kali analisis. Terakhir adalah analisis statistik, khususnya analisis korelasi silang berbasis *Cross Correlation Function* (CCF).

1. Analisis Data Anomali Curah Hujan Bulanan

Data *time-series* anomali curah hujan bulanan masing-masing di-



Sumber: Hermawan & Edward, 2013

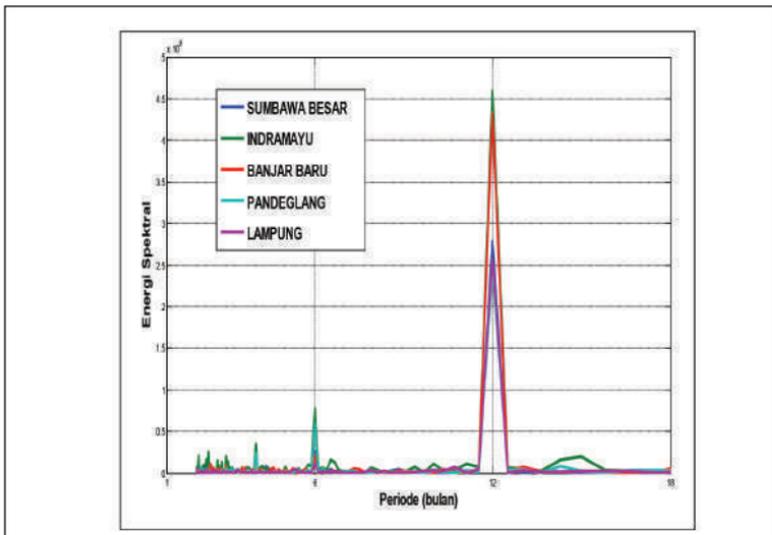
Gambar 43. *Time-series* Data Anomali Curah Hujan Bulanan Berbagai Wilayah yang Ditinjau Periode 1976–2000

sajikan untuk kawasan/wilayah Sumbawa Besar, Indramayu, Banjar Baru, Pandeglang, dan Lampung selama 24 tahun pengamatan untuk periode 1976–2000 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 43 (Hermawan & Edward, 2013).

Dari Gambar 43, terlihat adanya pola Monsunal yang tegas/jelas ditandai dengan perubahan fase positif dan negatif yang teratur selama kurun waktu tertentu (sekitar 12 bulanan). Fase positif merupakan suatu periode hujan atau kondisi hujan yang umumnya terjadi selama periode DJF (Desember, Januari, Februari) dengan nilai puncak maksimum pada bulan Januari, sedangkan fase negatif (-) merupakan suatu periode tertentu pada suatu wilayah yang ditandai dengan tidak turun hujan dan mengalami kondisi kering, yang biasanya terjadi pada bulan JJA (Juni, Juli, Agustus) dengan nilai puncak minimum pada bulan Juli.

Pada Gambar 43 dapat dilihat bahwa wilayah Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjar Baru, dan Pandeglang memiliki tipe hujan monsunal yang dicirikan oleh distribusi curah hujan bulanan berbentuk huruf V dengan jumlah curah hujan musiman terendah terjadi pada bulan kering (JJA) dan tertinggi pada bulan hujan (DJF). Wilayah dengan pola curah hujan monsunal memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan periode musim kering.

Berdasarkan hasil deret waktu curah hujan yang telah diperoleh, dapat dilihat bahwa wilayah-wilayah yang memiliki hujan tipe monsunal antara puncak maksimum dengan puncak minimum memiliki periode atau osilasi 12 bulanan. Hal tersebut berbeda dengan wilayah kajian yang memiliki hujan tipe equatorial dalam satu tahun terdapat dua puncak maksimum dan osilasi yang nyata terlihat sekitar enam bulan. Selain menggunakan analisis deret waktu untuk meng-



Sumber: Hermawan & Edward, 2013.

Gambar 44. Power Spektral Density (PSD) Curah Hujan Periode 1976–2000

Buku ini tidak diperjualbelikan.

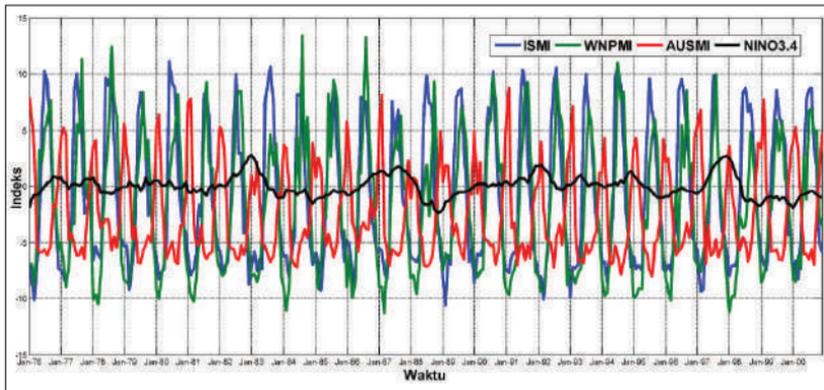
kaji adanya osilasi yang nyata terhadap data curah hujan di wilayah Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjarbaru, dan Pandeglang, dapat juga dilakukan analisis *Power Spectral Density* (PSD) seperti Gambar 44.

Analisis *Power Spectral Density* (PSD) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui periodesitas dari suatu data deret waktu. Pada Gambar 44, dapat dilihat bahwa wilayah-wilayah kajian yang bertipe curah hujan monsun (Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjarbaru, dan Pandeglang) menunjukkan pola osilasi dominan 12 bulanan (dikenal dengan istilah *Annual Oscillation/AO*). Hal ini terlihat dari puncak energi spektral masing-masing wilayah kajian berada pada periode 12 bulanan, artinya kejadian kuat berulang dalam selang waktu 12 bulanan. Wilayah Indramayu dan Banjarbaru memiliki puncak yang lebih tinggi dibandingkan wilayah Lampung, Sumbawa Besar, dan Pandeglang. Hal ini berarti kekuatan monsun di wilayah Indramayu dan Banjar Baru relatif lebih kuat dibandingkan wilayah lainnya.

2. Analisis Spektral Indeks Monsun Asia-Australia dengan Data SST Niño 3.4

Monsun merupakan siklus tahunan yang memengaruhi secara tegas keadaan atmosfer ketika musim hujan dan musim kering. Menurut Webster (1987), monsun juga merupakan fenomena berinteraksinya parameter atmosfer yang berada di daratan dan lautan yang luas, seperti yang terjadi antara Benua Asia-Australia dan Samudra Hindia-Pasifik.

Bhalme (1991) menyatakan bahwa *El-Niño* merupakan anomali suhu permukaan laut yang terjadi di daerah khatulistiwa bagian tengah dan timur, yaitu menghangatnya permukaan laut hingga mencapai suhu satu derajat di atas standar deviasi rata-rata bulanan selama empat bulan berturut-turut. Secara umum, hubungan antara monsun



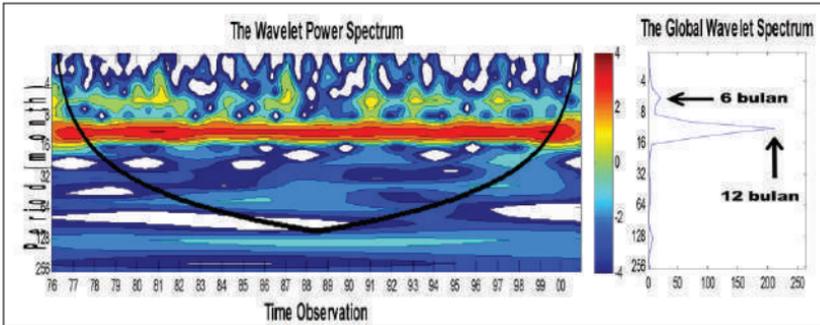
Sumber: Hermawan dan Edward, 2013

Gambar 45. Gambar 43, tetapi untuk Data Indeks Monsun Global dan SST Nino 3.4

dengan SST *Niño* 3.4 adalah berbanding terbalik, artinya apabila Monsun melemah maka SST *Niño* 3.4 menguat dan begitupun sebaliknya sebagaimana tampak pada Gambar 45.

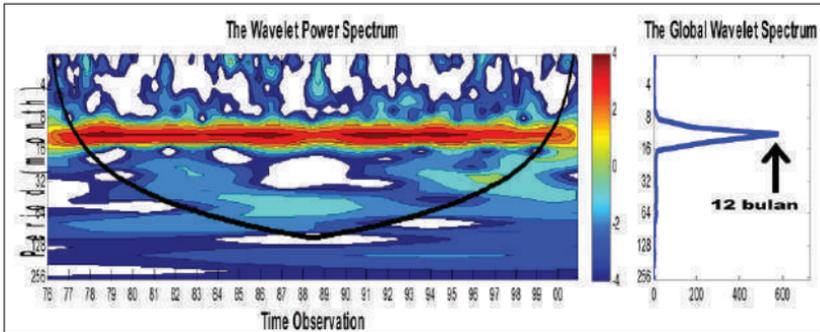
Berdasarkan Gambar 45, terlihat bahwa tidak selamanya kedua fenomena tersebut berbanding terbalik. Monsun Asia yang diwakili oleh ISMI dan WNPMI berbanding terbalik dengan Monsun Australia yang diwakili oleh AUSMI, artinya ketika data AUSMI menguat maka Monsun Asia melemah, begitupun sebaliknya. Namun, ketika ketiganya digabungkan dengan SST *Niño* 3.4, ada kalanya Monsun Asia dan Monsun Australia sama-sama menguat dengan SST *Niño* 3.4, begitupun sebaliknya. Oleh karena itu, dipandang perlu untuk dilakukan analisis spektral terhadap ketiga indeks monsun global di atas dan satu untuk indeks SST *Niño* 3.4.

Analisis spektral menggunakan teknik *wavelet* masing-masing untuk indeks Monsun ISMI, WNPMI, dan AUSMI dapat dilihat pada Gambar 46 hingga 49. Dari keempat gambar tersebut terlihat jelas bahwa indeks monsun memiliki osilasi dominan sekitar 12 bulanan. Ada juga terlihat osilasi 6 bulanan (dikenal dengan istilah



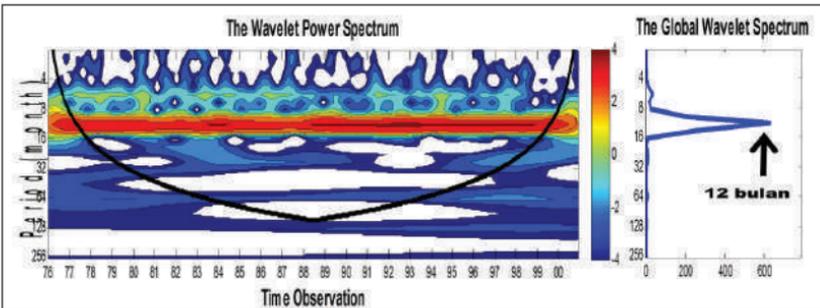
Sumber: Hermawan & Edward, 2013

Gambar 46. *The Global Wavelet Spectrum* Data AUSMI periode 1976–2000



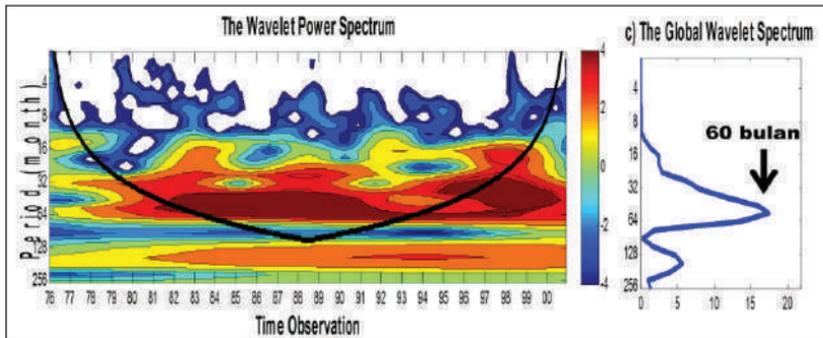
Sumber: Hermawan dan Edward, 2013

Gambar 47. Sama dengan Gambar 45, tetapi untuk Data Indeks Monsun WNPMI



Sumber: Hermawan dan Edward, 2013

Gambar 48. Sama dengan Gambar 45, tetapi untuk Data Indeks Monsun ISMI



Sumber: Hermawan dan Edward, 2013

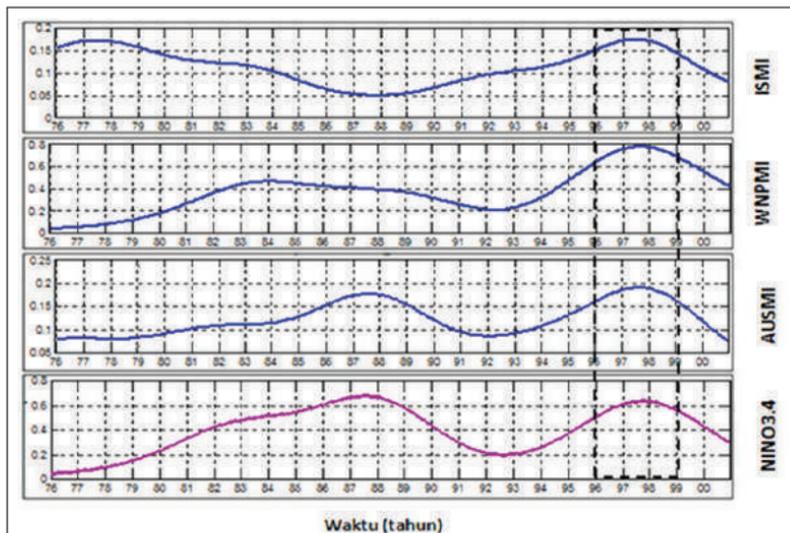
Gambar 49. Sama dengan Gambar 45, tetapi untuk Data Indeks SST Nino 3.4

Semi-Annual Oscillation (SAO) walaupun tidak tergolong sebagai osilasi dominan. Dari keempat gambar menunjukkan bahwa hanya AUSMI sajalah yang memiliki siklus enam bulanan.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa hampir semua indeks Monsun global berosilasi 12 bulanan (sekitar 1 tahunan). Hal tersebut sangat berbeda dengan indeks SST Nino 3.4, dengan osilasi dominan sekitar 60 bulanan (sekitar 5 tahunan). Hal ini sedikit rumit untuk dijelaskan satu per satu apalagi terkait dengan interkoneksi yang terjadi di dalamnya. Dengan demikian, perlu dilakukan analisis bila keempat indeks tersebut menunjukkan pola yang sama.

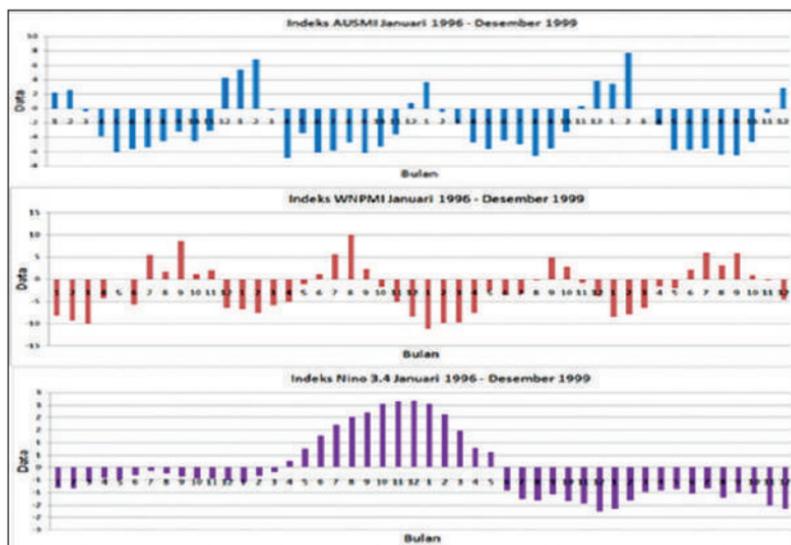
Dengan menggunakan teknik *wavelet*, tepatnya teknik variansi, ditemukan bahwa keempat indeks di atas ternyata memiliki pola yang sama saat 1997/98, sebagaimana tampak pada Gambar 50. Hasil ini ternyata konsisten dengan hasil sebelumnya yang menyatakan adanya anomali indeks monsun global dan juga SST Nino 3.4 (Harijono, 2008).

Analisis varian pada Gambar 50 menunjukkan nilai rata-rata sebaran data deret waktu. *Mean varians* (rata-rata varian) merupakan suatu kisaran nilai rata-rata data yang menyimpang dari kondisi normalnya. Jika diperhatikan dengan seksama, tampak jelas keempat indeks menunjukkan pola yang sama, khususnya periode 1996–1999,



Sumber: Hermawan dan Edوارد, 2013

Gambar 50. Mean Varians Indeks Monsun dan SST Niño 3.4 Periode 1976–2000



Sumber: Hermawan dan Edوارد, 2013

Gambar 51. Anomali data indeks AUSMI, WNPMI, dan SST Niño 3.4 periode 1996–1999

di mana terjadi kenaikan SST Nino 3.4 yang cukup signifikan pada tahun 1997 (dikenal dengan nama *strong el-niño*), lalu diikuti dengan penurunan SST *Niño 3.4* (dikenal dengan nama *strong la-niña*) tanpa ada waktu jeda sedikit pun. Oleh karena itu, selanjutnya akan dibahas mengenai pemodelan untuk memprediksi curah hujan monsun wilayah kajian data dapat menggunakan variabel AUSMI, WNPMI, dan SST *Nino 3.4*, yakni sepanjang tahun 1996–1999 (Gambar 51).

3. Analisis Interkoneksi antara Data Anomali Curah Hujan, Data Indeks Monsun, dan Data SST *Niño 3.4*

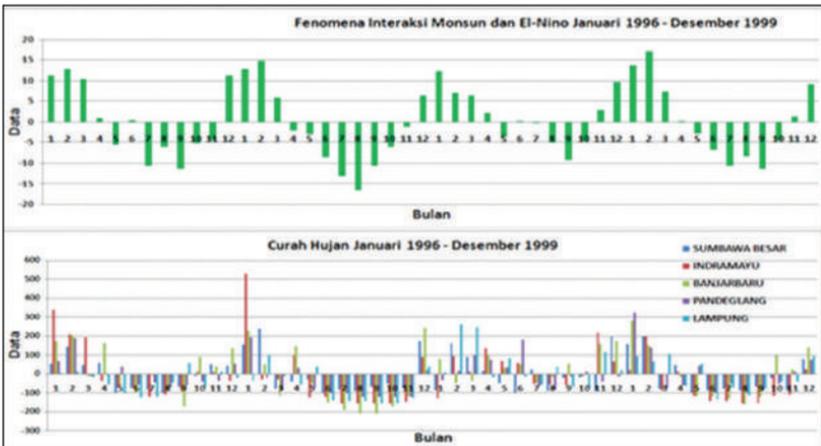
Hal yang perlu dipahami disini adalah dari ketiga indeks global di atas, hanya indeks ISMI, WNPMI, dan AUSMI yang dianalisis lebih lanjut. Hal ini disebabkan ISMI dan WNPMI memiliki pengaruh yang relatif besar terhadap wilayah Indonesia terutama pada saat musim hujan. Sebaliknya, Indeks AUSMI merupakan Indeks monsun Australia yang cukup berpengaruh kuat saat musim kemarau. Sementara itu, indeks SST *Niño 3.4* lebih nyata saat musim kemarau dan hujan. Kombinasi ketiga indeks, pada saat ketiganya bertemu (berinteraksi) seperti kejadian di tahun 1997/98, merupakan hal penting untuk dianalisis, dan lebih lanjut disajikan rangkaian data *time-series* ketiga indeks di atas sepanjang tahun 1996–1999.

Dengan demikian, besarnya anomali curah hujan (dilambangkan dengan ΔCH) merupakan fungsi dari besaran indeks ISMI, WNPMI, dan AUSMI yang disederhanakan menjadi:

$$\Delta CH = f(\text{AUSMI}, \text{WNPMI}, \text{SST } Niño \text{ 3.4})$$

Hasil analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa didapat formula dengan rumusan:

$$\Delta CH = \text{AUSMI} - \text{WNPMI} - \text{SST } Niño \text{ 3.4}$$



Sumber: Hermawan dan Edward, 2013

Gambar 52. Diagram Batang Fenomena Interkoneksi Berbagai Indeks Global dengan Anomali Curah Hujan di Beberapa Kawasan Indonesia periode 1996–1999

Penerapan formula ini tampak lebih jelas dengan memperhatikan Gambar 52. Gambar 52 menunjukkan kondisi anomali curah hujan pada tahun 1996–1999, baik dari segi interkoneksinya maupun dari anomali curah hujan. Secara keseluruhan curah hujan mengalami kondisi ekstrem karena terjadi interkoneksi antara monsun dan *El-Niño*. Gambar 52 pola curah hujan juga menunjukkan seluruh wilayah kajian mengikuti pola interaksi antara monsun dan *El-Niño* 3.4. Akibat interkoneksi kedua fenomena tersebut terjadilah curah hujan ekstrem, yakni kemarau panjang dan hujan panjang pada tahun 1997 dan 1998.

Sehubungan dengan adanya respons yang berbeda pada masing-masing kawasan yang ditinjau terhadap dampak interkoneksi yang ditimbulkan oleh ketiga indeks iklim global di atas maka dipandang perlu untuk dilakukan analisis korelasi silang (*cross correlation analysis*). Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengetahui untuk pengaruh MJO saat monsun dan *El-Niño* saling berinteraksi.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

4. Korelasi Silang Berbasis *Cross Correlation Function* (CCF) Analysis

Asumsi dasar yang digunakan ketika berbicara masalah interkoneksi adalah besarnya anomali curah hujan yang terjadi atau turun di suatu wilayah dipengaruhi oleh iklim global yang jika disederhanakan menjadi $\Delta CH = f(\text{AUSMI}, \text{WNPMI}, \text{Nino } 3.4)$ (Hermawan, 2010a, 2010b, 2010c). Dari asumsi tersebut didapatkan sebuah persamaan regresi *multivariate* (Tabel 4) dari masing-masing wilayah di mana nilai X_1 menunjukkan nilai AUSMI, nilai X_2 nilai WNPMI, dan nilai X_3 nilai SST *Niño* 3.4.

Persamaan regresi *multivariate* menjelaskan peranan masing-masing fenomena iklim dalam memengaruhi curah hujan wilayah kajian. Persamaan *multivariate* (Tabel 4) digunakan untuk membuat model curah hujan yang dipakai untuk membuat model prakiraan (prediksi). Hubungan erat antara curah hujan model dan curah hujan pengamatan dijelaskan melalui nilai koefisien korelasi (R). Korelasi merupakan teknik analisis yang termasuk dalam salah satu teknik pengukuran hubungan mengenai ada atau tidaknya hubungan antara dua fenomena atau lebih (Hasan, 2003). Wilayah Banjarbaru memiliki nilai koefisien korelasi (R) yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah kajian lainnya (Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa wilayah Banjarbaru lebih merespons pada telekoneksi sehingga menurunkan curah hujan di daerah tersebut.

Analisis *Cross Correlation Function* (CCF) digunakan untuk mengetahui waktu tunda atau *time lag* antara fenomena interaksi AUSMI dan *El-Niño* terhadap curah hujan. Tanda positif dan negatif pada nilai CCF menunjukkan arah hubungan antara dua variabel. Jika nilai CCF memiliki tanda (+), berarti kedua variabel memiliki hubungan yang berbanding lurus. Sebaliknya, apabila nilai CCF memiliki nilai negatif (-), kedua variabel memiliki hubungan yang berbanding terbalik.

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa seluruh wilayah kajian (Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjarbaru, dan Pandeglang) memiliki nilai CCF yang positif (+). Hal ini menunjukkan bahwa fenomena interaksi antara monsun dan *El-Niño* terhadap curah hujan memiliki hubungan yang berbanding lurus. Artinya apabila fenomena interaksi menguat maka curah hujan di wilayah kajian juga meningkat, sedangkan semakin melemahnya fenomena interaksi maka curah hujan di wilayah kajian semakin menurun.

Selain mengetahui nilai CCF, pada Tabel 4 dapat dilihat juga nilai *time lag* atau waktu tunda di beberapa wilayah kajian, yakni waktu yang dibutuhkan oleh fenomena interaksi monsun dan *El-Niño* untuk dapat memengaruhi curah hujan di wilayah kajian. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa seluruh wilayah kajian (Lampung, Sumbawa Besar, Indramayu, Banjarbaru, dan Pandeglang) memiliki *lag time* 0 bulan. Artinya, antara kejadian interaksi monsun dan *El-Niño* tidak memiliki waktu tunda untuk memengaruhi curah hujan di wilayah tadi.

Tabel 4. Kaitan Interaksi atau Interkoneksi antara Dua Fenomena (AUSMI–WNPMI–*Niño* 3.4) dengan Curah Hujan Bulanan Periode 1976–2000

KOTA	CCF	Lag time (bulan)	Error	R ²	Persamaan Multivariant
Sumbawa Besar	0.692	0	78.23	0.53	$Y = 16.267X_1 - 3.940X_2 - 6.790X_3 + 6.819$
Indramayu	0.642	0	124.86	0.45	$Y = 20.549X_1 - 5.976X_2 - 15.042X_3 + 10.883$
Banjarbaru	0.76	0	84.99	0.59	$Y = 8.195X_1 - 12.388X_2 - 25.964X_3 + 7.408$
Pandeglang	0.695	0	74.67	0.54	$Y = 15.923X_1 - 3.445X_2 - 5.264X_3 + 6.509$
Lampung	0.694	0	75.64	0.49	$Y = 9.954X_1 - 6.721X_2 - 2.913X_3 + 6.593$

Sumber: Hermawan & Edward, 2013

Catatan : $X_1 = \text{AUSMI}$, $X_2 = \text{WNPMI}$, dan $X_3 = \text{SST Nino 3.4}$.

BAB IV

IMPLEMENTASI KAJIAN INDEKS MONSUN ASIA-AUSTRALIA DI MASA MENDATANG

Terdapat lima aspek penting yang perlu diperhatikan terkait dengan implementasi atau tindak lanjut kajian Indeks monsun Asia-Australia (IMAA) dan aplikasinya di Indonesia. Kelima aspek tersebut adalah (1) penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI); (2) penentuan awal musim; (3) interkoneksi antara Monsun dan *El-Niño* terkait dengan estimasi curah hujan ekstrem; (4) *monitoring*, prediksi, dan proyeksi penyusunan IMI di masa mendatang; (5) kemungkinan simulasi IMI berbasis hasil *running* model atmosfer Indonesia.

A. Penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI)

Aspek pertama yang perlu dikaji sebagai implementasi Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) adalah disusun atau dibangunnya suatu indeks Monsun yang benar-benar sesuai untuk kawasan Indonesia yang kemudian dikenal dengan istilah IMI. Hal ini penting dilakukan sebab hingga kini belum ada indeks iklim global yang dapat mewakili kondisi nyata (*real*) kompleksitas dinamika atmosfer Indonesia.

Saat ini telah berkembang pesat berbagai indeks cuaca/iklim global, seperti *Real Time Multivariate MJO Index* (RMII) yang mewakili indeks *Madden Julian Oscillation* (MJO), *Dipole Mode Index* (DMI)

yang mewakili fenomena atau kejadian *Dipole Mode* di Lautan Hindia, *El-Niño Modoki Index* (EMI), dan masih banyak lagi yang semuanya digunakan untuk memudahkan dalam menganalisis satu fenomena atau bencana atmosfer yang terjadi.

Apa yang disajikan di atas barulah sebatas meninjau kembali hasil-hasil yang telah diperoleh dari analisis data IMAA terkait dengan perilaku anomali curah hujan dan angin di lapisan 850 dan 200 hPa sesuai dengan konsep dasar Monsun yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi Dunia (World Meteorological Organization), yakni mengacu kepada dua lapisan utama masing-masing 850 dan 200 hPa. Dari kedua data arah dan kecepatan angin zonal dan meridional itulah dibuat asimilasi data dengan teknik komposit (*composite technique analysis*) yang diturunkan menjadi besaran penentuan awal musim (baik musim kemarau maupun musim hujan) di beberapa kawasan Indonesia.

Penentuan awal musim ini masih bersifat lokal, belum memper-timbangkan aspek spasial (ruang), terlebih aspek waktu (temporal). Konsekuensi logis dari kondisi tersebut adalah IMI yang ada saat ini hanya berlaku untuk kondisi lokal setempat belum dapat diterapkan untuk satu kondisi wilayah yang relatif besar (seperti skala meso). Mungkin kurang tepat penggunaannya untuk skala meso karena keanekaragaman ketinggian diantara ruang-ruang/kawasan di Indonesia, sangat tergantung pada pengelompokan ruang serta resolusi spasial datanya. Walaupun telah melibatkan angin zonal dan meridional di lapisan troposfer atas, yakni di 200 hPa, yang saat itu pengaruh gaya Coriolis (*Coriolis Force*) relatif sangat kecil, tetapi skalanya masih tetap terbatas lokal.

Jadi, sementara ini IMI yang ada hanya berlaku untuk kota-kota yang memiliki data angin di dua lapisan utama tersebut, yakni Kototabang, Pontianak, Manado, dan Biak. Sehubungan dengan itu, di awal tahun 2011 dilakukanlah kegiatan penelitian dengan

topik/judul “Pengembangan Indeks Monsun Indonesia Berbasis Hasil Analisis Data *Wind Profiler Radar* (WPR)” yang telah dipublikasikan di Prosiding Seminar Nasional Fisika 2011 (Hermawan dkk., 2011(b) dan (d)).

Hanya saja, satu hal yang perlu diperhatikan adalah model IMI yang akan dikembangkan seyogianya mempertimbangkan adanya tiga tipe pola curah hujan Indonesia, yakni pola monsun, ekuatorial, dan pola lokal sebagaimana telah dikembangkan oleh Aldrian & Susanto (2003). Tidak masalah, apakah basis data indeks monsun Asia-Australia yang digunakan mengalami bias atau tidak, yang jelas data tersebut telah “dikawinkan” dengan data observasi langsung atau lebih dikenal dengan istilah asimilasi data sehingga diharapkan fenomena ekstrem yang terjadi di kawasan tersebut telah terwakili dengan adanya data observasi langsung.

Selain itu, perlu dikembangkan satu proyek percobaan di masa mendatang mengingat model yang dihasilkan masih terfokus pada fenomena normal saja. Sementara itu, model tersebut harus diuji pada saat kawasan dilanda kering panjang atau hujan panjang seperti yang dialami pada tahun 1997/98.

Ini merupakan tantangan sekaligus peluang bagi kalangan ilmuwan muda, khususnya mereka yang berkecimpung di dunia meteorologi dan klimatologi untuk terus mengembangkan satu model IMI yang tepat waktu dan tepat sasaran, yang tidak hanya dapat diaplikasikan untuk kondisi normal, namun juga untuk kondisi ekstrem agar bisa menyelamatkan kawasan strategis, seperti lumbung padi dan tempat lain dari ancaman bencana hidrometeorologi (*hydro-meteorological hazard*) yang semakin tampak di depan.

Sebagai catatan penting, yang dimaksud dengan IMI disini tidak lain dan tidak bukan adalah data Indeks Monsun Asia-Australia yang telah “dikawinkan” atau diasimilasikan dengan data lokal setempat

sehingga diperoleh satu Indeks Monsun yang benar-benar mewakili kondisi Indonesia dengan tetap mempertimbangkan aspek spasial dan temporal.

Ada satu gagasan yang kiranya dapat dipertimbangkan untuk mewujudkan satu IMI yang berlaku spasial dengan tetap mempertimbangkan ruang dan waktu, yakni diekstraknya data angin dan curah hujan dari data *Climatic Research Unit* (CRU) sejak tahun 1901 (UCAR, 2015). Data ini pernah diterapkan ketika mengekstrak data curah hujan bulanan untuk kawasan Loka Kototabang dan sekitarnya.

B. Penentuan Awal Musim

Wacana ini banyak dinanti pengguna, terutama Kementerian Pertanian yang sedang giat-giatnya menyusun kalender tanam (katam). Penentuan musim hujan dan musim kemarau yang dikembangkan BMKG selama ini diprediksi akan lebih baik hasilnya jika berbasis kepada satu indeks Monsun yang benar-benar sesuai dengan kawasan Indonesia.

Sehubungan dengan itu, di tahun 2011 ditulis satu makalah dengan judul “Estimasi Datangnya Awal Musim Kemarau/Hujan di Kawasan Barat Indonesia Berbasis Hasil Analisis Data Observasi Radar dan Satelit” yang telah dipublikasikan di Prosiding Jurnal Club Tahun 2011 yang diterbitkan oleh BMKG Tahun 2011 (Hermawan, 2011(e)). Hal serupa juga pernah dilakukan untuk penentuan awal musim di beberapa kawasan yang ada di Provinsi Kalimantan Timur dan Yogyakarta.

Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan kombinasi yang baik antara data satelit TRMM untuk kawasan Kabupaten Kutai Kartanegara dan data indeks monsun global (ISMI, WNPMI, AUSMI) maka dihasilkan satu data *time-series* panjang (sekitar 60 tahun pengamatan beresolusi bulanan). Dengan menggu-

nakan teknik komposit analisis maka diperoleh perilaku curah hujan bulanan di kawasan tersebut sehingga dapat ditentukan dengan jelas kapan awal musim hujan, musim transisi, dan musim kemarau.

Hasil analisis agak berbeda ketika dibandingkan dengan Kabupaten Bulungan yang juga terletak di Provinsi Kalimantan Timur. Hal ini bisa terjadi terkait erat kapan waktu tanam yang tepat bagi para petani atau pengambil kebijakan terkait dengan pola tanam yang cocok untuk kawasan tersebut. Diperlukan satu teknik prediksi (prakiraan) berbasis *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) untuk mengestimasi (memperkirakan) pergeseran pola curah hujan yang diduga terjadi akibat adanya perubahan iklim global.

Sementara itu, penentuan model anomali curah hujan yang terjadi di Yogyakarta dapat dilakukan melalui analisis regresi ganda (*multivariate regression*) yang diturunkan dari data indeks monsun global, masing-masing diwakili oleh ISMI, WNPMI, dan AUSMI, serta dikalibrasi dengan anomali curah hujan hasil observasi satelit TRMM.

Model yang diperoleh masih relatif sederhana karena belum memasukkan unsur keterkaitan antara satu indeks monsun dan indeks monsun lainnya (interaksi), namun model tersebut sudah dapat menggambarkan perilaku monsun yang memang dominan terjadi di Yogyakarta dan kawasan sekitarnya. Model menunjukkan bahwa parameter AUSMI-lah yang relatif paling dominan. Namun, hal ini perlu direduksi dengan indeks monsun lainnya, yakni ISMI ataupun WNPMI.

Dengan memanfaatkan data curah hujan bulanan periode 1998–2009 sebanyak kurang lebih 12 tahun pengamatan, diperoleh informasi tentang penentuan awal musim hujan, transisi, dan musim kemarau yang terjadi di Yogyakarta dan kawasan sekitarnya. Selain itu, menggunakan teknik komposit analisis, diperoleh perilaku curah

hujan bulanan di kawasan Yogyakarta dengan jelas pada awal musim hujan, musim kemarau, dan transisi.

C. Interkoneksi antara Monsun dengan *El-Niño* Terkait dengan Estimasi Curah Hujan Ekstrem

Aspek ketiga yang tidak kalah pentingnya adalah masalah interkoneksi yang terjadi di antara berbagai fenomena atmosfer yang ada. Tidak hanya interkoneksi antara kejadian *El-Niño* dan *Dipole Mode* yang memang sudah banyak dilakukan orang, namun juga interkoneksi antara *El-Niño* dan monsun yang menyebabkan osilasi normal monsun terganggu. Inilah hal penting yang menjadi pemikiran ahli-ahli iklim dunia sehingga tidak mengherankan jika salah satu rekomendasi yang dihasilkan pada pertemuan sidang *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ke-31 tanggal 26–29 Oktober 2009 di Bali dan juga pertemuan *Global Earth System to System* (GEOSS) ke-4 tanggal 10–12 Maret 2010 di tempat yang sama telah merekomendasikan bahwa interkoneksi atau telekoneksi atau interaksi berbagai fenomena atmosfer yang terjadi di atas kawasan Indonesia perlu dikaji lebih mendalam secara komprehensif terkait dampak serius yang ditimbulkannya terhadap perubahan iklim global.

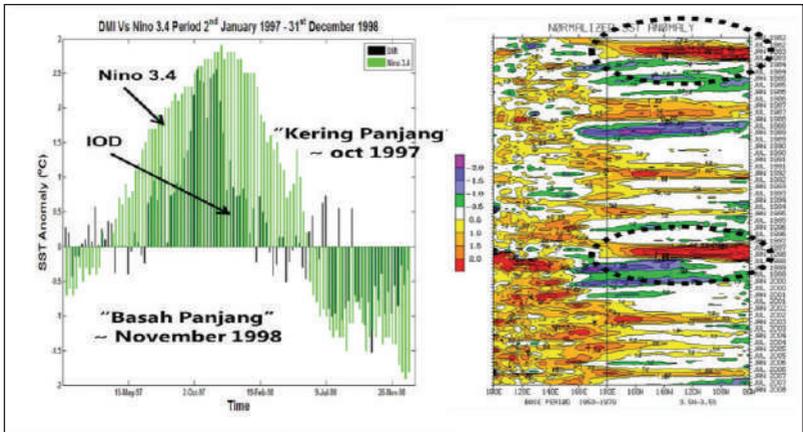
Keadaan tersebut dapat dimengerti karena posisi kawasan Indonesia yang sangat unik, diapit oleh dua benua besar (Asia dan Australia) dan dua samudra besar (Pasifik dan Hindia) yang merupakan satu-satunya kawasan yang didominasi oleh lautan, oleh Ramage (1968) disebut sebagai *Indonesian Maritime Continent* (IMC) atau lebih dikenal dengan istilah Benua Maritim Indonesia (BMI). Konsekuensi logis dari kondisi ini adalah kawasan ini kaya dengan kumpulan awan-awan penghasil hujan yang dikenal sebagai *Super Cloud Cluster* (SCCs).

Berlangsungnya dua fenomena alam dalam satu kurun waktu yang hampir bersamaan (simultan), yaitu monsun dan *El-Niño* berdampak serius terhadap anomali curah hujan rata-rata bulanan yang terjadi di beberapa kawasan Indonesia. Gejala ini lebih dikenal dengan istilah interaksi atau interkoneksi atau telekoneksi. Berbasis pada hasil analisis korelasi silang (*Cross Correlation Analysis*) periode 1976–2000 walaupun diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang relatif kecil (sekitar 0,5), namun hasilnya memiliki nilai *Cross Correlation Function* (CCF) yang relatif besar (rata-rata di atas 0,6). Kawasan Banjar Baru yang ada di Kalimantan Selatan ternyata memiliki nilai R^2 dan CCF yang paling besar, masing-masing 0,59 dan 0,76. Sementara itu, kawasan Indramayu memiliki nilai R^2 dan CCF yang paling kecil, masing-masing 0,45 dan 0,64.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa masing-masing kawasan memiliki respons berbeda pada saat terjadinya interaksi antara monsun dan *El-Niño*. Hal ini diduga akibat periode analisis yang digunakan relatif panjang, yakni 1976–2000 yang mestinya hanya fokus ke periode 1996–1999. Satu hal lagi yang dapat disimpulkan adalah hampir tidak ada jeda waktu (*time lag*) sehingga dapat dipastikan bahwa fenomena Monsun Australia (yang diwakili AUSMI) sebenarnya dominan dalam memengaruhi kompleksitas dinamika atmosfer, khususnya anomali curah hujan yang ada di Indonesia terutama kawasan barat Indonesia.

Istilah interkoneksi/telekoneksi/interaksi umumnya terkait erat dengan adanya hubungan timbal balik (sering disebut sebagai kopel atau *couple*) yang terjadi antara fenomena iklim yang satu dan fenomena iklim lainnya walaupun kedua fenomena tersebut berada dalam jarak atau ruang yang relatif cukup jauh. Ciri khas utama terjadinya interkoneksi biasanya ditandai dengan terjadinya dua/lebih fenomena dalam kurun waktu yang hampir sama (*near real time*) yang dalam bahasa ilmiahnya disebut “simultan”.

Satu contoh nyata yang pernah dialami adalah tatkala musim kemarau panjang tahun 1997/98 melanda maka beberapa kawasan melebihi kondisi normalnya, lebih dari sembilan bulan atau bahkan mencapai hampir satu tahun, tepatnya terhitung sejak April 1997 hingga April 1998, dan mencapai puncaknya sekitar Oktober 1997. Setahun sesudahnya, tanpa ada jeda waktu (*time-lag*) sedikitpun untuk musim transisi, langsung terjadi musim hujan berkepanjangan di tahun 1998. Durasinya pun hampir sama dengan tahun sebelumnya, berkisar hampir satu tahun terhitung sejak Juni 1998 hingga Juni 1999, sebagaimana terlihat jelas pada Gambar 53.



Gambar 53. Time-section Bersatunya SST Niño 3.4 dan Dipole Mode (kiri), dan Diagram Hövmöller Anomali SST Niño 3.4 sejak 1980 hingga 2008 (kanan)

Terjadinya fenomena kering dan hujan panjang tersebut diduga kuat akibat interkoneksi antara berbagai macam fenomena iklim global yang ada pada saat itu. Satu catatan yang dapat disampaikan adalah jika hanya satu fenomena iklim global yang terjadi, misalnya *El-Niño* saja maka dampak yang ditimbulkan tidak separah atau sehebat jika ada fenomena iklim lain yang mendukung atau menghambatnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Untuk fenomena lain, seperti *Dipole Mode*, MJO, aktivitas matahari, dan *cold surge* dalam kasus ini tidak dibahas lebih jauh. Selain mekanisme pembentukannya berbeda dengan monsun, juga diperlukan data dengan resolusi pengamatan yang relatif lebih rapat (per hari atau jam). Berbasis data *Dipole Mode* yang diperoleh dari pihak BoM, Australia, diperoleh osilasi dominan sekitar 3,5 tahun untuk *Dipole Mode*. Untuk MJO, menggunakan data radiasi gelombang panjang (OLR) rata-rata harian untuk kawasan barat Indonesia, diperoleh data osilasi sekitar 45 harian. Untuk aktivitas matahari belum dilakukan, namun jika menggunakan data *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), diperoleh osilasi sekitar 11 tahunan (dikenal dengan istilah *sun-spot* atau bintik surya). *Cold surge* (sarauk dingin) belum dapat dilakukan mengingat data tekanan permukaan yang digunakan belum didapat. Semuanya menjadi rumit ketika skala waktu dan periode pengamatan serta data yang digunakan tidak seragam. Belum lagi masalah lokasi dan mekanisme interkoneksi yang belum dipahami dengan jelas.

Barangkali, fenomena yang terjadi di akhir Januari 2007 atau di awal Februari 2007, tepatnya sejak tanggal 31 Januari hingga 2 Februari 2007, dapat menjadi pelajaran. Jakarta lumpuh total akibat dilanda banjir besar hanya dalam hitungan beberapa hari saja. Hal ini terjadi bukan hanya disebabkan rusaknya lingkungan hijau di kawasan Puncak, Bogor dan kawasan sekitarnya atau rusaknya sistem pembuangan air (drainase) di Jakarta, tetapi pada saat itu terjadi fenomena alam. Osilasi Madden-Julian atau *Madden-Julian Oscillation* (MJO) bergabung menjadi satu dengan serangan udara dingin (dikenal dengan istilah *cold surge*) dari belahan bumi utara Asia hingga mencapai kawasan ekuatorial Indonesia yang menyebabkan terjadi akumulasi atau penumpukan massa udara lembap ke kawasan Jakarta dan sekitarnya seperti dijelaskan dengan detail oleh Gernowo (2010) dalam Thesis S-3 nya yang berjudul “Dinamika Atmosfer pada Curah Hujan Ekstrem dan Penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca Statis

di Daerah DKI Jakarta” dan juga oleh Wu P. dkk. (2007). Anomali curah hujan ekstrem umumnya terjadi di wilayah yang bertipe hujan monsun. Pengaruhnya terhadap *time-lag* Monsun adalah datang atau akhir musim kering dan hujan yang relatif lebih awal sekitar 2–3 bulan.

Kasus yang terjadi di tahun 1997 adalah hadirnya fenomena *El-Niño* atau sebagian peneliti lain menyebutnya sebagai *El-Niño And Southern Oscillation* (ENSO) bersamaan dengan hadirnya fenomena *Dipole Mode* secara simultan. Pada saat itu, suhu permukaan laut (SPL) atau dikenal dengan istilah *Sea Surface Temperature* (SST) di kawasan *Niño3.4* yang terletak di tengah Lautan Pasifik terus naik merangkak hingga di atas batas ambang normal mencapai 2,0 yang kemudian diikuti dengan naiknya SST di Lautan Hindia yang kemudian dikenal dengan istilah *Dipole Mode* positif, disingkat menjadi DM(+).

Hasilnya dapat dibayangkan, hampir sembilan puluh persen (90%) kawasan Indonesia mengalami musim kering panjang, hanya beberapa kawasan saja yang memang tidak terpengaruh dampak bersatunya dua fenomena alam di atas, yakni kawasan Sumatra bagian utara, seperti Aceh dan Medan yang ditandai oleh relatif hujan sepanjang tahun seperti dijelaskan oleh Harijono (2008). Kondisi ini tidak jauh berbeda saat keduanya bertemu kembali, namun dalam fase yang berbeda. Jika tahun 1997 keduanya bertemu dalam satu fase positif yang berdampak musim kering panjang, pada tahun 1998 keduanya bertemu dalam satu fase negatif yang berakibat musim hujan berkepanjangan sehingga munculah istilah *Dipole Mode* negatif atau DM(-) disertai hadirnya *La-Niña*. Dampak yang terjadi apabila kedua fenomena tersebut terjadi dalam kurun waktu yang hampir bersamaan dapat dirasakan di kawasan yang berpola hujan monsun, khususnya kawasan Pantura. Sementara itu, kawasan yang berpola hujan ekuatorial, tidak terlalu terpengaruh. Contohnya adalah kawasan Sumatra Utara bagian utara yang relatif “bebas” saat

bersatunya *El-Niño* dan *Dipole Mode*. Sementara itu, diduga terkait dengan posisinya yang relatif dekat dengan sabuk ekuator, Bangka Belitung terhindar dari dampak kemarau panjang. Hal yang sama juga dialami kawasan lain yang berpola ekuatorial, yakni yang terletak di sepanjang sabuk (*belt*) ekuator, seperti Pontianak dan Bukittinggi di Sumatra Barat. Ini terjadi karena pengaruh monsun, khususnya SAO relatif dominan. Artinya, walaupun terjadi kekeringan panjang, daerah tersebut bebas dari bahaya kering panjang karena osilasinya terjadi setiap 6 bulan.

Hal ini memberi gambaran betapa pentingnya memahami perilaku masing-masing fenomena di atas secara baik dan benar atas dasar kajian ilmiah yang andal, profesional, dan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya. Atas dasar itulah, buku ini dibuat dengan tujuan utama ingin memberi gambaran betapa pentingnya pengembangan model interkoneksi berbagai fenomena iklim yang ada di atmosfer Indonesia, khususnya di saat fenomena monsun dan *El-Niño* terjadi secara simultan, baik pada saat keduanya saling menguatkan (berfase sama), yakni saat keduanya berfase positif (diindikasikan dengan musim kering panjang) dan juga saat keduanya berfase negatif (diindikasikan dengan musim hujan panjang), seperti yang terjadi di tahun 1997 dan 1998, maupun ketika saling melemahkan (berfase beda).

Hubungan monsun dengan fenomena meteorologi lain, seperti MJO tidak bisa dipisahkan satu dengan lainnya. Dengan kata lain, monsun terjadi akibat ada faktor lain yang memicunya, seperti MJO. Begitupun dengan kondisi astronomis yang beresilasi sempurna sekitar 11 tahunan. Jika ini dikaitkan dengan isu perubahan iklim, Monsun ikut berperan memicu terjadinya perubahan iklim. Caranya sederhana, yakni dengan mengubah pola sinusoidal monsun dari kondisi normal menjadi abnormal.

Monsun juga dikenal sebagai osilasi dominan di kawasan Indonesia. Namun, perlu diingat bahwa jika hanya faktor monsun

semata, tidak banyak informasi kondisi cuaca/iklim ekstrem, khususnya curah hujan, yang didapat. Harus ada faktor lain sebagai peredam atau justru sebagai pembangkit utama menurun atau meningkatnya aktivitas monsun di kawasan Indonesia. Lazimnya monsun Asia diredam oleh kekuatan Monsun Australia.

Walaupun masalah ini telah dibahas di bab sebelumnya, hal ini masih perlu terus dikembangkan mengingat tidak hanya *El-Niño* saja yang berperan, tetapi ada fenomena lain, yakni *Dipole Mode* yang relatif dekat lokasinya dengan kawasan. Kajian ini pernah dilakukan oleh Sari (2012) dengan analisis mengenai perilaku curah hujan di beberapa kawasan di Indonesia pada saat fenomena monsun dan *Dipole Mode* saling berinteraksi.

Analisis dilakukan dengan teknik spektral pada data curah hujan bulanan yang diturunkan dari data satelit TRMM di atas Lampung, Pontianak, Indramayu, dan Banjarbaru untuk periode Januari 1998–Agustus 2010 dan juga data indeks monsun global yang masing-masing diwakili *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI), *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI), dan *Australian Monsoon Index* (ISMI) pada periode yang sama. Kemudian, diperoleh satu osilasi dominan untuk data indeks monsun global dan *Dipole Mode*, yakni 12 dan 38 bulanan.

Hasil analisis lebih lanjut menggunakan teknik regresi ganda menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara anomali curah hujan dan data AUSMI. Oleh karena itu, AUSMI dan *Dipole mode* dapat digunakan untuk menganalisis variabilitas curah hujan di masing-masing kawasan yang ditinjau. Hasil rincinya dapat dilihat sebagai berikut: Y_t (Lampung) = $0.153X_t + 0.066X_{t-1} + 0.021X_{t-2} + 0.79901$, Y_t (Pontianak) = $0.053X_{t-1} + 0.011X_{t-2} - 0.076X_{t-3} + 1.33557$; Y_t (Banjarbaru) = $0.108X_t + 0.098X_{t-1} - 0.006X_{t-2} + 1.10343$, dan Y_t (Indramayu) = $0.162X_t + 0.122X_{t-1} - 0.004X_{t-2} + 0.94325$, di mana

Y_t merupakan model curah hujan estimasi dan X menyatakan indeks AUSMI yang dikawinsilangkan dengan data *Dipole Mode*.

Sementara itu, melalui analisis berbasis teknik atau metode Box-Jenkins berdasarkan *Auto-Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA), model prediksi anomali curah hujan untuk Lampung adalah ARMA(2,2)₄ dengan persamaan $Z_t = -0,0245Z_{t-12} - 0,9711Z_{t-24} + a_t - 0,0013a_{t-12} + 0,8560a_{t-24}$. Model prediksi untuk Pontianak adalah ARMA (2,2)₁₂ dengan $Z_t = 0.0319Z_{t-12} + 0.96171Z_{t-24} + a_t + 0.0388a_{t-12} + 0.8428a_{t-24}$, Banjar baru adalah ARMA (1,1)₁₂ dengan $Z_t = 0.9967Z_{t-12} + a_t + 0.8967a_{t-12}$, dan Indramayu adalah ARMA (1,1)₁₂ with $Z_t = -1,0037Z_{t-12} + a_t + 0,9363a_{t-12}$. Berdasarkan dari nilai koefisien korelasi, Lampung dan Indramayu memiliki model prediksi curah hujan yang baik.

Model multivariat hasil analisis korelasi silang antara fenomena Monsun dan *El-Niño* nantinya akan diterapkan pada satu kawasan sentra produksi tanaman pangan, khususnya kawasan Sukamandi, Kabupaten Subang, Jawa Barat. Kawasan tersebut dikembangkan sebagai satu proyek percobaan di masa mendatang, mengingat model yang dihasilkan masih terfokus pada fenomena normal saja belum dicoba ke kondisi kering/hujan panjang seperti tahun 1997/98 pada saat kawasan tersebut diterjang *El-Niño* dan *La-Niña* yang berkepanjangan. Dengan kata lain, model *multivariate* di atas masih perlu dikembangkan lebih lanjut. Hal ini merupakan tantangan sekaligus peluang besar bagi Indonesia, khususnya LAPAN untuk terus mengembangkan model prediksi yang tepat, cepat, dan akurat tentu saja dengan resolusi yang lebih tinggi agar bisa diaplikasikan untuk kawasan yang lebih kecil, seperti program *food and rice estate* yang ada di beberapa kawasan di Provinsi Kalimantan Timur, khususnya di Kabupaten Bulungan, Berau, dan Kutai Kartanegara sebagai implementasi Masterplan Percepatan, dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI).

D. Monitoring, Prediksi, dan Proyeksi Penyusunan IMI di Masa Mendatang

Pengembangan IMI menjadi hal yang sangat penting di masa mendatang karena pada saat ini pemerintah dihadapkan pada satu kebutuhan nasional tentang pentingnya pemantauan indikasi awal (*precursor*) datangnya satu kondisi curah hujan dan kejadian cuaca ekstrem lainnya. Diperlukan upaya nyata dalam rangka ikut menyelamatkan kawasan sentra produksi tanaman pangan yang tersebar di sebelas provinsi di Indonesia, yakni Provinsi Sumatra Utara, Lampung, Sumatra Selatan, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Selatan, dan Sulawesi Selatan. Hasil analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa Provinsi Sumatra Utara dan Sumatra Barat ternyata memiliki pola curah hujan musonial yang tidak jelas/tidak tegas. Ini merupakan indikasi kuat bahwa kawasan ini tampaknya mengalami “hujan” sepanjang tahun.

Tantangan penelitian ke depan adalah mencari faktor apa saja yang bekerja/berpengaruh terhadap monsun? Dinamika samudra dengan benua maritim? Fisiografi pulau dengan pegunungan dan gunung (orografi)? Kutub antara Samudra Hindia dan Laut China Selatan yang dipisahkan Sumatra? Satu demi satu unsur tersebut akan dianalisis dengan data meteo relatif lama, dikaitkan dengan beberapa gejala lain dengan data dari ketinggian. Jaringan rapat stasiun meteo dari Sumatra hingga Jawa dapat dimanfaatkan untuk mengetahui peran unsur fisiografi. Yang perlu diperhatikan adalah bagaimana memperoleh data meteo, khususnya saat hujan dari kawasan perairan. Stasiun di pulau kecil perlu diperbanyak selain data dari hasil pendekatan data satelit.

Dengan perkataan lain, kawasan ini relatif aman terhadap dampak bahaya kekeringan berkepanjangan. Sementara itu, Provinsi

Sumatra Selatan dan Lampung, sepertinya memiliki pola monsun yang hampir relatif sama, yakni sama-sama berpola *Annual Oscillation* (AO).

Sementara itu, beberapa provinsi mulai dari Provinsi Banten hingga Jawa Timur menunjukkan pola keteraturan yang tegas/jelas, terlihat semakin ke arah timur lamanya musim kering terlihat dengan jelas, terutama di Provinsi Jawa Timur. Kondisi kering panjang juga terlihat dengan nyata di Provinsi lainnya, terutama di NTB, Sulawesi Selatan, dan Kalimantan Selatan. Kawasan ini tampaknya sensitif terhadap dampak kemarau panjang di Indonesia. Selama ini analisis belum diperkuat oleh fisiografi kepulauan, apalagi dengan data meteo resolusi terbatas (pendek dan kerapatan stasiun yang rendah) sehingga sulit membuat peta unsur meteo (hujan, angin, suhu dll.) dengan memuaskan. Belum lagi peran perubahan lahan (*heat island*) yang masih kurang diperhitungkan. Analisis selama ini masih berskala meso padahal yang diperlukan adalah lokal dan spesifik. Perlu dikembangkan peta curah hujan dengan *krigging* data dari beberapa stasiun meteo di kawasan terbatas.

Perlu diberi catatan bahwa model multivariat hasil analisis korelasi silang antara indeks monsun Asia-Australia dan data observasi langsung, baik data anomali curah hujan maupun data anomali arah dan kecepatan angin di lapisan 850 dan 200 hPa perlu dikaji kembali walaupun diperoleh koefisien korelasi sekitar 0,8. Ini penting dilakukan agar Indeks Monsun Indonesia (IMI) yang diperoleh dapat diterapkan secara spasial, selain telah mempertimbangkan aspek lokal. Kajian yang relatif sesuai dengan tema ini adalah pemanfaatan data penginderaan jauh (satelit) untuk masalah dinamika monsun di Indonesia. Fokus utamanya adalah diperolehnya peta spasial penyebaran terjadinya awal musim kering/kemarau di Indonesia. Hasil yang diharapkan adalah diperolehnya peta atau klasifikasi tipe atau pola curah hujan monsun, ekuatorial, dan lokal di Indonesia.

Karena masalah monsun terkait erat dengan adanya perubahan iklim global, selanjutnya ditunjukkan pula hasil analisis perilaku anomali curah hujan secara klimatologis (lebih dari 30 tahun) di beberapa kota yang ada di Pulau Jawa. Sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Intergovernmental Panel on Climate Change Assessment Report (IPCC) AR4 tahun 2007 dan juga AR5 tahun 2013, diperoleh hasil bahwa hampir seluruh kota di Pulau Jawa, seperti Cilacap, Yogyakarta, dan Surabaya, proyeksi panjang musim hujan (PMH) diduga semakin menurun (berkurang), sedangkan panjang musim kemarau (PMK), justru semakin meningkat (bertambah).

Ini berarti pada masa mendatang diperkirakan curah hujan yang terjadi di beberapa kawasan Pulau Jawa semakin berkurang, sedangkan musim kemarau bertambah panjang. Hal ini sesuai dengan makalah yang ditulis Naylor dkk.(2007) dan kemudian dipertegas oleh Boer (2012) tentang perubahan atau pergeseran pola curah hujan di Pulau Jawa dan Pulau Bali. Sehubungan dengan hal itu, diduga terjadi pula curah hujan ekstrem, yakni curah hujan dengan nilai akumulasi setiap bulannya lebih besar dari 400 mm, sesuai dengan definisi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2009).

Hasil analisis menunjukkan bahwa kecenderungan terjadinya curah hujan ekstrem dengan tingkat intensitas di atas 400 mm/bulan di beberapa kawasan yang ada di Pulau Jawa terlihat jelas ketika dilakukan analisis per 30 tahunan dibandingkan bila analisis dilakukan per 10 atau 20 tahunan. Terjadi kecenderungan menurun dalam hal intensitas ataupun frekuensi terjadinya curah hujan ekstrem, terutama kawasan-kawasan yang letaknya di selatan Pulau Jawa, seperti Yogyakarta, Ciamis, Banyuwangi, dan Malang. Hal ini berbeda jika dibandingkan kawasan-kawasan yang letaknya di pantai utara (Pantura) Pulau Jawa, khususnya Surabaya yang sejak 1990 hingga 2002 (hanya dalam kurun waktu 12 tahun) terjadi kenaikan frekuensi

(kejadian) curah hujan ekstrem dari empat kali (1953–1960) dan 13 kali (1961–1990) menjadi 40 kali. Suatu angka yang luar biasa.

Hal serupa juga terjadi di Jakarta yang sejak 1995–2008 (sekitar 13 tahun pengamatan) terutama di saat musim hujan, terjadi kenaikan curah hujan yang semula sekitar 600 mm/bulan di bulan Februari 1996 menjadi 1.100 mm/bulan pada bulan Februari 2008. Inilah sebenarnya yang digambarkan oleh Naylor dkk. (2007) bahwa terjadi kenaikan intensitas dan frekuensi curah hujan ekstrem dalam waktu yang relatif singkat.

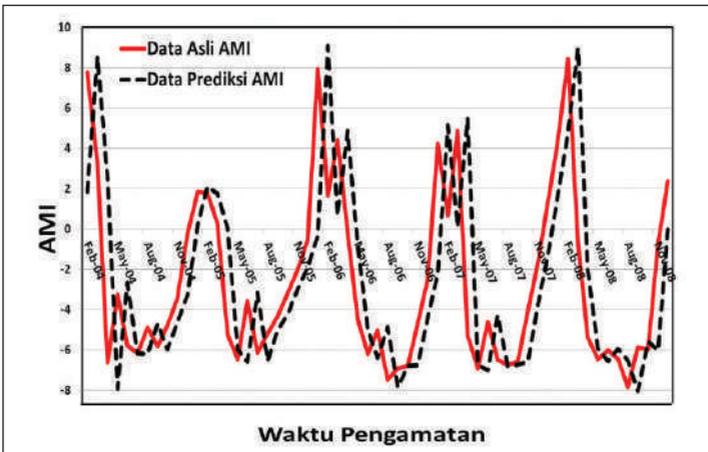
Sementara itu, dari analisis data satelit TRMM selama kurang lebih 15 tahun pengamatan diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan intensitas curah hujan secara perlahan (gradual), baik dari arah timur–barat ataupun utara–selatan dan mencapai nilai tertinggi di sekitar kota Purbalingga, Jawa Tengah.

Kajian ini masih belum sempurna mengingat banyak hal baru yang mesti dilakukan, di antaranya adalah melihat kembali definisi curah hujan ekstrem, apakah sudah benar bila ≥ 400 mm/bulan, sebab fakta yang ada sewaktu kejadian banjir “besar” di Jakarta dan sekitarnya tahun 1996, 2002, dan 2007, terakhir di 2013 menunjukkan nilai di atas 600 mm/bulan.

Jika pada tahun 2013 lokasi utama yang menjadi perhatian adalah Pulau Jawa, langkah selanjutnya hal serupa dilakukan untuk kota-kota lainnya yang ada di Pulau Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan khusus Pulau Bali untuk membuktikan bahwa terjadinya perubahan atau pergeseran pola curah hujan di Pulau Jawa adalah sama dengan Pulau Bali, tetapi berbeda dengan Pulau Sumatra, Kalimantan, ataupun Sulawesi. Sementara itu, dari metode analisis, perlu dilakukan perbandingan dengan metode lain, seperti metode *space-time analysis* yang memiliki kelebihan menganalisis periode ruang (lokasi pengamatan) dan waktu secara bersamaan, tidak seperti metode persentil ataupun quintil yang menganalisis tidak bersamaan.

Fenomena ekstrem tahun 1982/83 dan 1997/98 terkait dengan pengaruh indeks iklim global pun perlu dikaji lebih lanjut, terutama masalah interkoneksi yang terjadi didalamnya. Paling tidak, nantinya dapat dikembangkan satu model prediksi IMI yang telah terkoreksi dengan baik dan benar sehingga fenomena yang bersiklus sekitar lima tahunan di atas dapat diprediksi dengan baik dan benar, tepat waktu dan tepat sasaran.

Terkait dengan masalah monitoring, prediksi, dan proyeksi penyusunan IMI pada masa mendatang, hasil analisis yang dilakukan Surbakti (2010) ketika menganalisis pengembangan model prediksi Monsun Indonesia berbasis hasil analisis data iklim global sebagaimana tampak pada Gambar 54. Hasil validasi nilai AMI dengan nilai prediksi untuk periode Februari 2004 hingga Desember 2008 menunjukkan nilai prediksi dengan model ARIMA (1,1,1) mengikuti pola AMI data asli dengan rata-rata galat yang diperoleh 2,3906 dengan korelasi sebesar 0,7139 (Surbakti, 2010).



Sumber: Surbakti, 2010

Gambar 54. Plot Data Asli AMI dengan Hasil Prediksi ARIMA (1,1,1) Periode Februari 2004 hingga Desember 2008

E. Kemungkinan Simulasi IMI Berbasis Hasil Running Model Atmosfer Indonesia

Hal terpenting lain yang perlu dipikirkan ke depan adalah perlunya membuat simulasi IMI untuk keperluan masa mendatang atau dengan kata lain proyeksi terjadinya anomali monsun. Hal ini dimungkinkan mengingat saat ini Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) LAPAN Bandung sedang berupaya keras untuk terus mengembangkan kemampuan model atmosfer berbasis *Global Circulation Model* (GCM) dan *Division of Atmosphere Research Limited Area Model* (DARLAM) yang dikembangkan hasil kerja sama antara LAPAN dan Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Australia.

Ini menjadi satu tantangan baru ilmuwan muda Indonesia, khususnya PSTA LAPAN Bandung untuk menemukan hal-hal baru yang terjadi akibat saling berinteraksinya fenomena atmosfer yang satu dengan lainnya di BMI, termasuk ketika monsun terganggu dari osilasi normalnya. Satu hal yang perlu diperhatikan terkait dengan simulasi IMI adalah diperlukan satu kegiatan riset yang utuh, runut, dan terpadu tentang karakteristik dan mekanisme terjadinya monsun di BMI mengingat tidak semua kawasan memiliki respons yang sama terhadap anomali monsun. Hal ini dapat dimengerti mengingat Indonesia memiliki tiga pola curah hujan yang berbeda, yakni monsun, ekuatorial, dan antimonsunal (lokal) sebagaimana telah dijelaskan rinci oleh Aldrian & Susanto (2003).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI KEBIJAKAN

A. Kesimpulan

Adanya satu kebutuhan nasional tentang pentingnya pemahaman, pengertian, dan pendalaman kajian Indeks Monsun Asia-Australia (IMAA) terkait dengan semakin banyaknya bencana (bahaya) atmosfer (dikenal dengan istilah *hydrometeorological hazards*), yakni musim kemarau dan hujan berkepanjangan hingga mencapai lebih dari enam bulan. Hal ini dapat terjadi mengingat Indonesia diapit oleh dua benua besar, yakni Benua Asia dan Australia dengan monsun merupakan faktor yang paling dominan memengaruhi dinamika atmosfer yang terjadi. Pemahaman yang baik dan benar tentang konsep dasar IMAA dan aplikasinya di Indonesia untuk keperluan prediksi monsun di masa mendatang mutlak diperlukan.

Oleh karena itu, perlu adanya suatu pendalaman, pengkajian, dan pemahaman yang utuh, runut, dan terpadu tentang pentingnya kawasan Indonesia yang dikenal sebagai Benua Maritim Indonesia (BMI) sebagai satu-satunya kawasan dengan 2/3 bagiannya didominasi oleh laut dan sisanya daratan. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik dan mekanisme terjadinya Monsun Asia-Australia, khususnya

dampak yang ditimbulkan terhadap perilaku tiga pola curah hujan yang terjadi di BMI penting untuk terus dikaji dan diteliti.

Perkembangan riset IMAA dan aplikasinya terhadap penyusunan Indeks Monsun Indonesia (IMI) belum optimal. Belum mempertimbangkan aspek luas dan keragaman wilayah, masih bersifat lokal dan masih menggunakan data EAR dan WPR di dua lapisan atmosfer utama, masing-masing 200 dan 850 hPa atau setara dengan 11,7 dan 1,5 km di atas permukaan laut (dpl). Selain itu, riset juga hanya menggunakan data curah hujan permukaan yang bersifat lokal dari beberapa kota besar di Pulau Jawa saja, seperti Yogyakarta dan Malang. Interkoneksi atau telekoneksi atau interaksi yang terjadi antara monsun dengan fenomena lain, seperti MJO dan *El-Niño* perlu mendapat kajian yang lebih mendalam.

Di sisi lain, perlu dipikirkan adanya pengembangan IMI berbasis model dinamik yang mampu memprediksi skala yang lebih kecil (seperti skala *grid* 5 km²) sehingga ke depan dapat diterapkan pada satu kawasan yang lebih spesifik seperti kawasan sentra *Food and Rice Estate* yang ada di Provinsi Kalimantan Timur. Selain itu, diharapkan dapat pula digunakan untuk kawasan lumbung padi nasional lainnya, seperti di Indramayu, Subang, Jawa Barat. Untuk kemaritiman juga penting dilakukan terkait dengan pemetaan tinggi gelombang laut.

B. Implikasi Kebijakan

Perlu dibangun *expert system* (sistem kepakaran) yang terstruktur dengan baik. Dengan sistem ini diharapkan ada satu kondisi awal (*initial condition*) semacam *precursor* bakal terjadinya kondisi curah hujan ekstrem di Indonesia, seperti pembangunan DSS dan *expert system*.

Selain itu, perlu dibangun satu *database* (pusat data) dan juga *monitoring* secara kontinu. Perkembangan nilai indeks ISMI, WNPMI,

dan AUSMI secara *online*, khususnya parameter AUSMI yang memang memiliki nilai korelasi yang relatif paling baik (di atas 0,7) terhadap anomali curah hujan di beberapa kawasan Indonesia, khususnya kawasan Indonesia barat (Kajikawa & Wang, 2014f). Satu hal yang perlu dipahami bahwa selama nilai AUSMI di atas nilai klimatologisnya, pada saat yang bersamaan (simultan) kawasan barat Indonesia umumnya mengalami musim hujan atau relatif hujan akibat banyaknya curah hujan yang turun.

Oleh karena itu, perlu dibangun satu sistem yang komprehensif tentang koherensi (kepautan/keeratan/hubungan) spasial dan juga prediksi monsun di Indonesia agar diperoleh akurasi yang lebih tepat sebagai tindak lanjut dari makalah yang ditulis oleh Moron dkk. (2008) tentang “Spatial Coherence and Seasonal Predictability of Monsoon onset over Indonesia” yang terbit di *Journal of Climate*, Vol. 21, hlm.1–11.

Dengan demikian, diperlukan suatu kajian terkait dengan proyeksi perubahan atau pergeseran pola curah hujan musunal yang terjadi di Indonesia, khususnya di Pulau Jawa dan Bali terkait dengan dampak perubahan iklim, yakni kecenderungan terjadinya musim kemarau (MK) yang semakin panjang, sedangkan musim hujan (MH) yang relatif menjadi lebih pendek. Ini semua proyeksi pengembangan IMI di masa mendatang, yakni adanya interkoneksi/telekoneksi/interaksi yang terjadi antara monsun dan berbagai fenomena iklim global/regional/loka sehingga perlu penanganan yang lebih serius dan terarah dengan baik.

Selain itu, pengembangan model atmosfer yang saat ini sedang giat-giatnya dilakukan oleh Bidang Pemodelan Atmosfer (BPA) Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA) Lapan Bandung perlu diperhatikan adanya satu kajian tentang simulasi Monsun Asia Australia berbasis hasil running model GCM atau DARLAM seperti yang dilakukan oleh Abe dkk. (2003). Oleh karena itu, perlu dibangun

suatu sistem peringatan dini (*early warning system*) tentang dinamika monsun terkini seperti yang dilakukan Japan Meteorological Agency (JMA)/Tokyo Climate Center dan Indian Institute of Tropical Meteorology yang secara terus menerus memantau *Asian Monsoon Monitoring* dan *Monsoon Online* (Kajikawa & Wang, 2014a).

Keikutsertaan Lapan dalam kerja sama internasional di bidang kajian Monsun perlu diperhatikan, misalnya dalam kegiatan *Monsoon Onset Monitoring and its Social & Ecosystem Impacts* (MOMSEI) dan *Monsoon Asia Integrated Regional Study* (MAIRS). Hal ini penting dilakukan agar diperoleh informasi terbaru terkait aktivitas monsun dan juga aplikasinya ke berbagai sektor. Jika memungkinkan, ada baiknya ikut aktif di berbagai kegiatan yang diselenggarakan oleh World Climate Research Programme (WCRP), terutama yang terkait dengan monsun.

DAFTAR ACUAN

- Abe, M., Kitoh, A., & Yasunari, T. (2003). An evolution of the asian summer monsoon associated with mountain uplift-simulation with the MRI atmosphere-ocean coupled GCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, 81, 909–933.
- Aldrian, E., & Susanto, R.D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol*, 23,1435–1452.
- Azteria, V. (2009). *Pemanfaatan data Equatorial Atmosphere Radar (EAR) dalam mengkaji terjadinya monsun di kawasan barat Indonesia*. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2009). *Prakiraan cuaca*. <http://www.meteo.bmkg.go.id/prakiraan/>diakses tanggal 24 Februari 2014.
- Berliana, S. (1995). *The spectrum analysis of meteorological elements in Indonesia*. (Master Thesis, Nagoya University).
- Bhalme, H.N. (1991). El-Niño Southern Oscillation (ENSO)—onset, growth and decay. *WMO/TD*, 496, 84–87.
- Boer, R. (2012). Menuju sistem pertanian yang climate smart (*climate resilience agriculture*). *CCROM SEAP-IPB*, 21 hlm.
- Chao, W.C. & Chen, B. (2001). The origin of monsoons. *J. Atmos. Sci*, 58, 3497–3507.

- Darwis, S., Pasaribu, Pasaribu, Nurani, B., & Hermawan, E. (2002). Forecasting El-Niño based on space-time models. *Prosiding Temu Ilmiah Prediksi Cuaca dan Iklim Nasional*, ISBN 979-8554-65-5.
- Gadgil. (2007). Monsoon variability: Links to major oscillations over the equatorial pacific and indian oceans. *Current Science*, 93, 182–194.
- Gernowo, R. (2010). *Dinamika atmosfer pada curah hujan ekstrem dan penerapan teknologi modifikasi cuaca statis di daerah DKI Jakarta*. (Disertasi, Institut Teknologi Bandung)
- Goswami, B.N., Krishnamurthy, B., & Annamalai, H. (1999). Broad-scale circulation index for interannual variability of the Indian summer monsoon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125, 611–633.
- Harijono, S.W.B. (2008). Analisis dinamika atmosfer di bagian utara ekuator Sumatra pada saat peristiwa *El-Niño* dan *dipole mode positif* terjadi bersamaan. *Jurnal Sains Dirgantara (JSD)*, 5(2), 130–148.
- Hasan, M.I. (2003). *Pokok-pokok materi statistik 2 (Statistik iterensif)*. Edisi Kedua. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hermawan, E. (2003). Characteristics of indian ocean dipole as the preliminary study of monsoon variability in the western part of Indonesia region. *Jurnal Sains Dirgantara (JSD)*, 1(1), 23-31, ISSN: 1412-808X.
- Hermawan, E. & Komalaningsih, K. (2007). Karakteristik Indian ocean dipole di Samudera Hindia hubungannya dengan perilaku curah hujan di kawasan Sumatra Barat berbasis analisis mother wavelet. *Jurnal Sains Dirgantara (JSD)*, 5(2), 109–129.
- Hermawan, E. (2008). Intraseasonal variability of the South Asian monsoon observed with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR). *Proceedings of International Symposium on Equatorial Monsoon System*, ISBN: 978-979-15549-4-7, hlm. 102–112
- Hermawan, E. (2009). Detection of monsoon signal over Kototabang, Bukittinggi, West Sumatra based on the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) data analysis. *Proceedings of International Symposium on Equatorial Monsoon System*, ISBN: 978-979-15549-6-1 hlm.78–87.
- Hermawan, E. (2010a). Pengembangan model interaksi antara fenomena monsun, *dipole mode* dan ENSO dalam mengkaji perilaku curah hujan di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*, FMIPA UNY, Yogyakarta, ISBN: 978-979-99314-4-3, hlm. F63–F86.

- Hermawan, E. (2010). Analisis parameter monsun, ENSO dan *dipole mode*-dan MJO sebagai precursor iklim. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer 2010*, 16 Juni 2010, ISBN: 978-9779-1458-38-2, hlm. 1–10. Lapan: Pusfatsatklm
- Hermawan, E. (2010c). Analisis interkoneksi fenomena atmosfer di atas kawasan Indonesia terkait dengan proyeksi iklim di masa mendatang. *Prosiding Seminar Perubahan Iklim di Indonesia, Mitigasi dan Strategi Adaptasi dari Tinjauan Multi Displin* Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta, ISBN: 978-602-8683, hlm.67–84.
- Hermawan, E. (2010d). Investigasi datangnya awal monsun di kawasan barat Indonesia berbasis hasil analisis data EAR. *Jurnal Elektronika 2, 10*, ISSN: 1411-8289, hlm. 145–150, ter-Akreditasi LIPI No: 276/AU1/P2HPAI/05/2010.
- Hermawan, E., Visa, J., Trismidianto, Azteria, V., PSurbakti, P.Br., Sunarsih, I., & Kaparang, N.E. (2010e). Intraseasonal variability of the south Asian monsoon observed with the Equatorial Atmosphere Radar (EAR). *Proceedings of International Symposium on Equatorial Monsoon System*, ISBN: 978-979-15549-4-7, hlm.102–112.
- Hermawan, E. (2011a). Analisis perilaku curah hujan di pulau Jawa disaat fenomena *El-Niño* dan *dipole mode* terjadi secara bersamaan (*Simultant*). *Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*, FMIPA UNY, Yogyakarta, 14 Mei 2011.
- Hermawan, E., Visa, J., Noersomadi, Setyawati, W., & Gusnita, D. (2011b). Pengembangan model interkoneksi berbagai fenomena global sebagai indikasi awal (*precursor*) datangnya kejadian iklim ekstrem (khususnya curah hujan) di kawasan sentra produksi tanaman pangan. *Seminar Nasional Fisika 2011*, P2F LIPI, 12–13 Juli 2011.
- Hermawan, E., & Harjana, T. (2011c). Identifikasi datangnya awal musim kemarau di kawasan barat Indonesia berbasis hasil analisis data EAR. *Prosiding Seminar Nasional VIII Teknik Lingkungan ITS dan Seminar Nasional VII IATPI* dengan tema “Masalah dan Teknologi Lingkungan di Negara Tropis”, diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS, Surabaya dan Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Lingkungan Indonesia, ISSN: 2088-4818, hlm. 43–51.

- Hermawan, E., Yulihastin, E., & Risyanto. (2011d). Pengembangan indeks monsun Indonesia berbasis hasil analisis data Wind Profiler Radar (WPR). *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2011*, P2F LIPI, ISSN: 2088-4176, hlm. 487–494.
- Hermawan, E. (2011e). Estimasi datangnya musim kemarau/hujan di kawasan barat Indonesia berbasis hasil analisis data observasi radar dan satelit. *Prosiding Scientific Jurnal Club Tahun 2011*, diselenggarakan oleh BMKG, ISBN: 978-079-1241-36-6, hlm. 1–9.
- Hermawan, E. 2012(a). Penentuan datangnya musim kemarau/hujan di Provinsi Kalimantan Timur berbasis hasil analisis data satelit. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, ISBN: 978-979-99314-5-0, hlm. F-1–F-8.
- Hermawan, E. (2012b). Peran data indeks monsun global terhadap perencanaan pembangunan *food and rice estate* di Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional “Kebijakan dan Strategi dalam Pembangunan Infrastruktur Pengembangan Wilayah Berbasis Green Technology”*. Fakultas Teknik Unissula, Semarang, ISBN: 978-602-7525-08-5, hlm. 41–47.
- Hermawan, E. (2012c). Pengembangan model regresi multivariate terkait dengan terjadinya musim kering panjang di sentra pangan Provinsi Kalimantan Timur (studi kasus: Kutai Kartanegara dan Bulungan). *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Pasca Sarjana Universitas Diponegoro (Undip), Semarang.
- Hermawan, E. (2012d). Perilaku curah hujan kabupaten Kutai Kartanegara berbasis hasil analisis data indeks monsun global terkait dengan program *food and rice estate* di Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012*, ISSN: 2088-4818 hlm.433–441.
- Hermawan, E., & Witono, A. (2012e). Penerapan metode analisis komposit dalam menentukan terjadinya perbedaan musim kemarau/hujan di Kab. Kukar, Bulungan dan Berau Provinsi Kalimantan Timur secara simultan. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Sains Antariksa 2012*, ISBN: 978-979-1458-64-1, hlm. 84–91.
- Hermawan, E., Witono, A., & Lestari, A.W. (2012f). Estimasi datangnya kemarau panjang 2013/2014 di beberapa kawasan sentra produksi tanaman pangan Provinsi Kalimantan Timur berbasis teknik ARIMA. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Sains Antariksa 2012*, ISBN: 978-979-1458-64-1, hlm.92–100.

- Hermawan, E., & Edward, R. (2013). Interkoneksi monsun dan *El-Niño* terkait dengan curah hujan ekstrem. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer 2013*, ISBN: 978-979-1458-73-3, hlm.97–113.
- Hidayat, Resa. (2011). *5 negara dengan garis pantai terpanjang*. <http://uniknya.com/2011/10/5-negara-dengan-garis-pantai-terpanjang/5-negara-dengan-garis-pantai-terpanjang/> diakses pada tanggal 5 Maret 2014, pukul 08:43 WIB.
- Hung, C-W., Liu, X., & Yanai, M. (2004). Symmetry and asymmetry of the Asian and Australian summer monsoons. *J. Climate*, 17, 2413–2426.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, was held from 25 to 29 March 2014 in Yokohama, Japan. Diakses pada 20.09.2015 pukul 17:34 WIB dari <https://www.ipcc-wg2.gov/AR5/>
- JAMSTEC. (2013). *Using meteorological monitoring data to clarify the causes and mechanisms of torrential rainfall in Jakarta*. http://www.jamstec.go.jp/e/about/press_release/20130514/ diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 07:59 WIB.
- Jourdain, N.C., Gupta, A.S., Tashetto, A.S., Ummenhofer, C.C., Moise, A.F., & Ashok, K. (2013). The Indo-Australian monsoon and its relationship to ENSO and *dipole mode* in reanalysis data and the CMIP3/CMIP5 simulations. *Clim Dyn*, 41, 3073–3102.
- Kajikawa, Y., Wang, B., & Yang, J. (2010). A multi-time scale Australian monsoon index. *Int. J. Climatol* doi: 10.1002/joc.1955.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2010). *Monsoon monitoring page: realtime monsoon index*. <http://iprc.soest.hawaii.edu/users/ykaji/monsoon/realtime-monidx.html> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 10:31 WIB.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014a). *Monsoon monitoring page: monsoon index*. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/monsoon/index.html>. diakses pada tanggal 5 Maret 2014, pukul 15:56 WIB.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014b). *Indian summer monsoon index*. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/monsoon/def-smidx.gif> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 9:33 WIB.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014c). *Webster and Yang monsoon index*. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/monsoon/def-wyidx.gif> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 9:35 WIB.

- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014d). *Australian monsoon index*. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/monsoon/def-ausmidx.gif> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 09:37 WIB.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014e). *Monsoon monitoring page: seasonal monsoon index*. <http://www.iprc.soest.hawaii.edu/users/ykaji/monsoon/seasonal-monidx.html> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 09:59 WIB.
- Kajikawa, Y., & Wang, B. (2014f). *Monsoon monitoring page: realtime monsoon index*. <http://apdrc.soest.hawaii.edu/projects/monsoon/realtime-monidx.html> diakses tanggal 6 Maret 2014, pukul 11:00 WIB.
- Kaparang, N.E. (2010). Identifikasi sinyal monsun di Indonesia berbasis hasil analisis data radar dengan studi kasus Biak, Manado, Pontianak, Serpong, dan Kototabang. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Khrisnamurti, N.T. (1971). Tropical east-west circulations during the northern summer. *J. Atmos. Sci.*, 28, 1342–1347.
- Khrisnamurti, N.T. & Bhalme, N.H. (1976). Oscillations of monsoon system. *Observational Aspects*, 33, 1937–1953.
- Krisnanto, R. (2012). *Pengembangan model telekoneksi antara kejadian el-niño dengan dipole mode dan pengaruhnya terhadap fluktuasi curah hujan di daerah sentra produksi pangan (studi kasus: Sukamandi dan Padang Panjang)*. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Lestari, A.W. (2011). *Karakteristik sirkulasi udara di atas Indonesia secara analisis zonal (timur-barat) dan hubungannya dengan curah hujan D.I. Yogyakarta*. (Laporan Kegiatan Magang, Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta).
- Lestari, A.W. (2012). *Pengembangan model prediksi anomali curah hujan di sentra tanaman pangan Kalimantan Timur berbasis ARIMA*. (Skripsi, Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta).
- Madden, R.A., & Julian, P.R. (1971). Detection of a 40–50 day oscillation in zonal wind in tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.*, 28, 702–708.
- Madden, R.A., & Julian, P.R. (1972). Description of global-scale circulation cells in tropics with a 40–50 day per Dipole Mode. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1109–1123.

- Madani, N. (2012). *Pengembangan model prediksi Madden-Julian Oscillation (MJO) berbasis hasil analisis data Wind Profiler Radar (WPR)*. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Matthews, A.J. (2000). Propagation mechanisms for the Madden-Julian Oscillation. *Quart J. Roy. Meteor. Soc*, 126, 2637–2652.
- Moron, V., Robertson, A.W., & Boer, R. (2008). Spatial coherence and seasonal predictability of monsoon onset over Indonesia. *J. Climate*, 21, 1–11.
- Mulyana. (2004). *Analisis spektral untuk menelaah periodesitas tersembunyi dari data deret waktu*. Bandung: Statistika FMIPA Universitas Padjadjaran.
- Mustofa, M.A. (2000). Identifikasi daerah monsun dan curah hujan berdasarkan sifat angin permukaan di Indonesia bagian barat. (Tesis, Institut Teknologi Bandung).
- Naylor, R.L., Battisti, D.S., Vimont, D.J., Falcon, W.P., & Burke, M.B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(19), 7752–7757.
- Neale, R., & Slingo, J. (2003). The maritime continent and its role in the global climate: A GCM Study. *J. Clim*, 16, 834–848.
- NOAA. (2011). *Monthly atmospheric and SST indices: nino34*. <http://www.cpc.noaa.gov/data/indices/nino34.mth.ascii.txt> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 10:29 WIB.
- Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.). (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report* (p. 104). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC. Diakses pada 20.09.2015 pukul 17:32 WIB dari https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html
- Prawiwardoyo, S. (1996). *Meteorologi*. Bandung: ITB.
- Puspawardhany, M. (2005). *Pemanfaatan data BLR dan EAR dalam mengkaji fenomena MJO dan keterkaitannya dengan curah hujan di wilayah Kototabang dan sekitarnya*. (Skripsi, Program Studi Meteorologi Institut Teknologi Bandung).
- Ramage, C.S. (1968). Role of tropical “maritime continent” in the atmosphere circulation. *Mon. Wea. Rev*, 96, 365–370

- Ramage, C.S. (1971). *Monsoon Meteorology*, 1(7), 231–238. New York and London: Academic Press.
- RISH Kyoto University. (2014). *Boundary layer radar*. <http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/radar-group/blr> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 09:57 WIB.
- Sari, W.P. (2012). *Perilaku curah hujan di beberapa kawasan di Indonesia pada saat fenomena monsun dan dipole mode saling berinteraksi*. (Skripsi. Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Senitawati, E.A. (2011). *Studi curah hujan dan indeks monsun menggunakan teknik PSD dan Wavelet D.I. Yogyakarta*. (Laporan Kegiatan Magang, Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta).
- Senitawati, E.A. (2012). *Pengembangan model indeks monsun Indonesia (IMI) sebagai penentu awal musim hujan, kering dan transisi di kawasan barat Indonesia*. (Skripsi, Program Studi Fisika, Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta).
- Seoul National University. (2005). *Climate dynamic lab: monsoon index*. http://climate.snu.ac.kr/2005_new/res/monsoon/indeidx.gif diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 09:29 WIB.
- Sudiantoro, R. & Hermawan, E. (2013). Sains atmosfer, teknologi dan aplikasinya. Dalam *Buku I: Penyusunan indeks monsun Indonesia (IMI) berbasis hasil analisis data Wind Profiler Radar (WPR)*. ISBN: 978-979-1458-68-9, hlm.124–140.
- Sunarsih, I. (2008). *Analisis perilaku curah hujan di Kototabang, Pontianak, dan Biak berbasis hasil analisis EAR dan WPR*. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).
- Supiah, R. (1992). The Australian summer monsoon: A review. *Progress in Physical Geography*, 16, 283–312.
- Surbakti, P. Br. (2010). *Pengembangan model prediksi monsun Indonesia berbasis hasil analisis data iklim global*. (Skripsi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor).

- Suryantoro, A. (2010). Pengaruh monsun Asia Timur dan Tenggara terhadap variabilitas temporal curah hujan Denpasar, Mataram, dan Makasar. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 4(1), 1–16.
- Takayabu, Y.N. (1994). Large-scale cloud disturbances associated with equatorial waves. Part I: Spectral features of the cloud disturbances. *J. Meteor. Soc. Japan*, 72, 433–449.
- Tang, Y. (2009). *Wavelet theory approach to pattern recognition* 2nd. Ed. Singapore: Singapore World Scientific Publishing Co. Ltd.
- Tjasyono, B. (1996). The impact of El Nino on season in the Indonesian monsoon region. *Proc. of the International Workshop on the Climate System of Monsoon Asia, Kyoto, Japan*.
- Tjasyono, B. (2004). *Klimatologi umum*. Bandung. ITB.
- Tjasyono, B. (2008). *Sains atmosfer*, 243–276. Bandung: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- UCAR. (2015). *Climate data analysis tools and methods*. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis> diakses tanggal 23 Januari 2015, pukul 08:39 WIB.
- Wang, B., & Xu, X. (1997). Noorthern hemisphere summer monsoon singularities and climatological intraseasonal oscillation. *J. Climate*, 10, 1071–1085.
- Wang, B., & Fan, Z. (1999). Choice of south Asian summer monsoon indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 629–638.
- Wang, B., R. Wu, R., & Fu, X. (2000). Pacific-East Asia teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 13, 1517–1536.
- Wang, B., Wu, R., & Lau, K.M. (2001). Interannual variability of Asia summer monsoon: Contrast between the Indian and Western North Pacific-East Asian Monsoons. *J. Climate*, 14, 4073–4090.
- Wang, B., & Ho, L. (2002). Rainy season of the Asian-Pacific monsoon. *J. Climate*, 15, 386–398.
- Wang, B., & Zhang, Q. (2002). Pacific-East Asian teleconnections, part II: How the Philippine sea anticyclone established during development of El-Niño? *J. Climate*, 15, 3252–3265.
- Wang, B., Wu R., & Li, T. (2003a). Atmosphere-warm ocean interaction and its impact on Asian-Australian monsoon variation. *J. Climate*, 16, 1195–1211.

- Wang, B., Clemons, S.C., & Liu, P. (2003b). Constraining the Indian and East Asian monsoons: implications on geologic timescales. *Marine Geology*, *201*, 5–21.
- Wang, B., I-S Kang, & J-Y. Lee. (2004a). Ensemble simulations of Asian-Australian monsoon variability by 11 AGCMs. *J. Climate*, *17*, 803–818.
- Wang, B., Ho, L., Zhang, Y., & Lu, M.M. (2004b). Definition of South China sea monsoon onset and commencement of the East Asian summer monsoon. *J. Climate*, *17*, 699–710.
- Wang, B., & Ding, Q. (2006). Changes in global monsoon precipitation over the past 56 years. *Geophys. Res. Lett.*, *33*, L06711, doi: 10.1029/2005GL025347.
- Wang, B., & Ding, Q. (2008). The global monsoon: Major modes of annual variations in the tropics. *J. Dynamice, Dynamics of Atmos. and Ocean Special Issue 2*, doi: 10.1016/2007.05.002.
- Wang, B., Yang, J., & Zhou, T. (2008a). Interdecadal changes in the major modes of Asian-Australian monsoon variability: Strengthening relationship with ENSO since the Late 1970s. *J. Climate*, *21*, 1771–1789.
- Wang, B., Bao, Q., Hoskins, B., Wu, G., & Liu, Y. (2008b). Tibetan plateau warming and precipitation change in East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, *35*, L14702 doi: 10.1029/2008GL034330.
- Wang, B., Liu, J., Kim, H.J., Webster, P.J., & Yim, S.Y. (2012). Recent change of the global monsoon precipitation (1979–2008). *Clim Dyn*, *39*, 1123–1135.
- Weather Street. (2013). *Monsoon*. <http://www.weatherquestions.com/monsoon.gif> diakses pada tanggal 6 Maret 2014, pukul 09:16 WIB.
- Webster, P.J. (1987). The elementary monsoon. Dalam *Monsoons*, ed. Fein, J.S., & Stephens, P.L., 3–32. New York: Wiley.
- Webster, P.J., & Yang, S. (1992). Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc*, *118*, 877–926.
- Wheeler, M.C. & Mc Bride, J.L. (2005). *Australian-Indonesian monsoon in variability in the atmosphere-ocean climate*, 125–173. Springer Praxis Books.
- Wu, P., Hara, M., Fudeyasu, H., Yamanaka, M.D., Matsumoto, J., Syamsudin, F., Sulistyowati, R., Yusuf, R., & Djajadihardja, Y.S. (2007). The impact of trans-equatorial monsoon flow on the formation of repeated torrential rains over Java Island. *SOLA*, *3*, 93–96.

- Wu, R., & Wang, B. (2000). Interannual variability of summer monsoon onset over the Western North Pacific and the Underlying Processes. *J. Climate*, *13*, 2483–2501.
- Wu, R., & Wang, B. (2001). Multi-stage onset of summer monsoon over the western North Pacific. *Climate Dyn*, *17*, 277–289.
- Wu, R., & Wang, B. (2002). A contrast of the East Asian summer monsoon and ENSO relationship between 1962–1977 and 1978–1993. *J. Climate*, *15*, 3266–3279.
- Yu, R., Wang, B., & Zhou, T. (2004). Tropospheric cooling and weakening of East Asia Monsoon trend. *Geophys. Res. Lett.*, *31*, L22212, doi: 10.1029/2004GL021270.
- http://www.goes-r.gov/users/comet/tropical/textbook_2nd_edition/media/graphics/indian_seasonal_cycle.jpg
- <http://www.weather.gov.sg/wip/pp/rndops/web/ship/gif/wxchart.gif> diakses pada tanggal 25 Maret 2015, pukul 14:44 WIB.
- http://www.weather.gov.sg/wip/pp/ssops/mtsatsat/mtsatsat_latest.jpg diakses pada tanggal 25 Maret 2015, pukul 14:53 WIB.

GLOSARIUM

- AMI (*Australian Monsoon Index*) : Indeks Monsun Australia
- AO (*Annual Oscillation*) : Osilasi dominan sekitar 12 bulanan
- ARIMA (*Auto-Regressive Integrated Moving Average*) : Model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam pembuatan peramalan
- AUSMI (*Australian Monsoon Index*) : Indeks Monsun Australia
- BLR (*Boundary Layer Radar*) : Radar doopler L-Band. yang mempunyai daya 1 KW serta resolusi jarak 100 m dan waktu 1 menit.
- Cb : Kumpulan awan Cummulonimbus
- CCF (Cross Correlation Function) : Sebuah metode untuk menghitung kesamaan antara dua sinyal
- Climatology : Ilmu yang mempelajari tentang iklim jangka panjang
- CMIP (*Couple Model Intercomparison Project*) : Pemodelan iklim dan menyediakan protokol standar untuk mempelajari atmosfer-laut dan sirkulasi umum
- Cold Surge* : Serangan udara dingin dari BBU (dikenal sebagai Seruak Dingin)

- Composite Technique Aanalysis* : Teknik analisis komposit
- COP (Copenhagen Accord hasil The Conference of Parties)* : Pertemuan anggota UNFCC yang dilakukan setiap tahun
- Coriolies Force (gaya Coriolies)* : Gaya yang membelokkan arah arus yang berasal dari tenaga rotasi bumi sehingga angin seolah-olah dibelokkan ke arah kanan dari belahan bumi utara (BBU) dan dibelokkan ke kiri dari belahan bumi selatan (BBS).
- DARLAM (Division of Atmospheric Research Limited Area Model)* : Model prediksi iklim yang dibangun oleh CSIRO
- DARLAM (Division of Atmospheric Research Limited Area Model)* : Model prediksi iklim yang dibangun oleh CSIRO
- DKPN* : Dewan Ketahanan Pangan Nasional
- DSS (Decision Supporting System)* : Sistem pendukung keputusan
- EAR (Equatorial Atmosphere Radar)* : Radar atmosfer khatulistiwa untuk memantau dinamika atmosfer atas dan ionosfer
- Early Warning System* : Sistem peringatan dini
- ENSO (El-Niño and Southern Oscillation)* : Interaksi satu sistem global dari laut-atmosfer ditambah fluktuasi iklim yang terjadi sebagai akibat dari sirkulasi samudra dan atmosfer
- El-Niño* : Gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan laut di Samudra Pasifik di pantai barat Ekuador dan Peru yang lebih tinggi daripada rata-rata normalnya
- FFT (Fast Fourier Transform)* : Suatu algoritma untuk menghitung transformasi *fourier diskrit* dengan cepat dan efisien

GCM (<i>Global Circulation Model</i>)	: Model sirkulasi umum (global)
GEOSS (<i>Global Earth Observation System to System</i>)	: Sistem observasi global yang dibangun oleh GEO untuk mengontrol pengaruh manusia terhadap perubahan iklim dan lingkungan hidup
Glasier	: Es
<i>Global Wavelet Spectrum</i>	: Analisis spektrum yang ada pada analisis <i>wavelet</i> pada MATLAB
<i>Hadley Circulation</i> (Sirkulasi Hadley)	: Sirkulasi utara-selatan
HARIMAU (<i>Hyrometeorological ARray for ISV Monsoon AUto-monitoring</i>)	: Proyek riset yang mengoperasikan WPR
IMAA	: Indeks Monsun Asia-Australia
IMI	: Indeks Monsun Indonesia
IMC (<i>Indonesia Maritime Continent</i>)	: Benua Maritim Indonesia (BMI)
Intrusi	: Masuknya air laut ke daratan, dikenal dengan istilah “banjir rob”
INDOMI (<i>Indonesian Monsoon Indeks</i>)	: Indeks Monsun Indonesia (IMI)
DIPOLE MODE (<i>Indian Ocean Dipole</i>)	: <i>Dipole Mode</i> Hindia
IPCC (<i>Intergovenrmental Panel Climate Change</i>)	: Panel ilmiah yang terdiri dari para ilmuwan dari seluruh dunia
ISMI (<i>Indian Summer Monsoon Index</i>)	: Indeks monsun Asia
ISV (<i>Intra Seasonal Variability</i>)	: Keragaman intraseasonal
ITCZ (<i>Inter Tropical Convergenze Zone</i>)	: Zona atau daerah pertemuan angin yang membentuk awan penghasil hujan yang berada di sekitar wilayah itu sehingga hujan turun cukup deras secara berkesinambungan

- JAMSTEC (*Japan Marine Science and Technology*) : Badan Ilmu Kelautan dan Teknologi Jepang
- JMA (*Japan Meteorological Agency*) : Badan meteorologi Jepang
- La-Niña* : Gejala penyimpangan (anomali) pada suhu permukaan laut di Samudra Pasifik di pantai barat Ekuador dan Peru yang lebih rendah daripada rata-rata normalnya.
- MAIRS (*Monsoon Asia Integrated Regional Study*) : Organisasi penelitian internasional yang mempelajari sejauh mana masyarakat dapat beradaptasi dengan dampak iklim tertentu melalui pengaturan kebijakan, hukum dan lembaga-lembaga untuk mencapai pembangunan berkelanjutan.
- Mean Varians* : Rataan varian yang terdapat dalam analisis *wavelet*
- Meteorologi : Ilmu yang mempelajari tentang cuaca jangka pendek.
- MJO (*Madden-Julian Oscillation*) : Suatu osilasi submusiman yang terjadi di lapisan troposfer wilayah tropis akibat dari sirkulasi sell skala besar di ekuatorial yang bergerak dari barat ke timur, yaitu dari laut Hindia ke Pasifik Tengah dengan periode osilasi kurang lebih 30–60 hari.
- MOMSEI (*Monsoon Onset Monitoring and its Social & Ecosystem Impacts*) : Kerja sama regional antara China dengan negara-negara di Asia tenggara tentang rencana ke depan kegiatan litbang dan servis terkait monsun dan variabilitas iklim.
- MTSAT (*Multi-functional Transport Satellite*) : Serangkaian satelit cuaca dan kontrol penerbangan merupakan satelit geostasioner yang dimiliki dan dioperasikan oleh Departemen Pertanian Jepang, Infrastruktur, Transportasi

	dan Pariwisata dan Badan Meteorologi Jepang (JMA).
<i>Multiple Regression</i>	: Analisis regresi linier berganda
OLR (<i>Outgoing Longwave Radiation</i>)	: Radiasi gelombang panjang
PPAT	: Pias pumpun antartropik
PSD (<i>Power Spectral Density</i>)	: Analisis energi spektral
RISH (<i>Research Institute for Sustainability Humanosphere</i>)	: Balai Penelitian Keberlanjutan Humanosfer yang didirikan oleh Kyoto University.
RMI (<i>Regional Monsoon Index</i>)	: Indeks monsun regional
RMMI (<i>Real Multivariate MJO Index</i>)	: Indeks intensitas dan keberadaan MJO
SAO (<i>Semi Annual Oscillation</i>)	: Osilasi 6 bulanan
SCCs (<i>Super Cloud Clusters</i>)	: Kumpulan awan-awan tebal
<i>Sea Breeze Circulation</i>	: Fenomena angin laut
SST (<i>Sea Surface Temperature</i>)	: suhu permukaan laut (SPL)
<i>The East Asian Winter Monsoon</i>	: Monsun musim dingin Asia Timur
<i>The South Asian Summer Monsoon</i>	: Monsun musim panas Asia Selatan
<i>Thunderstorm</i>	: Badai guruh atau sistem konveksi skala meso
TRMM (<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>)	: Satelit meteorologi yang menyediakan data curah hujan
<i>Vortex</i>	: Kisaran atau pusaran angin
<i>Walker Circulation</i> (Sirkulasi Walker)	: Sirkulasi barat-timur
WCRP (<i>World Climate Research Programme</i>)	: Program riset iklim dunia untuk mengembangkan pemahaman ilmiah dasar sistem iklim dan proses fisik iklim yang diperlukan untuk menentukan sejauh apa iklim dapat diprediksi dan sejauh mana pengaruh manusia terhadap iklim.

- WMO (World Meteorological Organization) : Organisasi meteorologi dunia
- WNPMI (*Western North Pacific Monsoon Index*) : Indeks monsun barat laut Pasifik
- WPR (*Wind Profiling Radar*): : Radar profil angin
- WYMI (*Webster and Yang Monsoon Index*): : Indeks monsun yang terdapat di Asia, yang ditemukan oleh Webster dan Yang

INDEKS

A

Aldrian dan Susanto, 12, 32, 33, 45, 81, 92

AMI, 90, 91

AO, 11, 12, 16, 33, 34, 36, 37, 64, 71, 88

ARIMA, 82, 87, 91

ARMA, 87

AUSMI, 2, 3, 10, 24, 26, 30, 40, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 68, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 84, 87, 94

Azteria, 42, 43, 44, 45

B

BBS, 5, 7, 8, 22, 23, 24

BBU, 5, 7, 8, 21, 23, 24

Berliana, 18

BMI, 2, 4, 7, 12, 13, 15, 16, 45, 46, 54, 84, 91, 93

Boer, 89

C

Cb, 7, 40

CCE, 51, 52, 53, 69, 77, 78, 84

Chao and Chen, 17

climatology, 3

CMIP3, 4

CMIP5, 4

composite technique analysis, 63, 80

COP, 8

Coriolies Force, 16, 24

curah hujan, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16, 17, 18, 22, 23, 25, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 48, 55, 56, 57, 58,

59, 60, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 69,
70, 71, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82,
83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 92,
93, 94, 95

D

DARLAM, 91, 95

Darwis, 69

Ding, 4, 16, 17, 18, 19, 20

DKPN, 1, 9

DMI, 80

drainase, 85

drizzle, 5, 8

DSS, 9

E

EAR, 11, 39, 40, 41, 42, 45, 46,
62, 93

Edward, 4, 10, 17, 67, 69, 71,
72, 73, 74, 75, 76, 77, 79

ekuatorial, 32, 33, 81, 86

El-Niño, 2, 4, 10, 17, 47, 67, 68,
71, 77, 78, 80, 83, 84, 85,
86, 87

EMI, 80

ENSO, 4, 85

F

FFT, 33, 43, 68, 69

Food and Rice Estate, 1, 88, 94

forecasting, 59, 60

frontal, 31

G

GCM, 91, 95

GEOSS, 6, 10, 83

Gernowo, 5, 17, 86

glasier, 8

GRK, 8

H

Hadley Circulation, 10, 25

Harijono, 74, 85

HARIMAU, 41

Harjono, 3

Hermawan, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 17,
24, 33, 39, 40, 42, 44, 49,
50, 51, 52, 54, 55, 67, 69,
71, 72, 73, 74, 75, 76, 77,
79, 81, 82

Holton, 18

Hung dkk., 25

I

IMAA, 3, 10, 13, 15, 17, 39, 40,
80, 93

IMC, 12, 15, 84

IMI, 3, 10, 12, 13, 39, 40, 44, 45,
46, 47, 48, 53, 54, 62, 80,
81, 82, 88, 90, 91, 92, 93,
94, 95

INDOMI, 39

intrusi, 8

DIPOLE MODE, 2, 4, 68, 87

IPCC, 6, 10, 68, 83, 89

ISMI, 2, 3, 10, 24, 26, 28, 29, 40,
46, 47, 48, 49, 52, 53, 54,
55, 56, 60, 61, 63, 64, 68,
72, 74, 75, 76, 82, 83, 86, 94

ISV, 3, 41

ITCZ, 18, 21

J

JAMSTEC, 5

JMA, 95

K

Kaparang, 44, 45

katam, 1

Khomorov, 25, 26

Khrisnamurti, 16, 18

Krisnanto, 68

L

La-Niña, 75, 85, 87

LAPAN, 9, 11, 39, 41, 42, 45, 47,
87, 91, 95

LinHo, 18

lokal, 1, 12, 15, 25, 32, 33, 81, 82,
89, 92, 93, 95

M

MAIRS, 95

Mc Bride, 3, 16, 21

meteorology, 3

MJO, 4, 5, 40, 41, 42, 44, 80, 85,
93

MOMSEI, 95

Monsoon, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11,
12, 13, 15, 16, 17, 18, 19,
20, 21, 22, 23, 24, 25, 26,
28, 29, 30, 31, 33, 38, 39,
40, 41, 42, 43, 44, 45, 46,
47, 48, 49, 52, 53, 56, 57,
60, 61, 62, 63, 64, 67, 68,
71, 72, 74, 75, 77, 78, 80,
81, 82, 83, 84, 86, 87, 88,
89, 90, 91, 93, 94, 95

Moron et al., 4, 94

MTSAT, 7

multivariate regression, 56, 61,
63, 64, 82

Mulyana, 69

Mustofa, 25

N

Naylor dkk., 8, 89

O

OLR, 42

orografis, 31

P

PPAT, 21

Prawirowardoyo, 18, 19

PSD, 34, 43, 63, 70, 71

PSTA, 9, 11, 91, 95

R

Ramage, 12, 15, 17, 20, 21, 25, 84

reversal wind, 45

RISH, 41

RMI, 26

RMMI, 80

S

SAO, 33, 34, 35, 38, 72

Sari, 68, 86

SCCs, 7

siklonal, 31

sinusoidal, 16, 57, 66

SPL, 2, 85

SST, 2, 67, 68, 71, 72, 74, 75, 76,
78, 79, 85

Sudiantoro, 44, 49, 50, 51, 52, 54,
55

Sunarsih, 45

Suppiah, 22

Suryantoro, 25

T

Tang, 69

Tjasyono, 18, 19, 30, 31

TRMM, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 82,
83, 86, 90

V

vortex, 6

W

Walker Circulation, 10

Wang, 4, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 28

Wang dkk., 4, 17, 18, 22, 28

wavelet, 44, 49, 63, 69, 72, 73, 74

WCRP, 95

Wheeler, 3, 16, 19, 21

WMO, 12, 16, 80

WNPMI, 2, 3, 10, 24, 26, 28, 29,
40, 46, 47, 48, 49, 52, 53,
54, 55, 56, 60, 61, 63, 64,
68, 72, 73, 75, 76, 77, 79,
82, 83, 87, 94

WPR, 11, 40,
41, 42, 44,
45, 46, 47,
48, 49, 50,
51, 55, 81,
93

Wu dkk., 5, 17

WYMI, 26

Z

zenithal, 31

Zhang, 17

BIOGRAFI PENULIS



Eddy Hermawan lahir di Jakarta pada tanggal 28 Januari 1962. Putra kelima dari enam bersaudara. Terlahir dari pasangan Achmad Bakrie (alm.) dan R.A. Hj. Nyimas Loewijah (almh.). Menikah dengan Dra. Sinta Berliana Sipayung. M.Sc. Dikaruniai tiga anak, yaitu Muhammad Ichsan Hermawan, Irfan Berrizki Hermawan, dan Ikhwan

Muttaqien Hermawan. Ia menamatkan Sekolah Dasar di SD Bukit Duri Puteran Pagi I, Jakarta, lulus tahun 1975. Kemudian ia melanjutkan ke SMP Negeri 3 Jakarta, lulus tahun 1979, dan SMA Negeri 3 Jakarta, lulus tahun 1982.

Tingkat S1 diselesaikan di jurusan Agrometeorologi, IPB, tahun 1989. Selanjutnya, pada tahun 1996, ia menyelesaikan pendidikan Magister Sains (S2) ilmu kebumian di Universitas Kyoto, Jepang, dan memperoleh gelar Doktor Bidang Sains Atmosfer, di universitas yang sama tahun 1999. Beberapa pendidikan lanjutan yang diikutinya

antara lain *Satellite Meteorological (SATMET) Course* selama sembilan bulan periode 2000–2001 di Space Application Center Indian Space Research Organization (SAC-ISRO), India, *International School on Atmospheric Radar (ISAR)* tahun 2002 di Trieste, Italy, dan Mathematical Science of *Understanding and Predicting Regional Climate: A School and Workshop* tahun 2011 di National University, Singapore.

Karier dalam jabatan fungsional peneliti ditempuh dalam kurun waktu sekitar 11 tahun dimulai sebagai Asisten Peneliti Muda (TMT 01-05-1994), Asisten Peneliti Madya (TMT 01-11-2001), Ajun Peneliti Madya (TMT 01-09-2002), Peneliti Muda (IV/a) (TMT 01-04-2005), Peneliti Madya (IV/b) (TMT 01-07-2007), Peneliti Madya (IV/c) (TMT 01-09-2009), Peneliti Utama (IV/d) (TMT 01-08-2011), Peneliti Utama (IV/e) (TMT 01-11-2012). Pengangkatan sebagai Peneliti Utama Madya (IV/d) berdasarkan Keppres 17/M 2012 tertanggal 18 Januari 2012. Memperoleh jabatan Peneliti Utama Gol. IV/e bidang Meteorologi tahun 2012. Diangkat menjadi Profesor Riset Bidang Meteorologi pada tanggal 26 Desember 2012.

Lebih dari 128 karya ilmiah yang telah dihasilkan, di mana 40 di antaranya dalam bahasa Inggris, 74 karya ilmiah sebagai penulis tunggal, 41 sebagai penulis utama, dan 13 sebagai penulis bersama. Di samping sebagai peneliti, ia juga menjadi dosen pembimbing mahasiswa S1 dari berbagai perguruan tinggi, seperti IPB Bogor, ITB Bandung, Unpad Bandung, UNY Yogyakarta, dan Unan Padang.

Selain itu, ia aktif di berbagai kegiatan profesi ilmiah, di antaranya sebagai Ketua Perhimpunan Ahli Meteorologi Pertanian Indonesia (Perhimpi) 2009–2011, Cabang Jawa Barat; Anggota Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI), 2010–sekarang; Anggota Asosiasi Oseanografi Indonesia (ASOI) 2008–sekarang; Anggota Japan Meteorological Society (JMS) 1996–1999; Koordinator WBS 5 kegiatan *Science and Technology Research Partnership for Sustainable*

Development (Satreps), 2010–sekarang; Koordinator kegiatan *Coupling Processes Equatorial Atmosphere* (CPEA) 2005–2007; Anggota Committee on Space (COSPAR) (2003–2007); dan Anggota South-east Asia Composition, Cloud, Climate Coupling Regional Study (SEAC4RS) 2012–sekarang.

Penghargaan yang telah diperoleh selain Satyalancana Karya X dan XX Tahun (2000 dan 2010), sebagai peneliti terbaik LAPAN untuk jenjang Peneliti Madya (2007 dan 2008). Penghargaan *Best Paper* diperolehnya pada acara Seminar Nasional Kebijakan dan Strategi dalam Pembangunan Infrastruktur Pengembangan Wilayah Berbasis *Green Technology* dari Unissula, Semarang (2012). Ia juga beberapa kali menjadi *keynote speaker* antara lain pada acara Seminar Nasional HFI Wilayah Jawa Tengah-DIY 2010 di FMIPA Undip, Semarang. Terakhir adalah sebagai PU dari riset yang dibiayai oleh LAPAN dan Ristek sejak tahun 2002, khususnya kegiatan IPKPP Ristek periode 2010–2012.

Indeks Monsun

Asia-Australia dan Aplikasinya

Indonesia dikenal sebagai negara agraris, di mana pertanian menjadi sektor kunci perkembangan agroindustri. Perkembangan tersebut sangat tergantung pada produktivitas para petani sawah tadah hujan yang tersebar di sebagian besar wilayah Indonesia. Sebagian besar petani masih mengandalkan air hujan sebagai motor penggerak utama produksi. Sejak beberapa dekade terakhir terhitung mulai tahun 2010, perilaku iklim, khususnya curah hujan mulai menjadi tidak teratur. Hal ini mengakibatkan penurunan produktivitas di sektor pertanian. Salah satu penyebab terjadinya kondisi iklim semacam itu disebut dinamika monsun.

Buku *Indeks Monsun Asia-Australia dan Aplikasinya* mencoba memberikan jawaban atas fenomena iklim yang telah menghambat produktivitas pertanian Indonesia. Dibahas secara komprehensif mulai dari mekanisme terjadinya monsun, faktor-faktor yang memengaruhi dinamika monsun, hingga dampak anomali monsun yang terjadi. Sebagai tujuan utama, buku ini mencoba memformulasikan satu model prediksi dinamika iklim, khususnya curah hujan dan angin dalam satu bentuk indeks monsun yang sesuai dengan kondisi wilayah Indonesia.

Buku ini dapat dimanfaatkan oleh para pengambil kebijakan, praktisi, dan akademisi dalam memprediksi anomali curah hujan, khususnya yang terjadi di kawasan sentra produksi tanaman pangan yang tersebar di beberapa kawasan Indonesia.



**Lembaga Penerbangan
dan Antariksa Nasional (LAPAN)**

Jln. Pemuda Persil No. 1 Jakarta 13220
Telp.: (021) 4592802, Faks.: (021) 4892815
E-mail: humas@lapan.go.id

LIPI Press

ISBN 978-979-799-823-3

