

**PENGEMBANGAN MODEL TELEKONEKSI BERBASIS  
INDEKS MJO DAN MONSUN SERTA PENGARUHNYA  
TERHADAP PERILAKU HUJAN EKSTRIM DI INDONESIA**

**OLEH:**

**PUTRI WULANDARI**

**H221 14 014**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2018**



**PENGEMBANGAN MODEL TELEKONEKSI BERBASIS  
INDEKS MJO DAN MONSUN SERTA PENGARUHNYA  
TERHADAP PERILAKU HUJAN EKSTRIM DI INDONESIA**

Skripsi untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat  
untuk mencapai gelar sarjana



**PUTRI WULANDARI**

**H221 14 014**

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2018**



**PENGEMBANGAN MODEL TELEKONEKSI BERBASIS  
INDEKS MJO DAN MONSUN SERTA PENGARUHNYA  
TERHADAP PERILAKU HUJAN EKSTRIM DI INDONESIA**

Oleh:

**PUTRI WULANDARI**

**H221 14 014**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi salah satu syarat ujian  
Guna memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Pendidikan Sarjana, Program Studi Geofisika ini  
Telah disetujui oleh Tim Pembimbing pada tanggal  
Seperti tertera di bawah ini

**Makassar, 26 Desember 2018**

Disetujui oleh :

**Pembimbing Utama**



**Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc**  
**NIP. 19630315 198710 1 001**

**Pembimbing Pertama**



**Eddy Hermawan, M.Sc**  
**0620128 199003 1 003**

**Pembimbing Kedua**



**Dr. Paharuddin, M.Si**  
**NIP. 19640206 199103 1 002**



## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Wulandari  
NIM : H221 14 014  
Program Studi : Geofisika  
Judul TA : Pengembangan Model Telekoneksi berbasis Indeks MJO  
dan Monsun serta Pengaruhnya terhadap Perilaku Hujan  
Ekstrim di Indonesia

menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau lembaga pendidikan lainnya dimanapun, kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, dan dalam batas tertentu melalui arahan komisi pembimbing dan masukan tim penguji.

Makassar, 26 Desember 2018

Yang membuat pernyataan



**Putri Wulandari**



## ABSTRAK

Interaksi antar fenomena iklim yang terjadi secara simultan berdampak pada variabilitas curah hujan Indonesia. Penelitian ini mengarah pada pengembangan model telekoneksi ketika fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO) dan monsun saling menguatkan, kemudian melihat pengaruhnya terhadap perilaku hujan ekstrim di wilayah selatan khatulistiwa, yakni Makassar, Semarang dan Palembang. Data yang digunakan adalah indeks OLR 100BT, AUSMI, RMMI, dan curah hujan dalam skala pentad dari Desember 1999 – Maret 2018. Karakteristik tiap data ditinjau dari analisis spektral; *Power Spectral Density* dan *Wavelet*, sedangkan MJO direpresentasikan oleh data indeks OLR hasil bandpass filter dengan periode 30-90 harian. Penelitian ini berawal dari pembentukan indeks baru, hasil perpaduan antara OLR dan AUSMI yang mewakili telekoneksi. Model telekoneksi dikembangkan dengan metode deret waktu ARIMA, lalu diaplikasikan pada fluktuasi curah hujan di masing-masing wilayah. Prediksi curah hujan ekstrim 5 harian menggunakan model statistik; regresi berganda (MR), chaos, dan persisten. Adapun verifikasi skill model berdasar ukuran deterministik (korelasi Pearson, RMSE) dan probabilistik (*Peirce score*). Hasilnya menunjukkan bahwa model telekoneksi yang sesuai antara fenomena MJO dan monsun menggunakan ARIMA musiman  $(3,0,1)(1,1,0)^{73}$ . Berdasarkan hasil verifikasi kuantitatif, 42,2% anomali curah hujan Makassar saat musim basah dipengaruhi oleh model telekoneksi. Adapun wilayah Semarang dan Palembang masing – masing sebesar 51,6% dan 58,6%. Pengaruh model telekoneksi cenderung berkurang sepanjang bujur menuju wilayah timur Indonesia. Prediksi curah hujan ekstrim 5 harian menghasilkan nilai yang cukup baik untuk Makassar, namun *underestimate* di wilayah Semarang dan Palembang.

**Kata kunci:** ARIMA; hujan ekstrim; MJO; Monsun; Telekoneksi;



## ABSTRACT

Interactions between climate phenomena that occur simultaneously have an impact on the variability of Indonesian rainfall. This research leads to develop a teleconnection model while the Madden Julian Oscillation (MJO) and Monsoon phenomena reinforce each other, then comparing the response of extreme rainfall in the southern equatorial region, located at Makassar, Semarang, and Palembang. The data used were OLR index 100E, AUSMI, RMMI, and rainfall on 5-day periods from December 1999 to March 2018. The characteristics of data reviewed using spectral analysis; Power Spectral Density and Wavelet. Furthermore, the MJO phenomenon visualized by OLR index 100E resulted from a band-pass filter for 30-90 days period. This research begins with the form of a new index, as the combination of OLR and AUSMI that represents teleconnection. The teleconnection model developed with the ARIMA method then applied to rainfall fluctuations in each region. Prediction of 5-day extreme rainfall using a statistical model; multiple regression (MR), chaos, and persistence. Whereas the skill model asses by deterministic (Pearson correlation, RMSE) and probabilistic measures (Peirce score). The results show that the teleconnection model that appropriate between MJO and monsoon phenomena using seasonal ARIMA (3.0,1) (1,1,0)<sup>73</sup>. Based on the quantitative verification, 42,2% of Makassar rainfall anomalies in wet season influenced by teleconnection models. Meanwhile, Semarang and Palembang regions were 51,6% and 58,6%, respectively. Hence, the influence of teleconnection model tends to decrease by longitude toward eastern Indonesia. The prediction of 5-day extreme rainfall in Makassar obtain a good result, rather than in Semarang and Palembang.

**Keywords:** ARIMA; Extreme rainfall; MJO; Monsoon; Teleconnection



## PRAKATA



Segala puji bagi Allah SWT Rabb semesta alam, penggenggam kehidupan dan maha mengatur segala urusan. Pemilik kerajaan langit dan bumi, pencipta segala sesuatu dan menetapkan ukuran - ukurannya dengan tepat. Berkat rahmat dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan taslim senantiasa tercurah kepada tauladan sepanjang masa, Nabi akhir zaman Rasulullah Muhammad ﷺ. Sang revolusioner sejati, pembawa ummat manusia dari kegelapan menuju cahaya kemuliaan. Juga kepada keluarga, sahabat, dan para pengikut beliau yang senantiasa istiqomah menjalankan sunnahnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini berjudul “**Pengembangan Model Telekoneksi berbasis Indeks MJO dan Monsun serta Pengaruhnya terhadap Perilaku Hujan Ekstrim di Indonesia**” disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Untaian terima kasih tak terkira kepada kedua orangtua tercinta, ayahanda **Agil Akkas** dan Ibunda **Husaimah Samad** atas dukungan moriil, materiil, kasih sayang, pengorbanan dan do’a yang tak henti mengalir disetiap sujudnya. Skripsi ini penulis dedikasi dan persembahkan untuk keduanya.

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, motivasi dalam menyelesaikan studi. Rampungnya skripsi ini adalah sumbangsih dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.**, selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Paharuddin, M.Si.**, selaku pembimbing pertama di kampus yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memberi nasihat, motivasi dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Bapak **Prof. Dr. Eddy Hermawan, M.Sc.**, selaku pembimbing di PSTA AN Bandung yang telah menularkan semangat, motivasi dan bimbingan selama magang hingga penelitian tugas akhir selesai.



3. Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si**, Bapak **Dr. Muh. Alimuiddin Hamzah, M.Eng.**, dan Bapak **Dr. Samsu Arif, M.Si.**, selaku tim penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi.
4. Bapak **Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** selaku Ketua Program Studi Geofisika UNHAS, sekaligus dosen penasehat akademik penulis.
5. Bapak **Ir. Halimurrahman, MT.**, selaku kepala PSTA LAPAN Bandung yang telah mengizinkan penulis untuk magang dan penelitian tugas akhir di unit kerja Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer.
6. Bapak **Dr. Trismidianto, M.Si** dan Teh **Shailla Rustiana, S.Si., M.Stat** yang telah membagi pengetahuan mengenai pengolahan data satelit cuaca menggunakan software GrADS.
7. Seluruh **Dosen Program Studi Geofisika, Staf Fakultas, Jurusan, Laboratorium dan Perpustakaan FMIPA Unhas**, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diajarkan serta pelayanan yang telah diberikan.
8. Para **Peneliti dan Staf PSTA LAPAN Bandung** yang telah memberikan bantuan dan saran dalam teknik pengambilan data. Khususnya **Teh Azizah, Kak Zahra, Mbak Anis, Kak Eka, Kak Dita, Kak Amel, Kak Listi dan Teh Riris**. Terima kasih telah menjadi keluarga baru selama di Bandung.
9. Asisten Praktikum dan Kuliah Lapang Geofisika 2017
10. Teman Magang (**adik-adik Geofisika 2015**) dan Penelitian Tugas Akhir di LAPAN (**Novi Yoviyanti, S.Si dan Antonni Saputra, S.Si**).
11. Saudara-saudari seperguruan Fisika 2014 (**Agustina Yahya, Annamaintin K. Lebang, Arini Qurrata A'yun, Aristriany Eka Savitri, Arham, Asdar, Asri Aripin, Bayu Aditya Nugraha, Chairil Anwar, Dina Juni Puspita, Desi Natalia, Eunike Dwioknain, Ernianti Danbar, Hafazhahniah Ibrahim, Hardianti 11, Hardianti 13, Muh. Aswan, M. Arif Dian Ramadhan, Muh. Arkaan, Nur Afni Saharuddin, Nurdiana, Nursyafarinah, Nurul Mutmainnah Ramlan, Radha Hartina Putri, Ruwaidah Ilyas, Taufik Hamsiy, Uvi Damayanti, Yuniar P. Ismail, Zaky** (Arak) dan Geofisika 2014 (**Ainul Qalbi, Andi Armansyah, A.St. da, Alif'ka Cendani Putri, Mustakima, Musdalipa, Mutmainnah, miati, Krisdayanti, Rusnianti Nur, Rosdiana, Riska Awalia Lestari,**





**Ilapadila, Dewi Putriyani Rachmat, Wahyuni, Ariyadi, La Ode Armin, Ayushar Syarif, Muh. Sidiq Tolleng, Akram Ramadhan, Tedi Eka Saputra, Muh Alkadri Samaun, Octaviena Agnes Pasulle, Nur Hasanah Hamzah, Mutmainnah Miranti, Nur Annisa Mulyawati, Bella Pratiwi, Nuramila, Dewi Rahma Ahmadi, Ditha Hardiyanti, Arini Jannatul Nurani, Nur Fitriana, Nur Yaqien Jaya, Muh. Afrilyawan Madda, Muh. Reza Pahlevi, Iswar Edis Pratama, Aslam, Awal Purnama Putra, Indra Jaya Muhtar, Firman Budianto).**

12. Keluarga besar **KM FMIPA UNHAS** dan **Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA UNHAS** angkatan 2014.
13. Kanda dan teman pengurus **Mahasiswa Pemerhati Nobel Sains UNHAS**.
14. Teman sejawat **Science Community Locus FMIPA UNHAS**.
15. Ukhtifillah seperjuangan menuntut ilmu agama dalam halaqoh tarbiyah dan tahsin (**Ukhti Inna, Ukhti Nunu, Ukhti Ifa, Ukhti Risda, Ukhti Assyifa, Ukhti Qimaa, Ukhti Nanna, Ukhti Dewi dan Ukhti Diana**). Syukron Jazakumullahu Khairan tak henti-hentinya mengingatkan dan menasihati penulis dalam kebaikan.
16. Kanda dan akhwat **pengurus Mushollah Istiqomah FMIPA Unhas, kak Cahya, kak Dera, kak Aqra, kak Ayu, kak Nuhi, kak Selvina, kak Tisa, kak Fitri, kak Khansa, kak Kyki, kak Ana dan kak Dewi**.
17. Teman-teman **Bontorannu Crew KKN Tematik Infrastruktur dan Pemukiman Kota Makassar Gelombang 96, Kecamatan Mariso**.
18. Rekan seperjuangan tugas akhir meteorologi, **Fina, Arin, Nanna, Ifa, Dek Yuli, dan Dek Ari**.
19. Teristimewa untuk Ibu **Nur Hasanah S.Si., M.Si**, terima kasih telah berbagi kisah yang menginspirasi penulis. Teman pertama semasa maba Geofisika, **Ilapadila**, dan Almarhum **Mubalighulhaq**.

Serta kepada orang-orang luar biasa yang telah mengisi dan membuat hari-hari penulis menjadi lebih berwarna dalam 4 tahun terakhir. Terima kasih dan mohon maaf yang sebesar-besarnya bila ada nama yang terlewat. Hanya milik catatan yang lebih lengkap dan sebaik-baik pemberi balasan atas kebaikan.



Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Sehingga dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif guna perbaikan kekurangan yang ada. Walau demikian, penulis berharap agar skripsi ini sedikitnya dapat bermanfaat bagi siapapun yang membuka dan membacanya.

Makassar, 26 Desember 2018



## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I. 1 Latar Belakang .....	1
I. 2 Rumusan Masalah .....	5
I. 3 Ruang Lingkup .....	5
I. 4 Tujuan Penelitian.....	6
I. 5 Manfaat Penelitian.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
II. 1 Karakteristik Curah Hujan Indonesia.....	7
II. 2 <i>Madden Julian Oscillation</i> (MJO) .....	8
II. 3 <i>Real Time Multivariate MJO</i> .....	9
II. 4 <i>Outgoing Longwave Radiation</i> (OLR).....	11
II. 5 Indeks Monsun.....	11
II. 6 Analisis Deret Waktu ARIMA.....	14



II. 6. 1 Model <i>Autoregressive</i> (AR) .....	15
II. 6. 2 Model <i>Moving Average</i> (MA).....	15
II. 6. 3 Model <i>Autoregressive-Moving Average</i> (ARMA).....	16
II. 6. 4 Model <i>Autoregressive-Integrated-Moving Average</i> (ARIMA)...	16
II. 7 Fungsi Autokorelasi (ACF) dan Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF)	17
II. 8 Stasioneritas .....	17
II. 9 Analisis Spektral .....	18
II. 10 Koefisien Determinasi.....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
III. 1 Waktu dan Tempat.....	22
III. 2 Alat dan Bahan .....	22
III. 2. 1 Alat.....	22
III. 2. 2 Bahan .....	22
III. 3 Prosedur Penelitian .....	23
III. 3. 1 Tahap Persiapan Data .....	24
III. 3. 2 Tahap Pengolahan Data .....	24
III. 4 Teknik Analisis Data .....	27
III. 5 Diagram Alir.....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
IV. 1 Analisis Curah Hujan .....	39
IV. 1. 1 Karakteristik Curah Hujan Bulanan.....	39
IV. 1. 2 Analisis Spektral Curah Hujan Bulanan .....	41
IV. 1. 3 Boxplot Curah Hujan Bulanan.....	45
IV. 1. 4 Analisis Spektral Curah Hujan Pentad .....	47



IV. 1. 5 Komparasi Curah Hujan Observasi dan Satelit .....	48
IV. 1. 6 Koreksi Curah Hujan Pentad .....	49
IV. 2 Analisis Indeks OLR Pentad .....	50
IV. 2. 1 Hasil Analisis Spektral .....	50
IV. 2. 2 <i>Bandpass Filter</i> Indeks OLR Pentad .....	51
IV. 3 Karakteristik AUSMI Pentad .....	53
IV. 4 MJO Fase Aktif .....	53
IV. 4. 1 Amplitudo MJO .....	54
IV. 4. 2 Diagram Fase Penjalaran MJO .....	56
IV. 4. 3 Telekoneksi Indeks Pentad .....	58
IV. 4. 4 Ringkasan Aktivitas MJO, Monsun dan Telekoneksi .....	63
IV. 4. 5 Informasi Kejadian Banjir .....	64
IV. 5 Pengembangan Model dan Verifikasi .....	66
IV. 5. 1 Model Telekoneksi .....	66
IV. 5. 2 Aplikasi Model terhadap Anomali Curah Hujan Terkoreksi.....	72
IV. 5. 3 Hubungan Curah Hujan Ekstrim, Telekoneksi dan Banjir .....	80
IV. 5. 4 Uji Normalitas dan Korelasi Silang.....	83
IV. 5. 5 Model Prediksi Curah Hujan Ekstrim.....	88
IV. 5. 6 Verifikasi Skill Model Prediksi .....	101
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>107</b>
V. 1 Kesimpulan .....	107
V. 2 Saran .....	108

<b>R PUSTAKA .....</b>	<b>110</b>
------------------------	------------

<b>RAN.....</b>	<b>114</b>
-----------------	------------



## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Transformasi Box-Cox.....	30
Tabel 3. 2 Identifikasi model deret waktu (Rohmah, 2015) .....	30
Tabel 3. 3 Tabel kontigensi verifikasi dikotomi (Halide and Ridd, 2008) .....	32
Tabel 3. 4 Tabel kontigensi <i>yes/no forecast</i> (Halide and Ridd, 2008).....	36
Tabel 4. 1 Fase aktif MJO selama periode 2000-2018.....	58
Tabel 4. 2 Ringkasan Kejadian MJO dan Telekoneksi selama fase aktif .....	63
Tabel 4. 3 Kejadian banjir di Makassar selama 20 tahun terakhir .....	64
Tabel 4. 4 Kejadian banjir di Semarang selama 20 tahun terakhir .....	64
Tabel 4. 5 Kejadian banjir di Palembang selama 20 tahun terakhir.....	65
Tabel 4. 6 Dugaan Model ARIMA Telekoneksi.....	69
Tabel 4. 7 Estimasi parameter model ARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sup>73</sup> .....	70
Tabel 4. 8 Ukuran statistik validasi model ARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sup>73</sup> .....	71
Tabel 4. 9 Ringkasan hubungan kejadian curah hujan ekstrim, telekoneksi dan banjir selama periode 2000 - 2018.....	82
Tabel 4. 10 Statistik hasil uji normalitas data .....	84



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pola Curah Hujan di Indonesia (Aldrian and Susanto, 2003) .....	8
Gambar 2. 2	(a) Diagram skematik yang menggambarkan siklus hidup MJO sepanjang ekuator (Madden & Julian, 1972 dalam Zhang, 2005). (b) Komposit anomali OLR ( $W/m^2$ ) berdasarkan fase MJO (NOAA, 2017).....	9
Gambar 2. 3	Roadmap Diagram Fase MJO (Handayani dkk., 2016) .....	10
Gambar 2. 4	Kawasan kajian ISMI dan WNPMI (Kajikawa & Wang, 2014b).	13
Gambar 2. 5	Kawasan kajian WYMI (Kajikawa and Wang, 2014b) .....	13
Gambar 2. 6	Kawasan kajian AUSMI (Kajikawa and Wang, 2014b) .....	14
Gambar 3. 1	Skema Pendekatan Box-Jenkins (Makridakis, 1999).....	31
Gambar 3. 2	Diagram Alir Penelitian .....	38
Gambar 4.1	Rata - rata klimatologi dan dasawarsa akumulasi hujan bulanan Stasiun Meterorologi Maritim Paotere Makassar.....	39
Gambar 4. 2	Rata - rata klimatologi dan dasawarsa akumulasi hujan bulanan Stasiun Meterorologi Maritim Tanjung Mas Semarang.....	40
Gambar 4. 3	Rata - rata klimatologi dan dasawarsa akumulasi hujan bulanan Stasiun Klimatologi Klas 1 Palembang.....	41
Gambar 4. 4	Analisis spektral curah hujan bulanan wilayah Makassar, Semarang, dan Palembang selama periode Januari 1983 – Maret 2018. ....	41
Gambar 4. 5	Hasil analisis <i>Wavelet</i> curah hujan bulanan Makassar selama periode Januari 1983 – Maret 2018 .....	42
Gambar 4. 6	Hasil analisis <i>wavelet</i> curah hujan bulanan Semarang selama periode Januari 1983 – Maret 2018 .....	43
Gambar 4. 7	Hasil analisis <i>wavelet</i> curah hujan bulanan Palembang selama periode Januari 1983 – Maret 2018 .....	44
Gambar 4. 8	Boxplot curah hujan bulanan Makassar Januari 1983 – Maret 2018 .....	45
Gambar 4. 9	Boxplot curah hujan bulanan Semarang Januari 1983 – Maret 2018 .....	46



Gambar 4. 10	Boxplot curah hujan bulanan Palembang Januari 1983 – Maret 2018 .....	46
Gambar 4. 11	Hasil analisis PSD curah hujan pentad periode Desember 1999 – Maret 2018.....	47
Gambar 4. 12	<i>Time series</i> perbandingan data hujan observasi harian dan satelit .....	48
Gambar 4. 13	Deret waktu perbandingan data hujan observasi dan satelit pentad .....	48
Gambar 4. 14	<i>Scatterplot</i> curah hujan pentad observasi BMKG dengan masing-masing satelit hujan untuk wilayahMakassar .....	49
Gambar 4. 15	Pentad curah hujan BMKG, TRMM, dan koreksi tiap wilayah....	49
Gambar 4. 16	Hasil analisis PSD Indeks OLR pentad 80BT, 100BT, dan 120BT .....	50
Gambar 4. 17	Hasil <i>wavelet</i> indeks OLR 100BT Januari 2000 – Maret 2018.....	51
Gambar 4. 18	Hasil FFT Indeks OLR 100BT.....	52
Gambar 4. 19	<i>Time series</i> indeks OLR 100BT sebelum dan setelah filterisasi... 52	
Gambar 4. 20	Karakteristik AUSMI pentad selama Januari 2000 – Maret 2018	53
Gambar 4. 21	<i>Time series</i> amplitudo indeks MJO .....	54
Gambar 4. 22	Diagram fase penjalaran MJO saat kejadian MJO aktif berdasarkan grafik amplitudo MJO .....	57
Gambar 4. 23	<i>Power Spectral Density</i> (PSD) Indeks OLR 100BT, AUSMI, serta kombinasi OLR100BT + AUSMI periode Januari 2000 – Maret 2018 .....	59
Gambar 4. 24	Telekoneksi indeks pentad fase aktif MJO .....	62
Gambar 4. 25	Tahap identifikasi model, plot <i>time series</i> , ACF dan PACF <i>raw data</i> .....	66
Gambar 4. 26	Hasil dekomposisi <i>raw data</i> telekoneksi.....	67
Gambar 4. 27	Hasil uji akar unit ( <i>unit root tests</i> ) KPSS.....	68
Gambar 4. 28	Hasil <i>seasonal differencing</i> pada lag 73 pentad .....	69





Gambar 4. 29 Hasil prediksi indeks telekoneksi untuk 73 pentad kedepan menggunakan ARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sup>73</sup> .....	70
Gambar 4. 30 Validasi model telekoneksi ARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sup>73</sup> .....	71
Gambar 4. 31 Aplikasi anomali curah hujan tiap wilayah terhadap model telekoneksi ARIMA (3,0,1)(1,1,0) <sup>73</sup> .....	80
Gambar 4. 32 Histogram dan Normal Q-Q plot anomali curah hujan terkoreksi, AUSMI dan OLR100 .....	83
Gambar 4. 33 Hasil uji korelasi silang OLR dan AUSMI terhadap anomali curah hujan Makassar .....	85
Gambar 4. 34 Hasil uji korelasi silang OLR dan AUSMI terhadap anomali curah hujan Semarang .....	86
Gambar 4. 35 Hasil uji korelasi silang OLR dan AUSMI terhadap anomali curah hujan Palembang .....	87
Gambar 4. 36 Deret waktu model prediksi MR curah hujan Makassar .....	88
Gambar 4. 37 Deret waktu model prediksi MR curah hujan Semarang .....	89
Gambar 4. 38 Deret waktu model prediksi MR curah hujan Palembang.....	90
Gambar 4. 39 Deret waktu model prediksi <i>chaos</i> curah hujan Makassar.....	91
Gambar 4. 40 Deret waktu model prediksi <i>chaos</i> curah hujan Semarang .....	92
Gambar 4. 41 Deret waktu model prediksi <i>chaos</i> curah hujan Palembang .....	93
Gambar 4. 42 Deret waktu model prediksi <i>persistence</i> curah hujan Makassar ...	94
Gambar 4. 43 Deret waktu model prediksi <i>persistence</i> curah hujan Semarang...	95
Gambar 4. 44 Deret waktu model prediksi <i>persistence</i> curah hujan Palembang.	96
Gambar 4. 45 Komparasi model prediksi curah hujan Makassar .....	98
Gambar 4. 46 Komparasi model prediksi curah hujan Semarang.....	99
Gambar 4. 47 Komparasi model prediksi curah hujan Palembang.....	100
Gambar 4. 48 <i>Scatterplot</i> model MR curah hujan pentad Makassar .....	101
Gambar 4. 49 <i>Scatterplot</i> model MR curah hujan pentad Semarang.....	101
Gambar 4. 50 <i>Scatterplot</i> model MR curah hujan pentad Palembang.....	102



Gambar 4. 51	<i>Scatterplot</i> model Chaos curah hujan pentad Makassar.....	102
Gambar 4. 52	<i>Scatterplot</i> model Chaos curah hujan pentad Semarang.....	103
Gambar 4. 53	<i>Scatterplot</i> model Chaos curah hujan pentad Palembang .....	103
Gambar 4. 54	<i>Scatterplot</i> model persistence curah hujan pentad Makassar.....	104
Gambar 4. 55	<i>Scatterplot</i> model persistence curah hujan pentad Semarang .....	104
Gambar 4. 56	<i>Scatterplot</i> model persistence curah hujan pentad Palembang ...	105
Gambar 4. 57	Verifikasi skill 3 model prediksi curah hujan ekstrim untuk wilayah Makassar, Semarang dan Palembang.....	106



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data RMMI, AUSMI, Indeks OLR 100BT, OLR+AUSMI, dan anomali curah hujan Makassar, Semarang, Palembang dalam skala pentad sejak Januari 2000 – Maret 2018.....	114
<b>Lampiran 2.</b> Tabel hasil verifikasi skill probabilistik ( <i>Peirce Skill Score</i> ) untuk wilayah Makassar.....	123
<b>Lampiran 3.</b> Tabel hasil verifikasi skill probabilistik ( <i>Peirce Skill Score</i> ) untuk wilayah Semarang.....	124
<b>Lampiran 4.</b> Tabel hasil verifikasi skill probabilistik ( <i>Peirce Skill Score</i> ) untuk wilayah Palembang.....	125
<b>Lampiran 5.</b> Script Matlab bandpass filter.....	127
<b>Lampiran 6.</b> Script Matlab Power Spectral Density.....	127
<b>Lampiran 7.</b> Script akumulasi curah hujan periode NDJFM.....	128
<b>Lampiran 8.</b> Script diagram hovmoller curah hujan periode DJF.....	129



*Bacalah* *Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah*

(Q.S. Al-Alaq : 1)

*Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah*  
*Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah*

(Q.S. Al-Mujadilah : 11)

*Bacalah* *Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah*  
*Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah* *Bacalah*

- Imam Syafi'i -

***Bacalah***

*Bacalah* *Bacalah* *Bacalah*

*Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah*

*Bacalah* *Bacalah* *Bacalah*

***Bacalah*** *Bacalah*

***Bacalah*** *Bacalah*

*Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah*

***Bacalah***

*Bacalah* *Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah*

*Bacalah* ***Bacalah*** *Bacalah* *Bacalah*

- Mu'adz bin Jabal -



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I. 1 Latar Belakang

Ada tiga kawasan penting dunia yang ditetapkan *World Meteorological Organization* (WMO) sebagai tempat/lokasi terjadinya perubahan iklim global (Hermawan, 2010). Salah satunya Indonesia, selain Brazil di Amerika Selatan dan Congo di Afrika, yang sama-sama dilalui garis khatulistiwa. Indonesia menjadi satu-satunya wilayah dengan keunikan dari segi geografis, fisiografis maupun astronomis. Sebagai Benua Maritim (*Maritime Continent*), wilayah ini terdiri atas ribuan kepulauan yang berdistribusi tidak merata, 70% didominasi oleh lautan, serta berada pada posisi silang benua dan samudera, yang mengakibatkan BMI rentan terhadap perubahan cuaca/iklim (Hermawan, 2010).

Terletak di wilayah tropis, dengan konsekuensi menerima radiasi matahari terbanyak menjadikan kawasan Indonesia berperan penting dalam mengendalikan cuaca dan iklim global. Atmosfer atas Indonesia merupakan daerah pertemuan dua sirkulasi utama, yakni sirkulasi Hadley dan Walker (Aldrian *et al.*, 2007). Kondisi tersebut memicu aktivitas konvektif aktif yang berpotensi sebagai penyimpan bahang (panas) baik *sensible heat* maupun *latent heat* bagi pembentukan awan-awan hujan, seperti cumulonimbus (Hermawan, 2002).

Indonesia dipengaruhi oleh fenomena global, regional, dan lokal; seperti Asia-Australia, zona konvergensi antar-tropis, osilasi *intraseasonal*, dan variasi topografi darat-laut (Chang *et al.*, 2005; Qian, 2008; Hidayat and



Kizu, 2010; Rauniyar and Walsh, 2011; As-syakur *et al.*, 2013). Dalam skala lokal, fenomena yang teramati berupa sirkulasi harian angin darat-laut (*land-sea breeze*) dan angin gunung-lembah. Adapun skala regional dipengaruhi oleh siklus tahunan utara selatan Matahari, yaitu Monsun Asia-Australia dan ITCZ (*Inter Tropical Convergence Zone*). Sedangkan skala global, fenomena ENSO (*El Niño and Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Ocean Dipole*) sebagai hasil interaksi kopel laut-atmosfer di Samudera Pasifik dan Hindia.

Hujan merupakan unsur iklim dominan di wilayah BMI, dengan keberagaman dalam skala ruang dan waktu (As-syakur *et al.*, 2011). Terdapat hubungan timbal balik yang erat antara atmosfer dan laut sehingga keduanya saling mempengaruhi. Tidak hanya satu fenomena, namun interaksi dua atau lebih fenomena secara simultan (telekoneksi) dapat saling menguatkan atau mereduksi. Dari beberapa fenomena global yang berkontribusi terhadap variabilitas iklim Benua Maritim, *Madden Julian Oscillation* (MJO) merupakan fenomena intra-musiman yang menarik perhatian. MJO ditemukan oleh Roland Madden & Paul Julian (1971) sebagai osilasi yang bergerak ke arah timur di sepanjang ekuator dan berdampak pada intensitas hujan wilayah yang dilaluinya.

Fenomena MJO erat kaitannya dengan pembentukan awan-awan Cb yang dikenal dengan istilah *Super Cloud Cluster* (SCC). Berdasarkan hasil kajian Sperber & Slingo (2002) mengenai propagasi dan struktur vertikal MJO periode Nopember-

sekitar Indonesia terlihat bahwa propagasi MJO aktif ke arah timur, a di lapisan 850 hPa. Penelitian lain oleh Chang *et al.*, (2005) secara



umum menunjukkan adanya asimetri spasial curah hujan di wilayah Asia Tenggara saat monsun Asia (Desember, Januari, Februari) dan monsun Australia (Juni, Juli, Agustus).

Penelitian mengenai MJO telah dilakukan sejak 3 dekade lalu, baik dari segi karakteristik, struktur, mekanisme, propagasi dan model prediksinya menggunakan parameter meteorologi yang relevan. Beberapa diantaranya memanfaatkan data radar, radiosonde dan *Outgoing Longwave Radiation* (OLR). Adapun data *Real Multivariate MJO Index* (RMMI) sering digunakan dalam memonitor MJO untuk keperluan prediksi (Wheeler and Hendon, 2004). Seto (2002) menyatakan terdapat pola hubungan yang baik antara *Intra-Seasonal Variation* (ISV) berupa aktivitas pertumbuhan awan dan angin zonal, menggunakan pengamatan radar secara kontinyu. Penelitian Evana (2009) menyebutkan data RMM1 dan RMM2 dapat digunakan untuk memprediksi fenomena MJO di Indonesia, serta berkaitan erat dengan curah hujan ekstrim di Jakarta pada tahun 2002. Sedangkan pembentukan model prediksi MJO berbasis hasil analisis data *Wind Profiler Radar* (WPR) telah dilakukan oleh Madani (2012). Secara lokal, fenomena MJO, propagasi, struktur vertikal dan pengaruhnya terhadap curah hujan di kawasan barat Indonesia, khususnya Kototabang telah diteliti lebih dalam oleh Hermawan (2010). Kajian tentang peran MJO dan Monsun secara terpisah sebagai fenomena dalam sistem iklim kawasan tropis telah banyak dilakukan.

Peran dan dampak fenomena tersebut jika terjadi secara simultan terhadap curah hujan di Indonesia belum banyak diketahui.



Berdasarkan data kejadian bencana alam di Indonesia dari tahun 1815 s/d Mei 2018 yang bersumber dari website BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), bencana hidrometeorologis masih mendominasi, dimana banjir menempati posisi teratas dengan jumlah kejadian 8911, disusul oleh puting beliung (5983 kejadian), tanah longsor (4947 kejadian), kekeringan (1872 kejadian), serta kebakaran hutan dan lahan (KARHUTLA) dengan 641 kejadian. Dalam dekade terakhir, perilaku hujan ekstrim perlu dikaji mengingat curah hujan merupakan unsur penting dalam mengidentifikasi potensi bencana hidrometeorologis, khususnya banjir dan tanah longsor (Suryantoro dkk., 2016).

Meskipun musim hujan dan kemarau terjadi secara periodik, namun panjang musim dan distribusi hujan tidak selalu sama tiap tahun. Intensitas yang melebihi ambang normal dengan durasi panjang menjadi ciri khusus hujan ekstrim. Selain itu, surplus hujan tidak hanya terjadi pada musim basah, namun seringkali ditemui saat musim kering. Sehingga, analisis terhadap fenomena iklim global yang bersifat intra-musiman perlu dipertimbangkan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna mengkaji propagasi MJO saat berinteraksi dengan Monsun, serta pengaruhnya terhadap perilaku hujan ekstrim pada 3 lokasi di belahan bumi selatan khatulistiwa, yakni Makassar, Semarang dan Palembang. Analisis sifat hujan berupa variasi temporal, meliputi kondisi normal, ekstrim bawah dan ekstrim atas berbasis observasi BMKG serta

dengan identifikasi bencana banjir dalam 20 tahun terakhir. Adapun pengan model telekoneksi indeks OLR dan monsun menggunakan metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*).





## I. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana model telekoneksi yang sesuai untuk indeks MJO dan Monsun?
2. Bagaimana pengaruh model telekoneksi antara MJO dan Monsun terhadap anomali curah hujan ekstrim di Makassar, Semarang, dan Palembang?
3. Bagaimana hasil prediksi dan verifikasi *skill* model curah hujan ekstrim 5 harian (pentad) pada tiap lokasi penelitian untuk 4 *lead* ke depan?

## I. 3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup masalah dalam penelitian ini dibatasi pada beberapa hal berikut:

1. Lokasi penelitian adalah bumi bagian selatan khatulistiwa, khususnya Makassar, Semarang dan Palembang yang masing-masing bertipe curah hujan monsunal. Alasan pemilihan lokasi karena kuat dugaan bahwa wilayah tersebut berada di bawah kendali monsun timur Australia.
2. Fokus penelitian pada saat MJO dan Monsun berada dalam satu fase, tanpa melibatkan pengaruh fenomena iklim global lainnya.
3. Skala waktu yang digunakan yakni 5 harian (pentad) untuk analisis deret waktu, dan bulanan untuk analisis ekstrim tiap bulan, selama kurang lebih 18 tahun dalam periode Desember 1999 – Maret 2018.



yang digunakan terdiri dari data indeks global MJO, yang diwakili oleh (RMMI untuk validasi), dan indeks AUSMI (*Australian Monsoon*

*Index*) sebagai prediktor pemodelan telekoneksi. Sedangkan data curah hujan (variabel respon) berupa curah hujan observasi harian di 3 stasiun BMKG, (Stasiun Meteorologi Maritim Paotere Makassar, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Mas Semarang, dan Stasiun Klimatologi Klas 1 Palembang) dan data satelit hujan keluaran GSMaP, TRMM, dan CHIRPS yang digunakan dalam analisis koreksi.

5. Pemodelan telekoneksi menggunakan metode ARIMA, sedangkan curah hujan ekstrim dengan MR (*Multiple Regression*), *Chaos* dan *Persistence*.
6. Verifikasi skill model prediksi menggunakan pendekatan deterministik (korelasi *Pearson*, RMSE) dan probabilistik (*Peirce score*).

#### I. 4 Tujuan Penelitian

Sebagaimana rumusan masalah yang disebutkan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan model telekoneksi yang sesuai antara fenomena MJO dan monsun, masing-masing diwakili oleh indeks OLR dan AUSMI pentad.
2. Menganalisis pengaruh telekoneksi terhadap anomali curah hujan ekstrim pentad di Makassar, Semarang, dan Palembang.
3. Memprediksi dan verifikasi *skill* model curah hujan ekstrim pentad untuk 4 *lead* ke depan menggunakan model MR, *chaos* dan *persistence*.



#### faat Penelitian

ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi *stakeholder* terkait dalam kebijakan dan mitigasi bencana hidrometeorologi.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II. 1 Karakteristik Curah Hujan Indonesia

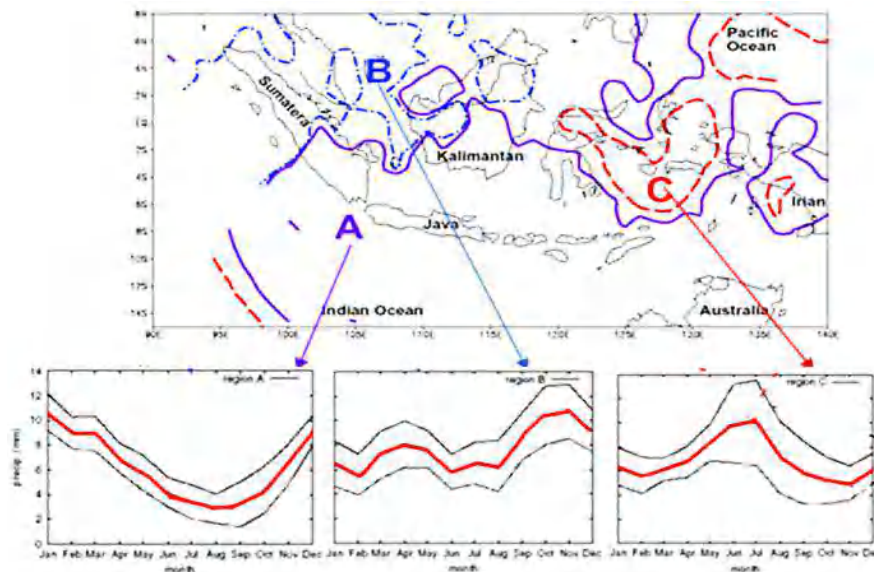
Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), curah hujan adalah ketinggian air hujan yang jatuh pada luasan permukaan dengan asumsi tidak menguap, meresap atau mengalir. Dalam pengertian Sains Atmosfer atau Meteorologi, curah hujan digolongkan sebagai hujan curah dengan curahan yang terdiri dari tetes air berdiameter dan intensitas lebih besar dari tetes hujan biasa ( $d > 0,5$  mm dan  $I > 1,25$  mm/jam), dari sistem atmosfer yang jatuh ke permukaan bumi (Suryantoro dkk., 2016). Rata-rata curah hujan tahunan di Indonesia berkisar 2000-3000 mm, dengan rata-rata hujan bulanan 150-700 mm (Aldrian, 2000). Curah hujan tergolong ekstrim bila intensitasnya lebih dari 125 mm/hari atau 400 mm/bulan (BMKG, 2008).

Variabilitas curah hujan Indonesia dibedakan menjadi tiga pola utama (Aldrian and Susanto, 2003) yaitu pola musonal, ekuatorial dan lokal (anti musonal). Wilayah berpola hujan musonal ditandai oleh perbedaan jelas antara periode musim hujan dan kemarau dalam satu tahun (bersifat *unimodal*, satu puncak maksimum pada Desember, Januari, dan Februari) karena dominan dipengaruhi sirkulasi Monsun. Adapun pola hujan ekuatorial dicirikan oleh dua puncak hujan maksimum dalam satu tahun (*bimodal*) terjadi antara bulan Maret, April, atau Mei

dan September, Oktober, atau Nopember. Kondisi tersebut disebabkan oleh pergerakan ITCZ (*Inter-Tropical Convergence Zone*) yang mendorong konvergensi



di wilayah ekuator sebanyak 2 kali. Beberapa wilayah di Indonesia memiliki pola curah hujan tersendiri yang dipengaruhi kondisi setempat, seperti topografi pegunungan, lautan, serta pemanasan lokal intensif. Pola ini dikenal sebagai pola lokal dengan intensitas hujan maksimum saat Juni, Juli, atau Agustus.



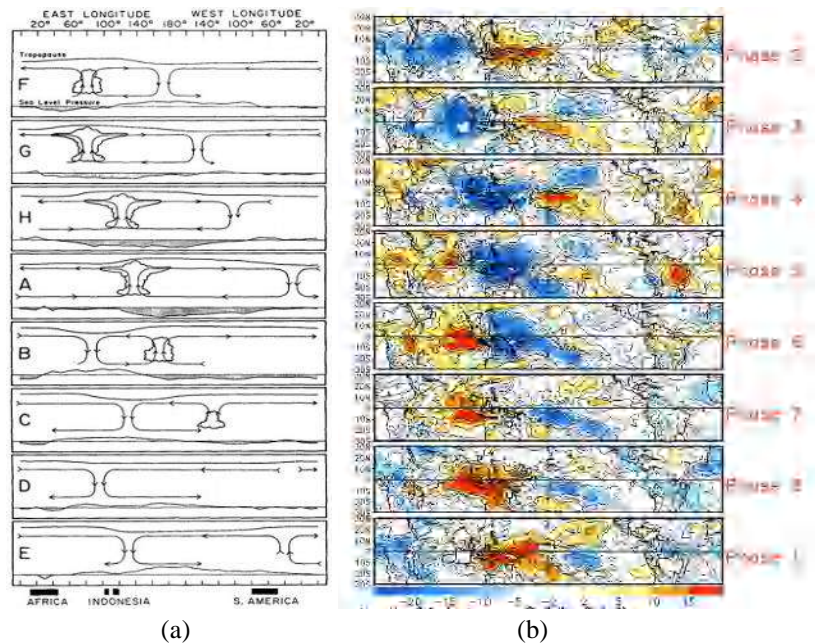
Gambar 2. 1 Pola Curah Hujan di Indonesia (Aldrian and Susanto, 2003)

## II. 2 Madden Julian Oscillation (MJO)

Secara umum, MJO merupakan mode dominan variabilitas intra-musiman yang mempengaruhi iklim dan cuaca (Madden and Julian, 1971; 1972; 1994), khususnya wilayah tropis. Fenomena ini terjadi akibat pola sirkulasi atmosfer dan konveksi yang berpropagasi dari bagian barat Indonesia (Samudera Hindia) ke arah timur (Samudera Pasifik) dengan kecepatan rata-rata 5 m/s (Zhang, 2005).

Distribusi spasial MJO yaitu 10°LU-10°LS (Madden and Julian, 1972). Namun, MJO dikenali dari 20°LU-20°LS (Wheeler and Hendon, 2004). Sementara distribusi temporalnya berkisar 40-50 hari (Madden and Julian, 1971). Di tropis sekitar 30-60 hari, rata-rata 45 hari (Madden and Julian, 1994).





**Gambar 2. 2** (a) Diagram skematik yang menggambarkan siklus hidup MJO sepanjang ekuator (Madden and Julian, 1972 dalam Zhang, 2005). (b) Komposit anomali OLR ( $W/m^2$ ) berdasarkan fase MJO (NOAA, 2017).

Pengamatan MJO melibatkan berbagai variabel meteorologi, seperti OLR, presipitasi, angin zonal lapisan atas dan bawah troposfer, tekanan muka laut (*sea level pressure/SLP*), konvergensi kelembaban, suhu muka laut (*sea surface temperature/SST*), dan flux panas laten permukaan laut (Madani, 2012).

### II. 3 Real Time Multivariate MJO

Prediksi MJO berbasis pada metode *Real Time Multivariate MJO* (RMM1 dan RMM2) yang digunakan oleh Badan Meteorologi Australia (BoM). RMM adalah indeks musiman untuk memonitor pergerakan MJO dari nilai *Empirical Orthogonal Function* (EOF) atau komponen utama integrasi kecepatan angin zonal di ketinggian 850 hPa (data reanalisis NOAA) dan OLR yang diukur dari satelit

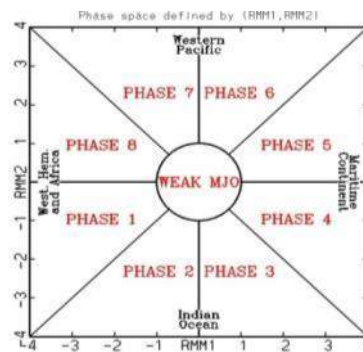
Proyeksi data dilakukan dengan menghilangkan komponen siklus tahunan dan variabilitas komponen *interannual* (Wheller and Hendon, 2004).



RMM dapat digunakan dalam berbagai kepentingan, seperti penentuan onset monsun dan peluang curah hujan ekstrim. Peramalan MJO menggunakan indeks RMM1 dan RMM2, dimana fase aktifnya dirumuskan (Fhidayatullah, 2017):

$$\sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} > 1 \quad \dots (2.1)$$

Pergerakan MJO digambarkan melalui diagram fase hasil plot nilai RMM1 dan RMM2 yang dihubungkan oleh garis membentuk siklus. Lingkaran di tengah diagram adalah posisi MJO lemah. Semakin jauh garis dari pusat diagram, maka semakin kuat pengaruhnya, sehingga curah hujan cenderung tinggi di daerah tersebut (Handayani dkk., 2016).



**Gambar 2. 3** Roadmap Diagram Fase MJO (Handayani dkk., 2016)

Dari gambar 2.3, ada 8 fase dalam siklus hidup MJO, dimana wilayah yang dilewati dan koordinat dari masing-masing fase adalah (Handayani dkk., 2016):

1. Fase-1 di Afrika (210°BB-60°BT)
2. Fase-2 di Samudra Hindia bagian barat (60°BT-80°BT)
3. Fase-3 di Samudra Hindia bagian timur (80°BT-100°BT)
4. Fase-4 dan fase-5 di Benua Maritim Indonesia (100°BT-140°BT)

Fase-6 di kawasan Pasifik Barat (140°BT-160°BT)

Fase-7 di Pasifik Tengah (160°BT-180°BT)

Fase-8 di daerah konveksi belahan bumi bagian barat (180°BT-160°BB)



Pengaruh MJO terhadap variabilitas respon curah hujan diurnal bergantung pada musim dan kondisi geografis setempat (Barret *et al*, 2011; Kanamori and Tetsuo, 2013). Hidayat and Kizu (2010) menyatakan, saat fase 4 dan 5, anomali curah hujan di Indonesia periode *Austral Summer* (Oktober – April) meningkat di Samudera Hindia dan Laut Jawa dibanding Kalimantan dan Jawa. Komponen konvektif MJO di Benua Maritim Indonesia lebih lemah dibanding perairan sekitarnya. Siklus konveksi diurnal yang kuat akibat pemanasan di daratan cenderung menghambat intervensi MJO, selain penguapan permukaan yang menjadi faktor penting reduksi kekuatan MJO di daratan (Zhang, 2005).

#### **II. 4 *Outgoing Longwave Radiation (OLR)***

OLR merupakan ukuran atau nilai radiasi bumi yang memiliki panjang gelombang panjang terdeteksi dari luar angkasa, dan pengamatannya dilakukan dengan memanfaatkan satelit (Aldrian, 2000). Nilai yang terukur menggambarkan tingkat perawanan yang menghambat keluarnya radiasi bumi tersebut. Semakin kecil nilai OLR, maka semakin besar hambatan yang divisualisasikan oleh ketinggian awan konvektif. Pengaruh MJO terhadap curah hujan dapat dilihat dari hasil pengamatan OLR. Aktivitas konveksi yang berpeluang besar menghasilkan hujan ditunjukkan saat OLR bernilai  $220 \text{ W/m}^2$ . Nilai OLR berbanding terbalik dengan presipitasi, yang mencapai  $-0.72$  di Asia Tenggara (Fhidayatullah, 2017).

#### **II. 5 Indeks Monsun**

(*Monsoon*) berasal dari bahasa Arab dari kata *mausam* yang berarti angin yang berubah arah selama setahun atau angin yang bertiup musiman



akibat perbedaan dinamika termal (bahang) antara benua dan lautan (Hermawan, 2015). Perbedaan panas yang diterima merupakan gerak semu Utara-Selatan matahari yang menimbulkan gradien tekanan sehingga memicu pergerakan udara.

Indonesia yang berlokasi diantara dua benua dan dua samudera seringkali dikaitkan dengan iklim monsun (Hermawan, 2015). Curah hujannya digerakkan oleh sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah di Benua Asia dan Australia secara bergantian. Pada Desember, Januari, dan Februari, gerak semu matahari berada  $23.5^{\circ}$  BBS sehingga angin bertiup dari utara menuju selatan dikenal sebagai monsun barat (monsun Asia). Enam bulan kemudian, saat Juni, Juli, dan Agustus berlaku sebaliknya yakni monsun timur (monsun Australia). Sementara bulan lainnya diistilahkan sebagai musim peralihan (Prawiwardoyo, 1996; Wang and Xu, 1997; Wang and Fan, 1999; Wang *et al.*, 2008a).

Indikasi utama dalam mengkaji fenomena monsun di Indonesia, yakni anomali curah hujan dan perubahan arah angin. Indeks monsun dibentuk dari perubahan arah dan kecepatan angin zonal lapisan 200 dan 850 hPa yang dikelompokkan menjadi *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).

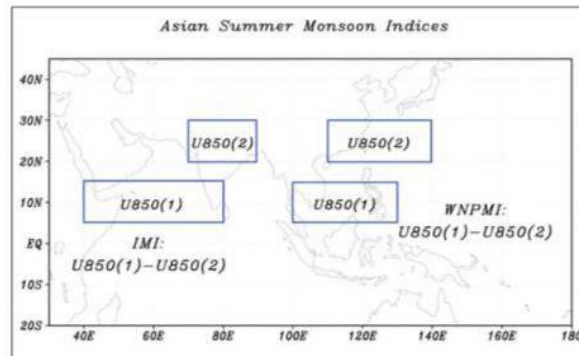
Dari kelima indeks monsun tersebut, hanya 3 indeks yang dianggap berpengaruh signifikan terhadap perilaku hujan di Indonesia, yakni (Hermawan, 2015) :

ks Monsun Asia yang diwakili oleh *Indian Summer Monsoon Index* (ISMI) dan *Western North Pacific Monsoon Index* (WNPMI) sebagaimana





dijelaskan oleh Wang and Fan (1999) dan Wang *et al.* (2001). Perbedaan kawasan kedua indeks tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut:



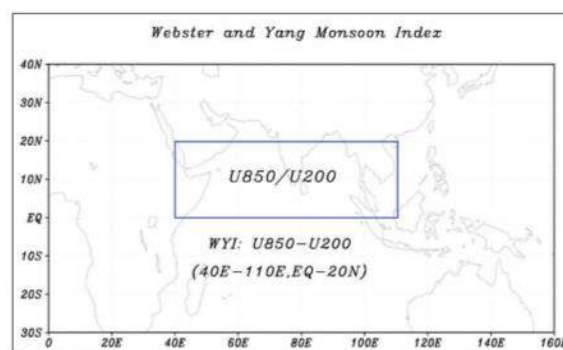
**Gambar 2. 4** Kawasan kajian ISMI dan WNPMI (Kajikawa and Wang, 2014b)

Adapun formula/rumusan yang digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{ISM Index} &= U850 (40^{\circ}\text{BT}-80^{\circ}\text{BT}, 5^{\circ}\text{LU}-15^{\circ}\text{LU}) - U850 \\ & \quad (70^{\circ}\text{BT}-90^{\circ}\text{BT}, 20^{\circ}\text{LU}-30^{\circ}\text{LU}) \quad \dots (2.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WNPM Index} &= U850 (100^{\circ}\text{BT}-130^{\circ}\text{BT}, 5^{\circ}\text{LU}-15^{\circ}\text{LU}) - U850 \\ & \quad (110^{\circ}\text{BT}-140^{\circ}\text{BT}, 20^{\circ}\text{LU}-30^{\circ}\text{LU}) \quad \dots (2.3) \end{aligned}$$

2) *Webster and Yang Monsoon Index* (WYMI) sebagaimana dijelaskan oleh Webster and Yang (1992). Kawasan WYMI ditunjukkan oleh:



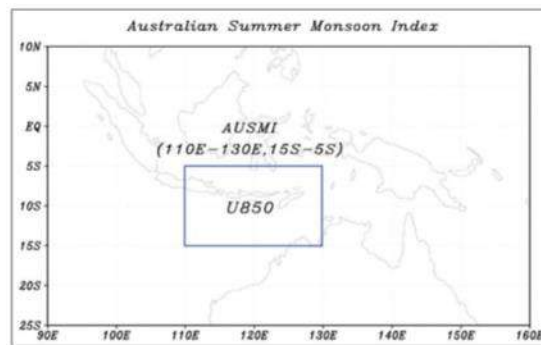
**Gambar 2. 5** Kawasan kajian WYMI (Kajikawa and Wang, 2014b)

Adapun formula yang digunakan:

$$\begin{aligned} \text{WYMI Index} &= U850 (40^{\circ}\text{BT}-110^{\circ}\text{BT}, \text{EQ}-20^{\circ}\text{LU}) - U200 \\ & \quad (40^{\circ}\text{BT}-110^{\circ}\text{BT}, \text{EQ}-20^{\circ}\text{LU}) \quad \dots (2.4) \end{aligned}$$



- 3) Indeks Monsun Australia yang dikenal dengan istilah *Australian Monsoon Index* (AUSMI) sebagaimana dijelaskan oleh Kajikawa *et al.* (2010). Kawasan AUSMI ditunjukkan oleh gambar berikut:



**Gambar 2. 6** Kawasan kajian AUSMI (Kajikawa and Wang, 2014b)

Adapun formula yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{AUSM Index} = \text{U850 (110}^{\circ}\text{BT-130}^{\circ}\text{BT, 15}^{\circ}\text{LS-5}^{\circ}\text{LS)} \quad \dots (2.5)$$

Ada kalanya dua monsun saling menguatkan atau mereduksi yang dikenal dengan istilah interkoneksi/telekoneksi (Wang and Zhang, 2002). Tidak hanya interkoneksi sesama monsun, melainkan dengan fenomena global lain. Monsun yang sebelumnya beresilasi sempurna, mengikuti peredaran semu matahari kini sulit diprediksi dengan tepat karena intervensi faktor lain yang diduga mempengaruhi dinamika siklusnya. Akibatnya, pergeseran pola monsun terjadi seiring berpindahnya pusat-pusat tekanan rendah di muka bumi. (Hermawan, 2015).

## II. 6 Analisis Deret Waktu ARIMA

Ada dua kelompok metode peramalan dalam statistika iklim, yaitu metode *time series* dan metode kausal. Metode kausal melihat hubungan sebab akibat antara input dan output sistem. Sedangkan metode *time series* memperlakukan sistem sebagai sistem hitam tanpa mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhinya (Bey, 1987)



Analisis data deret waktu mempertimbangkan pengaruh waktu secara berkala untuk menyusun perencanaan kedepan. Salah satu metode deret waktu, yakni ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), dikembangkan oleh Box dan Jenkins pada tahun 1976. Menurut Makridakis (1999), metode ARIMA memanfaatkan sepenuhnya data masa lalu untuk peramalan jangka pendek yang akurat pada data univariat. Metode ini menggunakan pendekatan iteratif dalam penentuan model. Model terbaik diperoleh bila residual antara hasil prediksi dan data historis bernilai kecil, terdistribusi random, dan independen (Madani, 2012).

### II. 6. 1 Model *Autoregressive* (AR)

Proses Autoregresif adalah regresi pada dirinya sendiri. Proses autoregresif  $\{Z_t\}$  orde p disingkat AR (p) memenuhi persamaan (Cryer, 1986):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad \dots (2.6)$$

Dimana,  $Z_t$  adalah deret waktu stasioner,  $\phi_1, \dots, \phi_p$  menunjukkan koefisien atau parameter model *autoregressive*,  $Z_{t-1}, \dots, Z_{t-p}$  adalah nilai lag dari t, dan  $a_t =$  residual pada waktu t.

### II. 6. 2 Model *Moving Average* (MA)

Pada model *moving average*, nilai  $Z_t$  bergantung pada error orde q sebelumnya. *Moving average* orde q disingkat MA (q) memenuhi persamaan (Cryer, 1986):

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad \dots (2.7)$$

Dimana,  $Z_t$  deret waktu stasioner,  $\theta_1, \dots, \theta_q$  menunjukkan parameter model *moving average*, dan  $a_{t-q}$  = residual lampau yang digunakan model.



### II. 6. 3 Model Autoregressive-Moving Average (ARMA)

Jika diasumsikan deret waktu merupakan campuran dari autoregresif dan *moving average* maka modelnya menjadi (Cryer, 1986):

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad \dots (2.8)$$

### II. 6. 4 Model Autoregressive-Integrated-Moving Average (ARIMA)

Model ARIMA diperoleh bila data tidak stasioner, sehingga perlu dilakukan proses *differencing* (pembedaan). Tinjau model AR(1) (Cryer, 1986):

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + a_t \quad \dots (2.9)$$

Terlihat dari persamaan (2.9) bahwa  $a_t$  tidak berkorelasi dengan  $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots$ .

Agar solusinya stasioner memenuhi persamaan (2.9) harusnya  $-1 < \phi < 1$ . Jika  $\phi = 1$ , maka persamaan (2.9) menjadi:

$$Z_t = Z_{t-1} + a_t \quad \dots (2.10)$$

atau

$$\nabla Z_t = a_t \quad \dots (2.11)$$

dimana  $\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$  adalah pembedaan pertama dari  $Z$ .

Proses stasioner diperoleh dari hasil pembedaan data yang tidak stasioner.

Variabel acak  $\{Z_t\}$  dikatakan model integrasi autoregresif-moving average jika

dibedakan sebanyak  $d$  kali dan merupakan proses ARMA yang stasioner,

disingkat ARIMA (p,d,q). Secara umum persamaan untuk model ARIMA (p,1,q),

$$W_t = \phi_1 W_{t-1} + \phi_2 W_{t-2} + \dots + \phi_p W_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad \dots (2.12)$$

$W_t = Z_t - Z_{t-1}$ , sehingga:

$$Z_{t-1} = \phi_1 (Z_{t-1} - Z_{t-2}) + \phi_2 (Z_{t-2} - Z_{t-3}) + \dots + \phi_p (Z_{t-p} - Z_{t-p-1}) + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$



Dengan demikian, model ARIMA (1,1,1) memenuhi persamaan (Cryer, 1986):

$$Z_t = (1 + \phi_1)Z_{t-1} + \phi_1 Z_{t-2} - \theta_1 a_{t-1} \quad \dots (2.13)$$

Nilai ordo proses *autoregressive* dan *moving average* diduga secara visual dari distribusi koefisien autokorelasi (ACF) dan koefisien autokorelasi parsial (PACF).

## II. 7 Fungsi Autokorelasi (ACF) dan Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF)

Data deret waktu memiliki fungsi waktu yang dibangun atas komponen trend, siklis, musiman, dan acak/residu. Sebagai konsekuensi keberadaan komponen data deret waktu dan hubungan antar komponen, muncul istilah autokorelasi antar pengamatan membentuk hubungan fungsional regresi deret waktu (Sobri, 2015).

Koefisien autokorelasi menunjukkan keeratan hubungan nilai peubah yang sama dalam periode waktu yang berbeda, didefinisikan sebagai (Makridakis, 1999):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^n (Z_t - \bar{Z})^2}, k = 0,1,2, \dots \quad \dots (2.14)$$

Adapun koefisien autokorelasi parsial mengukur keeratan hubungan antara  $Z_t$  dan  $Z_{t-k}$  dengan menghilangkan pengaruh  $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-k+1}$ . Fungsi autokorelasi parsial pada lag ke-k dinotasikan oleh (Makridakis, 1999):

$$\phi_{kk} = \text{Corr}(Z_t, Z_{t-k} | Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-k+1}) \quad \dots (2.15)$$

## II. 8 Stasioneritas

Stasioneritas adalah konsistensi pergerakan data terhadap waktu, sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam analisis deret waktu karena dapat memperkecil

error dalam model (Madani, 2012). Jika data tidak stasioner, dilakukan proses differencing. Ketidakstasioneran diklasifikasikan menjadi (Madani, 2012):



1. Tidak stasioner dalam rata-rata hitung, jika trend tidak datar (tidak sejajar sumbu waktu), dan data tersebar
2. Tidak stasioner dalam varians, jika trend datar atau hampir datar tapi data tersebar membangun pola menyebar atau menyempit yang meliput secara seimbang trendnya (pola terompet).
3. Tidak stasioner dalam rata-rata hitung dan varians, jika trend tidak datar dan data membangun pola terompet.

## II. 9 Analisis Spektral

Data deret waktu dapat dianalisis dalam domain waktu maupun frekuensi. ARIMA termasuk metode analisis domain waktu, sedangkan dalam kawasan frekuensi yakni analisis spektral. Analisis spektral memperkirakan fungsi densitas spektral dari deret waktu (Chatfield, 1989 dalam Krisnanto, 2012). Metode ini berperan melengkapi informasi karakteristik data dengan menelaah periodisitas tersembunyi (*hidden periodicities*) yang sulit diperoleh saat kajian dilakukan dalam kawasan waktu (Mulyana, 2004).

Implementasi analisis spektral sangat luas, yaitu dalam bidang teknik elektro, fisika, meteorologi, dan kelautan. Densitas spektral dari gelombang akan menghasilkan daya yang dibawanya bila dikalikan dengan faktor yang tepat. Hal ini dikenal sebagai *Power Spectral Density* (PSD). Analisis spektral modern didasarkan pada fenomena bahwa data deret waktu merupakan hasil proses stokastik,

dapat disajikan dalam deret Fourier. Jika  $X_t$  adalah data deret waktu,  $t = 1, 2, 3, \dots, n$ , maka  $X_t$  ditulis dalam formulasi (Krisnanto, 2012):



$$X_t = a_0 + \sum_{p=1}^{\frac{n}{2}-1} \left( a_p \cos \frac{2\pi p}{n} t + b_p \sin \frac{2\pi p}{n} t \right) + a_{\frac{n}{2}} \cos \pi t \quad \dots (2.16)$$

dengan  $a_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$ ;  $a_{\frac{n}{2}} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n -1^t x_t$

$$a_p = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n x_t \cos \frac{2\pi t}{n} p; b_p = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n x_t \sin \frac{2\pi t}{n} p; p = 1, 2, 3, \dots, \frac{n}{2} - 1$$

Hal yang harus dilakukan pada deret waktu adalah menstasionerkan data yang akan dianalisis. Persamaan untuk membangun model spektral bila data telah stasioner adalah (Krisnanto, 2012):

$$x_t = \int_0^{\pi} \cos \omega_t du(\omega_t) + \int_0^{\pi} \sin \omega_t dv(\omega_t) \quad \dots (2.17)$$

dengan  $u(\omega_t)$  dan  $v(\omega_t)$  merupakan fungsi kontinu yang tidak berkorelasi, dan didefinisikan dalam selang  $0 \leq \omega_t \leq \pi$ . Berdasarkan deskripsi tersebut dapat diturunkan fungsi  $F(\omega_t)$  yang berkorelasi dengan  $u(\omega_t)$  dan  $v(\omega_t)$  sehingga jika  $r(k)$  fungsi autokorelasi, maka (Krisnanto, 2012):

$$r(k) = \int_0^{\pi} \cos \omega_k dF(\omega_k)$$

merupakan sajian spektral dalam fungsi autokorelasi. Pada persamaan ini  $F(\omega_k) = 0$ , jika  $(\omega_k) < 0$ , dan  $F(\pi) = \sigma x^2$ , merupakan varians data deret waktu.

Sehingga jika didefinisikan (Krisnanto, 2012):

$$G(\omega_k) = \frac{F\omega_k}{\sigma x^2}$$

maka diperoleh fungsi distribusi kumulatif spektral dan fungsi spektral kuasa

$$g(\omega_k) = \frac{dG\omega_k}{d\omega_k}$$

) dan  $g(\omega_k)$  ada, maka persamaan  $r(k)$  dapat dinyatakan oleh:

$$r(k) = \int_0^{\pi} \cos \omega_k g(\omega_k) d(\omega_k)$$



$$g(\omega_k) = \frac{1}{\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} r_k e^{-t\omega_k} = \frac{1}{\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} r_k \cos \omega_k \quad \dots (2.18)$$

Karena  $r_k$  fungsi genap, maka persamaan diatas setara dengan (Krisnanto, 2012):

$$g(\omega_k) = \frac{1}{\pi} \left( r_0 + 2 \sum_{k=-1}^{\infty} r_k \cos \omega_k \right)$$

Yang merupakan sajian fungsi Fourier dalam fungsi autokorelasi. Karena  $g(\omega_k) = 0$ , jika  $\omega_k < 0$  dan  $g(\pi) = \sigma_x^2$ , maka fungsi spektrum kuasa yang setara dengan fungsi distribusi kumulatifnya, disajikan dalam (Krisnanto, 2012):

$$h(\omega_k) = \frac{g(\omega_k)}{\sigma_x^2} = \frac{1}{\pi} \left( 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} r_k \cos \omega_k \right) \quad \dots (2.19)$$

yang juga merupakan fungsi Fourier dalam fungsi autokorelasi.

Dari pernyataan spektral tersebut, dapat disimpulkan bahwa data deret waktu dapat dinyatakan sebagai deret Fourier yang merupakan fungsi harmonis seperti pada persamaan (2.16), sehingga dengan membangun fungsi spektrum kuasanya, periodisitas dapat ditentukan. Jika dilakukan penaksiran pada fungsi spektrum kuasa, dan nilai-nilai penaksirannya dipetakan terhadap frekuensi, maka akan diperoleh garis spektrum (Krisnanto, 2012) yang dikenal sebagai periodogram.

## II. 10 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (*goodness of fit*) dinotasikan dengan  $R^2$  merupakan ukuran yang menyatakan baik/tidaknya model yang ditaksir, atau dengan kata lain mengukur kedekatan hasil perhitungan dengan observasi (Nachrowi, 2006 dalam Sobri, 2015). Nilai koefisien determinasi menunjukkan besar variasi dari respon yang

dikeluarkan oleh model. Adapun persamaan untuk menghitung nilai koefisien determinasi adalah sebagai berikut (Sobri, 2015):





$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad \dots (2.20)$$

dimana:

$R^2$  = Koefisien determinasi

n = Jumlah data

$Y_i$  = Nilai aktual dari data

$\bar{Y}_i$  = Nilai rata-rata dari data

$\hat{Y}_i$  = Nilai prediksi dari data

Nilai  $R^2$  berada di antara nilai 0 sampai 1. Nilai  $R^2$  sama dengan 0, menunjukkan variasi respon tidak dapat dijelaskan oleh model sama sekali. Nilai  $R^2$  sama dengan satu, menunjukkan variasi respon secara keseluruhan dapat dijelaskan dengan baik oleh model. Nilai  $R^2 \times 100\%$  merupakan besarnya pengaruh prediktor terhadap variasi respon dalam model. Pengaruh akan semakin kuat dan signifikan jika nilai  $R^2$  mendekati nilai 1 (Sobri, 2015).

