

IDENTIFIKASI SINYAL PENGARUH VARIABILITAS AKTIVITAS MATAHARI TERHADAP CURAH HUJAN DI AREA *LAMPUNG ASTRONOMICAL OBSERVATORY (LAO)*, LAMPUNG (THE SIGNATURES OF SOLAR ACTIVITY VARIABILITY ON RAINFALL OVER LAMPUNG ASTRONOMICAL OBSERVATORY (LAO) SITE, LAMPUNG)

Wirid Birastri^{1,2,*}, Muhammad Ridho Syahputra³, Annisa Novia Indra Putri^{1,4}, Wahyu Sasongko Putro^{1,3}, Robiatul Muztaba^{1,4}, Nindhita Pratiwi^{1,4}, Hakim Luthfi Malasan^{4,5}, Adi Ripaldi⁶

¹Program Studi Sains Atmosfer dan Keplanetan, Institut Teknologi Sumatera

²UPT Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Institut Teknologi Sumatera

³Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

⁴Lampung Astronomical Observatory, Lampung

⁵Kelompok Keahlian Astronomi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung

⁶Pusat Informasi Perubahan Iklim, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

*e-mail: wirid.birastri@aps.itera.ac.id

Diterima 7 Maret 2018; Direvisi 5 November 2018; Disetujui 5 November 2018

ABSTRACT

This research discusses about the possible influence of solar activity variability, using Flare Index (FI) and Total Solar Irradiance (TSI), on long-term rainfall pattern over Lampung Astronomical Observatory (LAO) area, in Lampung, Indonesia. Singular Spectrum Analysis (SSA) decomposition on ground-based station data for the period of 1981-2010 shows the similarity of inter-annual and inter-decadal oscillations with FI and TSI despite having weak magnitude. These results indicate that rainfall responses to Hale cycle with 22.5 years oscillation, which describes the Sun's magnetic field cycle. Correlation of annual rainfall from the Global Precipitation Climatology Center (GPCC) data with a 1-year lag time TSI parameters in 1901-2010 shows the three periods of different correlative patterns. These results indicate that the increase in the TSI is associated with the increase of annual rainfall for the period before the 1920s and after 1950, with significant negative correlation between the two periods. Lag time between the rainfall response to the Sun activity indicates that there is another indirect mechanism that connects these variables, because there are different lag time results in some previous studies. The negative correlation between the two variables is thought to be due to the climate response to volcanic activity, intrusion of interstellar dust particles, atmospheric-ocean dynamics, and greenhouse gases effects by some prior studies.

Keywords: *Lampung Astronomical Observatory, Flare Index, Total Solar Irradiance, rainfall variability*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas identifikasi pengaruh variabilitas aktivitas Matahari menggunakan parameter *Flare Index (FI)* dan *Total Solar Irradiance (TSI)* terhadap parameter curah hujan jangka panjang di area *Lampung Astronomical Observatory (LAO)*, Lampung, Indonesia. Dekomposisi *Singular Spectrum Analysis (SSA)* pada data curah hujan bulanan dari stasiun pengamatan di sekitar wilayah kajian untuk periode 1981–2010 menunjukkan adanya kemiripan osilasi *inter-annual* dan *inter-decadal* dengan *FI* dan *TSI* meskipun dengan magnitudo yang lemah. Hasil ini mengindikasikan adanya respons curah hujan terhadap *Hale cycle* dengan osilasi 22,5 tahun yang menggambarkan siklus medan magnetik Matahari. Korelasi curah hujan tahunan dari data *Global Precipitation Climatology Centre*

(GPCC) dengan waktu jeda 1 tahun untuk parameter *TSI* pada 1901-2010 menunjukkan adanya tiga periode dengan pola korelatif yang berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan *TSI* berasosiasi dengan kenaikan curah hujan tahunan untuk periode sebelum 1920-an dan setelah tahun 1950, dengan korelasi negatif yang signifikan antara kedua periode tersebut. *Lag-time* antara respons curah hujan terhadap aktivitas Matahari mengindikasikan adanya mekanisme lain yang menghubungkan kedua variabel ini, karena terdapat hasil *lag-time* yang berbeda-beda pada beberapa penelitian sebelumnya. Korelasi negatif antara kedua variabel diduga sebagai akibat respons iklim terhadap aktivitas vulkanik, instruksi partikel debu antarbintang, dinamika atmosfer-laut, dan efek gas rumah kaca.

Kata kunci: *Lampung Astronomical Observatory*, *indeks flare*, *Total Solar Irradiance*, *variabilitas curah hujan*

1 PENDAHULUAN

Teknologi dewasa ini telah mencapai era yang disebut dengan “*space age*” yaitu ketika pengembangan keilmuan ditujukan untuk mempelajari segala sesuatu tentang Bumi, Tata Surya dan alam semesta (NASA, 2013). Penelitian astronomi modern saat ini, telah dimanfaatkan untuk mendukung berbagai bidang aplikasi, di antaranya adalah komunikasi (Ai *et al.*, 2008), cuaca dan iklim (Cooke, 2012; Georgieva, 2005), serta energi dan industri (Rosenberg *et al.*, 2014). Untuk mendukung penelitian dan pemanfaatan semacam ini, diperlukan fasilitas observatorium astronomi yang memadai.

Dari keseluruhan jumlah observatorium astronomi di dunia, hanya ~10% yang berada di Belahan Bumi Selatan (BBS) (ESO, 2009), padahal di langit selatan terdapat obyek-obyek yang unik dan penting bagi penelitian astronomi modern (Stobie, 1995). Oleh karena itu, sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan fasilitas pendidikan dan penelitian tentang *space-based sciences* di wilayah BBS dan Indonesia khususnya, akan dibangun *Lampung Astronomical Observatory – Earth and Space Sciences Education Center (LAO-ESSEC)* di Provinsi Lampung, Indonesia.

Selain survei dan pengukuran parameter astronomi, elemen penting pada tahap pembangunan observatorium astronomi adalah deskripsi karakteristik parameter meteorologi, salah satunya adalah curah hujan (Jabiri *et al.*, 2000).

Sebagai bagian dari kajian kelayakan wilayah pembangunan observatorium, penelitian ini membahas parameter curah hujan jangka panjang di daerah LAO dan pengaruh aktivitas Matahari terhadapnya.

Aktivitas Matahari berpengaruh terhadap variabilitas iklim di Bumi, di antaranya memodulasi pengaruh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) (Zhou *et al.*, 2013), temperatur (Solheim *et al.*, 2012), curah hujan (Reddy *et al.*, 1988), sistem iklim serta parameter troposfer-stratosfer (Tsiropoula, 2002).

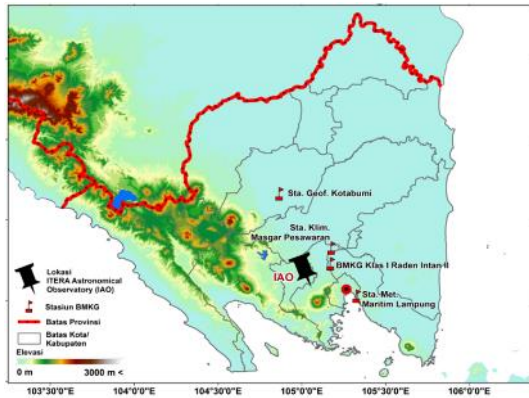
Pengaruh radiasi dan aktivitas Matahari di Benua Maritim Indonesia (BMI) sendiri sebelumnya telah dilakukan oleh Yamanaka (2016), Sinambela *et al.* (2008), Rusnadi dan Sinambela (2008) untuk skala waktu musiman, dan Djamaluddin (2003). Namun pada penelitian kali ini, pembahasan difokuskan pada curah hujan di wilayah Sumatera bagian selatan sebagai lokasi pembangunan observatorium.

2 DATA DAN METODOLOGI

Situs LAO terletak di wilayah Gunung Betung, Lampung, di koordinat 05° 27' 71" LS dan 105° 09' 39" BT dengan ketinggian 1030 meter di atas permukaan laut (mdpl). Data curah hujan di sekitar wilayah kajian diperoleh dari 4 stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dengan lokasi dan periode data dapat dilihat pada Gambar 2-1 dan Tabel 2-1.

Tabel 2-1: KOORDINAT STASIUN PENAKAR HUJAN DAN PERIODE DATA

Stasiun	Lokasi		Periode
	Lintang (°BT)	Bujur (°LS)	
Kotabumi	105,180	5,172	1996-2010
Masgar	105,330	5,470	1998-2010
Raden Intan II	105,175	5,270	1981-2010
Panjang	104,870	4,836	1994-2010



Gambar 2-1: Lokasi LAO ditunjukkan dengan tanda pin hitam dan stasiun penakar hujan ditunjukkan dengan tanda bendera merah.

Data curah hujan stasiun digunakan dalam analisis variasi curah hujan di wilayah kajian, sedangkan identifikasi sinyal aktivitas Matahari terhadap curah hujan menggunakan data dari Stasiun Meterologi Raden Intan II, dengan lokasi stasiun terdekat dengan situs pembangunan dan ketersediaan data yang lebih lengkap pada periode 1981-2010. Untuk rentang waktu yang lebih panjang, analisis dilakukan dengan menggunakan data curah hujan bulanan *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) V7* resolusi $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (Schneider *et al.*, 2011) dengan periode data 1901-2010.

Studi variabilitas aktivitas Matahari menggunakan data bulanan *Flare Index (FI)* dari *Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute* (Ataç dan Özgüç, 1998) dan rekonstruksi *Total Solar Irradiance (TSI)* berdasarkan *Naval Research Laboratory solar variability model, NRLTSI2* (Coddington *et al.* 2016). *FI* merepresentasikan pelepasan energi tinggi Matahari yang diduga berpengaruh pada atmosfer Bumi bagian atas (Thomas

et al., 2007) serta proses cuaca di atmosfer (Bhattacharya *et al.*, 2011). Variabel *TSI* digunakan dalam penelitian ini karena termasuk dalam variabel iklim esensial yang dibutuhkan untuk memahami kondisi iklim di masa lampau, saat ini, serta proyeksi iklim di masa yang akan datang (Blunden dan Arndt, 2014). Identifikasi sinyal periodik dari data curah hujan dan *FI* mengaplikasikan metode *Singular Spectrum Analysis (SSA)* (Ghil *et al.*, 2001) untuk dekomposisi tren dan variasi *subseasonal* hingga *interdecadal*. Metode *SSA* efektif dan telah banyak diterapkan untuk menganalisis data deret waktu dari curah hujan (Sun *et al.*, 2018; Groth dan Ghil, 2015; Benzi *et al.*, 1997). *SSA* terdiri dari empat algoritma berulang dalam dua tahap: (1) tahap dekomposisi dengan *embedding* dan *Singular Value Decomposition (SVD)*, (2) tahap rekonstruksi dengan pengelompokan dan perata-rataan diagonal.

SSA menghasilkan dekomposisi dalam bentuk *Reconstructed Components (RCs)* tiap periodisitas data yang dikelompokkan sesuai kebutuhan analisis. Dalam pembahasan ini, *RCs* dibagi menjadi lima, yaitu untuk periodisitas <2, 2-7, 8-12, 13-20, dan >20 tahun dengan uji signifikansi menggunakan metode Monte Carlo pada selang kepercayaan 0,99. *RCs* memiliki peran yang sama seperti *Principal Components (PCs)* yang menunjukkan *mode* utama pada metode *Empirical Orthogonal Function (EOF)* dimana penjumlahan keseluruhan *RCs* akan menghasilkan *time series* data asal. Pola utama data curah hujan diwakili oleh *RCs* dengan kontribusi tiap *RCs* terhadap

variansi data dijelaskan dalam bentuk persentase *Explained Variance (EV)*.

3 VARIABILITAS “SOLAR INPUT” YANG DITERIMA BUMI

Budget energi total yang diterima Bumi berpengaruh terhadap cuaca dan iklim, besarnya bergantung terhadap jumlah energi yang mencapai permukaan Bumi, atau disebut juga *Solar input*, sehingga nilai ini tidak akan konstan. Perubahan *Solar input* yang diterima Bumi ini disebabkan oleh tiga mekanisme utama, yaitu (1) perubahan inklinasi sudut Bumi; (2) proses di dalam sistem di Bumi sendiri; dan (3) variasi aktivitas Matahari (Tsiropoula, 2002).

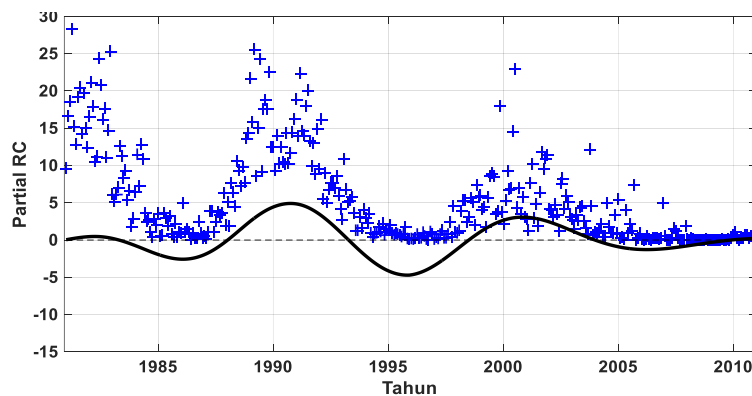
Dalam pembahasan ini, variasi aktivitas Matahari dapat digambarkan menggunakan *FI* yang berperan sebagai *full disk solar index*. *FI* merupakan indeks yang dapat mewakili variasi aktivitas kromosfer Matahari dengan baik, serta berkorelasi signifikan dengan bilangan bintik Matahari, fluks radio, *Coronal Index*, dan luas bintik Matahari, tetapi kurang dapat menggambarkan variasi radiasi yang diterima Bumi (Ataç dan Özgüç, 1998). Bilangan bintik Matahari sebagai manifestasi yang terlihat jelas dari aktivitas Matahari yang diasosiasikan dengan kenaikan atau penurunan aktivitas magnetik Matahari merupakan parameter yang telah diaplikasikan secara luas untuk menginvestigasi hubungan Matahari dan iklim di Bumi. Namun pada penelitian ini *FI* digunakan untuk melihat hubungan

Matahari dengan curah hujan karena variasi *flare* juga telah diteliti mempengaruhi proses elektrifikasi awan dan hujan melalui mekanisme radiasi medan elektrik dan ionisasi akibat redistribusi energi di atmosfer (Bhattacharya *et al.*, 2011).

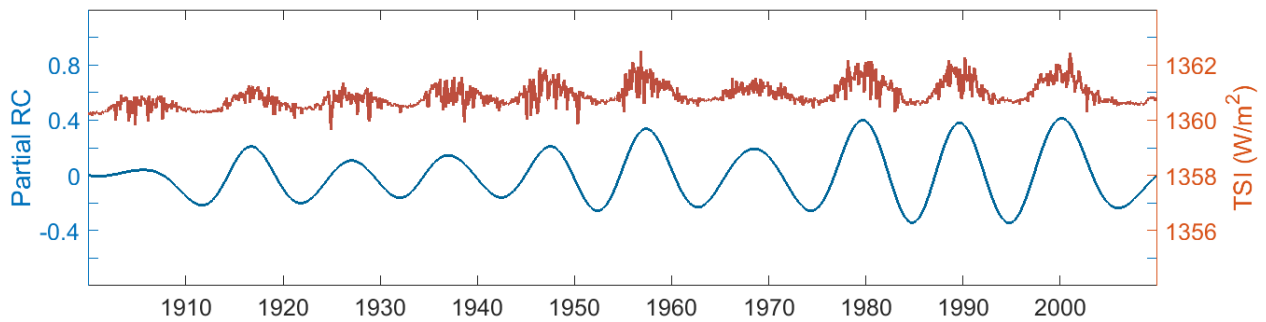
Wolf (1852) menyebutkan bahwa terdapat siklus Matahari ~11,8 tahunan. Namun terdapat variasi dari siklus tersebut dengan rentang 8 hingga 17 tahunan. Selain itu, terdapat siklus ~22 tahun, disebut juga *Hale cycle*, yang menggambarkan siklus medan magnetik Matahari dan siklus ~88 tahunan (bervariasi dengan rentang 87-89 tahun), atau disebut juga *Gleissberg cycle* yang berkaitan dengan siklus pembentukan bintik Matahari. Siklus Matahari ini termanifestasi dalam bentuk variabilitas Matahari, Interaksi Matahari-Bumi, dan fenomena iklim di Bumi (Peristykh dan Damon, 2003).

Tabel 3-1: HASIL DEKOMPOSISI SSA UNTUK 90% *MODE* UTAMA *FI* YANG DIKELOMPOKKAN BERDASARKAN 5 PERIODE OSILASI DENGAN TOTAL *EXPLAINED VARIANCE* UNTUK TIAP PERIODE

Periode (tahun)	% kumulatif Explained Variance (EV)	Reconstructed components (RCs)
< 2	14,05	43
3-7	3,38	5
8-12	41,13	2
22,5	1,29	1
>23	30,07	1



Gambar 3-1: Hasil dekomposisi SSA terhadap *Flare Index (FI)* untuk periode 8-12 tahun yang mencakup 41,13% *EV* dari variabilitas data.



Gambar 3-2: Perbandingan TSI bulanan (sumbu-y kanan) dan hasil dekomposisi SSA TSI untuk periode 8-12 tahun (sumbu-y kiri) yang mencakup 51,37% dari variabilitas data.

Hasil dekomposisi SSA terhadap *FI* bulanan dari tahun 1981-2010 menggambarkan bahwa aktivitas *flare* Matahari paling dominan pada siklus 8-12 tahunan yang mencakup 41,13% variabilitas data. Gambar 3-1, merupakan grafik dekomposisi *FI mode* dominan data yang dihasilkan dari penjumlahan *RCs* ke-2 dan 3 dengan periode osilasi 8-12 tahunan. Periode ini mencapai siklus *decadal maxima* pada tahun 1991 dan 2000 serta periode minimum sekitar tahun 1996. Siklus 22,5 tahunan juga teridentifikasi dalam data, tetapi dengan magnitudo yang lebih kecil, yaitu 1,29%. Untuk hasil periode, persentase *EV*, dan *RCs* lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 3-1. Pada tahap ini *window length* 180 bulan diaplikasikan untuk seluruh proses perhitungan SSA dan hasil dekomposisi diambil untuk 90% *mode* utama.

Tabel 3-2: HASIL DEKOMPOSISI SSA UNTUK 100% *MODE* UTAMA *TSI* YANG DIKELOMPOKKAN BERDASARKAN 5 PERIODE OSILASI DENGAN TOTAL *EXPLAINED VARIANCE* UNTUK TIAP PERIODE

Periode (tahun)	% kumulatif <i>Explained Variance (EV)</i>	<i>Reconstructed components (RCs)</i>
< 2	0,13	163
3-7	1,12	11
8-12	51,37	2
19,9	5,91	1
89,8	41,44	1

Radiasi Matahari yang diterima Bumi berupa konstanta Matahari atau disebut juga *TSI* merupakan komponen fundamental dalam iklim yang

mengindikasikan total energi yang menggerakkan sistem iklim. Nilai “konstanta” ini sebenarnya tidaklah konstan, melainkan bervariasi ~0,1% dari nilai maksimum dan minimumnya. Hasil analisis SSA data *TSI* periode 1901-2010 dengan mengaplikasikan *window length* yang sama seperti proses pada *FI*, menghasilkan periode dominan sebesar 51,37% dari total *EV* untuk periode 8-12 tahun. Periode osilasi dengan frekuensi terendah menunjukkan adanya siklus dominan 89,8 tahun yang mampu menggambarkan pola jangka panjang variabilitas *TSI*. Sinyal dengan periode ini diasosiasikan dengan dugaan adanya pengaruh dari *Gleissberg cycle* dalam data dan menjelaskan 41,44% dari variabilitas data (Tabel 3-2). Gambar 3-2 merupakan perbandingan rata-rata bulanan *TSI* dengan dekomposisi *TSI* untuk siklus 8-12 tahun. Terlihat bahwa periode *maxima* dan *minima* hasil dekomposisi, konsisten dengan data variasi bulanan *TSI*.

4 ANALISIS VARIABILITAS CURAH HUJAN DAN IDENTIFIKASI PENGARUH AKTIVITAS MATAHARI

Analisis variabilitas curah hujan di wilayah kajian, data dari empat stasiun menunjukkan bahwa curah hujan klimatologi di wilayah kajian didominasi oleh pengaruh monsun musim panas Asia dan Australia, dengan curah hujan paling tinggi pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF). Lokasi LAO di Sumatera bagian selatan yang terletak pada wilayah BMI merupakan area yang terletak antara region monsun musim

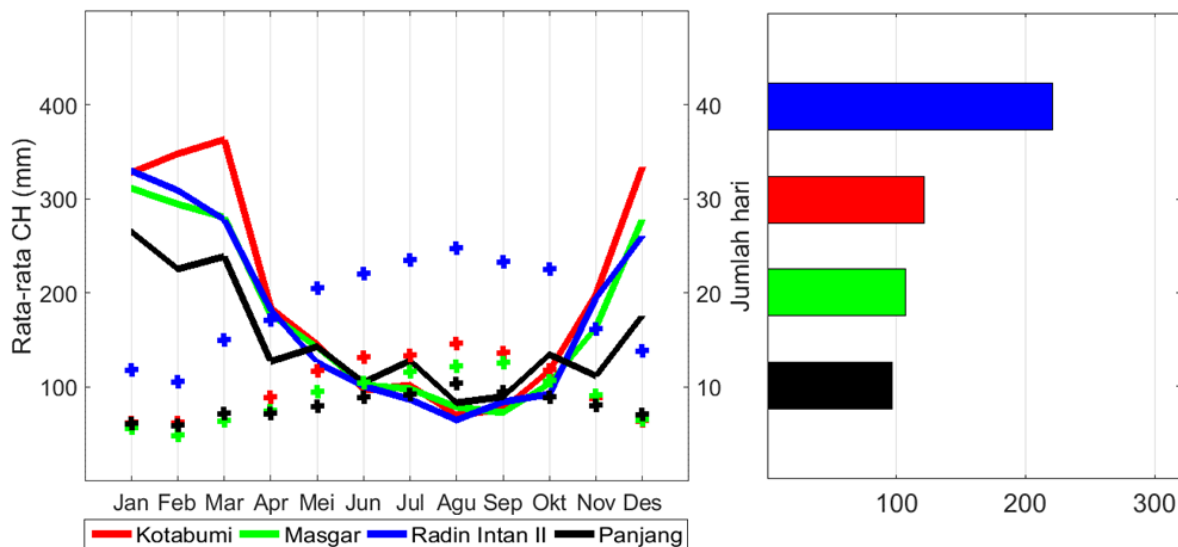
panas Asia dan Australia (Chang *et al.*, 2005). Wilayah ini mengalami pergeseran pusat curah hujan tinggi dengan karakteristik musiman yang mencolok ditandai dengan pergeseran curah hujan dari utara ke selatan ekuator pada Juni-Juli-Agustus (JJA) ke DJF.

Gambar 4-1 menunjukkan karakteristik curah hujan bulanan yang hampir mirip di seluruh stasiun dengan curah hujan minimum terjadi pada JJA. Namun terdapat karakteristik hujan yang sedikit berbeda di stasiun Kotabumi. Ketika wilayah lain mulai mengalami penurunan curah hujan yang konsisten pada Maret-April-Mei (MAM) sebagai masa transisi dari musim penghujan ke kemarau, Kotabumi yang terletak paling utara dibandingkan stasiun lainnya menunjukkan peningkatan rata-rata curah hujan yang signifikan di bulan Maret. Berdasarkan klasifikasi tiga region curah hujan oleh Aldrian dan Susanto (2003), wilayah Lampung termasuk dalam region A dengan pola satu puncak curah hujan tinggi pada DJF. Namun hasil yang kurang konsisten diperoleh di stasiun Kotabumi, yaitu puncak curah hujan yang terjadi pada bulan Maret.

Dekomposisi curah hujan yang diaplikasikan di stasiun Raden Intan II menunjukkan bahwa wilayah ini didominasi oleh siklus <2 tahunan dengan total *EV* 94% yang mengindikasikan pengaruh monsun yang kuat. Meskipun dalam *magnitude* kecil, terdapat pula variabilitas 3-7 tahunan sebesar 3,93% *EV*, dengan periode osilasi 2,36 tahun pada data *FI* dan curah hujan. Periode ini ditemukan pada *RC* 8 dan 9 parameter *FI* dan *RC* 30, 31, 32, 33, dan 36 parameter hujan. Sinyal osilasi 8-12 tahun tidak terindikasi dalam data curah hujan, namun terdapat sinyal osilasi 22,5 tahun dengan persentase yang relatif kecil, yaitu <1%.

Tabel 4-1: SAMA DENGAN TABEL 3-1 UNTUK CURAH HUJAN STASIUN RADEN INTAN II, DAN DIAMBIL 100% *MODE* UTAMA

Periode (tahun)	% kumulatif Explained Variance (<i>EV</i>)	Reconstructed components (<i>RCs</i>)
< 2	94,19	43
3-7	3,93	5
8-12	-	-
22,5	0,35	1
>23	1,35	1

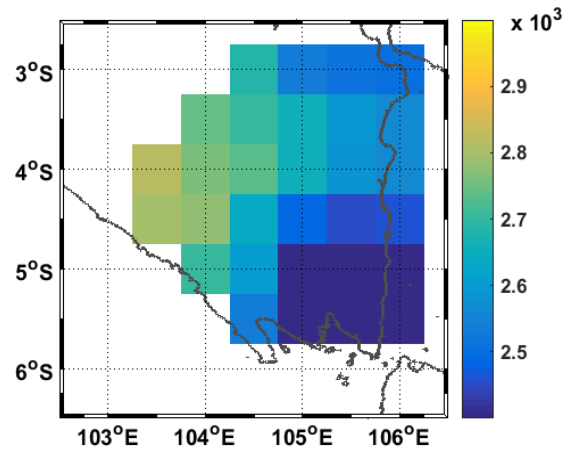


Gambar 4-1: Kiri: rata-rata bulanan curah hujan dan jumlah hari kering untuk 4 stasiun penakar hujan, garis menggambarkan rata-rata curah hujan bulanan (sumbu-y kiri), sedangkan tanda + menunjukkan total hari kering bulanan. Kanan: diagram rata-rata jumlah hari kering tahunan untuk 4 stasiun.

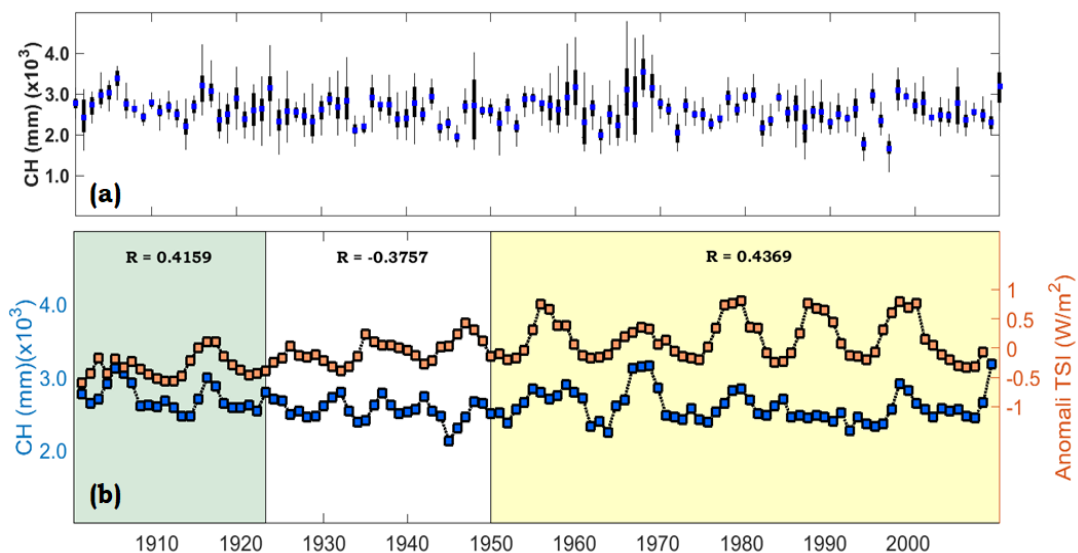
Untuk mengetahui pengaruh variabilitas Matahari dalam periode yang lebih panjang, dilakukan analisis antara data tahunan curah hujan *GPCC V7* dengan *TSI*. Curah hujan rata-rata tahunan didefinisikan dari rata-rata area 36 *grid* di sekitar wilayah kajian (Gambar 4-2). Rata-rata tahunan selama 110 tahun tiap *grid* bervariasi antara ~2300 hingga ~2800 mm, sehingga perataan wilayah curah hujan tahunan dianggap dapat mewakili pola curah hujan di area kajian. Meskipun terdapat variasi curah hujan yang sedikit berbeda di bagian barat laut wilayah studi yang cenderung lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya, analisis sebaran data curah hujan tahunan (Gambar 4-3a) tidak menunjukkan perbedaan pola yang signifikan.

Pada tahap analisis korelasi variabilitas curah hujan tahunan dengan *TSI*, data curah hujan difilter dengan metode *centered moving average* 3 tahun. Metode ini bermanfaat dalam mereduksi pengaruh osilasi *interannual* ENSO serta membantu memperjelas pola siklus jangka panjang yang mungkin berkaitan dengan variasi siklus Matahari (Reddy

et al., 1988). Analisis ini menghasilkan korelasi tertinggi pada *lag-time* 1 tahun, dengan perhitungan korelasi diterapkan pada tiga periode yang berbeda. Hasil yang berbeda diperoleh pada penelitian Tsiropoula (2002) dimana korelasi terbaik diperoleh pada *lag-time* 4 tahun di wilayah Oregon dan Washington, Amerika Serikat.



Gambar 4-2: Rata-rata tahunan curah hujan GPCC serta deskripsi curah hujan wilayah yang dirata-ratakan pada 30 *grid* di sekitar wilayah kajian. Skala warna dalam satuan mm.



Gambar 4-3: (a) *Box plot* sebaran nilai curah hujan tahunan GPCC pada 30 *grid* di sekitar wilayah LAO, dengan titik warna biru menunjukkan curah hujan rata-rata wilayah. (b) Perbandingan curah hujan tahunan wilayah dengan rata-rata tahunan TSI, dengan *lag-time* 1 tahun.

Korelasi positif yang signifikan terdapat pada periode 1981-1923 dan 1950-2010, dengan korelasi 0,415 dan 0,436. Sedangkan periode 1924-1950, nilai curah hujan tahunan berkorelasi negatif dengan *TSI* (Gambar 4-3b). Hasil pada penelitian ini memiliki pola yang sama dengan penelitian sebelumnya oleh Hiremath (2006) yang menunjukkan adanya korelasi negatif antara curah hujan musiman di India dengan radiasi Matahari pada panjang gelombang 200-295 nm pada rentang periode ~1920 hingga ~1940 an.

5 DISKUSI DAN RINGKASAN

Aktivitas Matahari merupakan parameter yang berpengaruh terhadap sistem iklim di Bumi. Analisis korelasi iklim dengan variabilitas aktivitas Matahari telah banyak dilakukan, di antaranya adanya hubungan siklus 11 tahunan Matahari dengan perubahan sirkulasi meridional (Kuznetsova dan Tsirulnik, 2004). Namun hubungan korelatif antara parameter iklim terhadap variabilitas tersebut masih belum diketahui karena terdapat beberapa korelasi yang saling berkebalikan dan berbeda fasa pada beberapa kajian yang belum bisa dijelaskan. Beberapa analisis fisis telah diajukan untuk menjelaskan periode *out of phase* dari parameter iklim ini, di antaranya oleh Tinsley dan Heelis, (1993), respons akibat aktivitas vulkanik (Robock, 2000), intrusi partikel debu antarbintang, dinamika atmosfer-laut, dan efek gas rumah kaca.

Lag-time antara respons hujan terhadap aktivitas Matahari mengindikasikan adanya mekanisme lain yang mungkin menghubungkan kedua variabel ini karena beberapa wilayah memberikan respons data iklim dengan *lag-time* yang berbeda-beda.

Meskipun dengan persentase yang relatif kecil, terdapat sinyal dengan periode yang sama antara curah hujan dengan *FI* dan *TSI* dengan osilasi 3-7 dan 22,5 tahun. Hal ini mengindikasikan

adanya pengaruh perubahan aktivitas Matahari terhadap parameter iklim pada skala waktu *interannual* dan *interdecadal* di wilayah kajian. Region BMI dipengaruhi oleh variabilitas *interannual ENSO* (Chang, 2004; Rauniyar dan Walsh, 2013) dengan variabilitas iklim yang berkorelasi signifikan oleh perubahan aktivitas Matahari (Hood *et al.*, 2010). Sebagai variabilitas iklim utama skala global, ENSO diduga menjadi salah satu penghubung antara aktivitas Matahari dengan variasi curah hujan, tetapi manifestasi pengaruh aktivitas Matahari terhadap ENSO sendiri masih belum banyak diteliti. Keterkaitan kedua fenomena tersebut memerlukan kajian untuk jangka waktu yang lebih panjang agar dapat menjelaskan mekanisme penghubung aktivitas Matahari dengan parameter iklim.

Analisis jangka panjang menunjukkan aktivitas Matahari yang cukup berkorelasi dengan curah hujan tahunan di wilayah kajian, meskipun terdapat respons siklus yang berkebalikan pada periode tertentu. Adanya *lag-time* 1 tahun pada *TSI* menunjukkan bahwa pengamatan aktivitas Matahari dapat memberikan informasi penting yang bermanfaat dalam pengembangan sistem prediksi dan proyeksi iklim. Adanya pengaruh langsung dan tidak langsung aktivitas Matahari terhadap iklim di wilayah kajian dapat menjadi salah satu faktor yang mendukung pengembangan studi mengenai pengaruh gangguan di atmosfer yang diakibatkan oleh variabilitas aktivitas Matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat, dan Penjaminan Mutu Institut Teknologi Sumatera yang telah memberikan bantuan sarana dan prasarana penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Ai, G. X., H.L. Shi, H.T. Wu, Y.H. Yan, Y.J. Bian, Y.H. Hu, Z.G. Li, J. Guo, dan X.D. Cai, 2008. *A Positioning System based on Communication Satellites and the Chinese Area Positioning System (CAPS)*, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 8, 6, 611–630.
- Aldrian, E. dan D. Susanto, 2003. *Identification of three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature*, International Journal of Climatology, 23: 1435-1452.
- Ataç, T. dan A. Özgüç, 1998. *Flare Index of Solar Cycle 22*, Solar Physics, 180, 397–407.
- Benzi, R., Deidda, R., dan Marrocu, M., 1997. *Characterization of Temperature and Precipitation Fields over Sardinia with Principal Component Analysis and Singular Spectrum Analysis*, International Journal of Climatology, 17: 1231-1262.
- Bhattacharya, A.B., B. Raha, D.K. Tripathi, dan D. Halder, 2011. *Identification of Solar Flares in the Tropics*, International Journal of Advances in Science and Technology, 3, 2, ISSN 2229 5216.
- Blunden, J. dan D.S. Arndt, 2014. *State of the Climate in 2013*, Bulletin of the American Meteorological Society, 95, S1–S279.
- Chang, C.P., W. Zhuo, J.C. McBride, dan C. Hwang, 2005. *Annual Cycle of Southeast Asia—Maritime Continent Rainfall and the Asymmetric Monsoon Transition*, Journal of Climatology, 18, 287-301.
- Chang, C.P., W. Zhuo, J. Ju, dan T. Li, 2004. *On the Relationship between Western Maritime Continent Monsoon Rainfall and ENSO during Northern Winter*, Journal of Climate, 17, 665–672
- Coddington, O., J.L. Lean, P. Pilewskie, M. snow, dan D. Lindholm, 2016. *A Solar Irradiance Climate Data Record*, Bulletin of the American Meteorological Society, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00265.1.
- Cooke, A., 2012. *Astronomy and the Climate Crisis*, Springer-Verlag New York, XVIII, 280, DOI:10.1007/978-1-4614-4608-8.
- Djameluddin, T., 2003. *Solar Activity Influence on Climate in Indonesia*, Proc. ISCS 2003 Symposium, “Solar Variability as an Input to the Earth’s Environment”, Tatranska Lomnica, Slovakia, 23-28 June 2003.
- ESO, 2009. *Astronomical Observatory Sites by Latitude and Longitude*, www.eso.org, diakses 19 November 2017.
- Georgieva, K., B. Kirov, dan C. Bianchi, 2005. *Long-term Variations in the Correlation between Solar Activity and Climate*, Mem. Societe Astronomica Italiana, 76, 965.
- Ghil, M., M.R. Allen, M. D. Dettinger, K. Ide, D. Kondrashov, M.E. Mann, A.W. Robertson, A. Saunders, Y. Tian, F. Varadi, dan P. Yiou, 2001. *Advanced Spectral Methods for Climatic Time Series*, Reviews of Geophysics, DOI: 10.1029/2000RG000092.
- Groth, A. dan M. Ghil, 2015. *Monte Carlo Singular Spectrum Analysis (SSA) Revisited: Detecting Oscillator Clusters in Multivariate Datasets*, Journal of Climate, 28, 7873–7893. DOI:10.1175/JCLI-D-15-0100.1
- Hiremath, K.M., 2006. *The Influence of solar Activity on the Rainfall over India: Cycle-to-Cycle Variations*, Journal of Astrophysics and Astronomy, 27, 367–372.
- Jabiri, A., Z. Benkhaldoun, J. Vernin, dan C. Muñoz-Tuñón, 2000. *A Meteorological and Photometric Study of the Oukaimeden Site. Comparison with the Observatorio del Roque de los Muchachos using Carlsberg Automatic Meridian Circle Data*, Astronomy and Astrophysics Supplement, 147, p.271-284.
- Hood, L.L., B.E. Soukharev dan J.P. McCormack, 2010. *Decadal Variability of the Tropical Stratosphere: Secondary Influence of the El Niño–Southern Oscillation*, Journal of Geophysical Research, 115, D11113, doi:10.1029/2009JD01229.
- NASA, 2013. *Space-based Astronomy: an Educator Guide with Activities for Science, Mathematics, and Technology*

- Education, National Aeronautics and Space Administration (NASA). EG-2001-01-122-HQ.
- Peristykh, A.N. dan P.E. Damon, 2003. *Persistence of the Gleissberg 88-year Solar Cycle Over the Last ~12,000 Years: Evidence from Cosmogenic Isotopes*, Journal of Geophysical Research, 108, A1, 1003.
- Rauniyar, S. P. dan K. J. Walsh, 2013: *Influence of ENSO on the Diurnal Cycle of Rainfall over the Maritime Continent and Australia*, Journal of Climate, 26,1304–1321. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00124.1.
- Reddy, R.S., V.R. Neralla, dan W.L. Godson, 1988. *The Solar Cycle and Indian Rainfall*, Theoretical and Applied Climatolology 39, 194-198.
- Rusnadi, I.E. dan W. Sinambela, 2008. *Pengaruh Aktivitas Matahari pada Curah Hujan di Atas Indonesia: Variasi Siklus ke Siklus*, Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara, 3, 1, Maret 2008: 1-9.
- Robock, A., 2000. *Volcanic eruptions and climate*, Reviews of Geophysics, 38, 191-219.
- Rosenberg, M., G. Bladon, P. Russo, dan L.L. Christensen, 2014. *Astronomy in Everyday Life*, Communicating Astronomy with the Public Journal, 14, p.30.
- Schneider, U., A. Becker, P. Finger, A. Meyer-Christoffer, B. Rudolf, dan M. Ziese, 2011. *GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data*, Global Precipitation Climatology Centre. DOI: 10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V7_050.
- Sinambela, W., T. Dani, I.E. Rusnadi, dan J.T. Nugroho, 2008. *Pengaruh Aktivitas Matahari pada Variasi Curah Hujan di Indonesia*, Jurnal Sains Dirgantara, 5, 2, Juni 2008: 149-168.
- Solheim, J-E., K. Stordahl, O. Humlum, 2012. *The long sunspot cycle 23 predicts a significant temperature decrease in cycle 24*, Journal of Atmospheric Solar-Terrestrial Physics, 80, pp 267-284.
- Stobie, R. S., 1995. *Prospects for Astronomical Development in South Africa*, Astrophysics and Space Science, 230, Issue 1–2, pp 9–15.
- Sun, M., X. Li, dan G. Kim, 2018. *Precipitation analysis and forecasting using singular spectrum analysis with artificial neural networks*, Cluster Computing. DOI:10.1007/s10586-018-1713-2.
- Thomas, B.C., C.H. Jackman, dan A.L. Melott (2007). *Modeling atmospheric effects of the September 1859 solar flare*, Geophysical Research Letter, 34, L06810. DOI:10.1029/2006GL029174.
- Tinsley, B.A. dan R.A. Heelis, 1993. *Correlation of Atmospheric Dynamics with Solar Activity. Evidence for a connection via the solar-wind, atmospheric electricity, and cloud microphysics*, Journal of Geophysical Research, 98, 10375–10384.
- Tsiropoula, G., 2003. *Signatures of Solar Activity Variability in Meteorological Parameters*, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 65, 469–482.
- Wolf, J. R. 1852, *Vergleichung der Sonnenflecken Periode mit der Periode der magnetische Variationen*, Mitth. Der naturforsch. Gessel. Bern 224-264 Nr. 255, 249-270.
- Yamanaka, M., 2016. *Physical Climatology of Indonesian Maritime Continent: An Outline to Comprehend Observational Studies*, Atmospheric Research, 178–179, 231–259. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.03.017.
- Zhou Q., W. Chen, dan W. Zhou, 2013. *Solar Cycle Modulation of the ENSO Impact on the Winter Climate of East Asia*, Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 118, 5111–5119.