

Dampak Variabilitas Iklim *Inter-Annual* (*El Niño, La Niña*) Terhadap Curah Hujan dan Anomali Tinggi Muka Laut di Pantai Utara Jawa Tengah

Meida Yustiana^{1,3*}, Muhammad Zainuri², Denny Nugroho Sugianto²,
Mahardiani Putri Naulia Batubara¹, Anistia Malinda Hidayat³

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

³Stasiun Meteorologi Kelas II Ahmad Yani Semarang, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. PUAD Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani, Semarang
Email: meyusti@gmail.com

Abstrak

El Niño dan La Niña memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika cuaca di wilayah Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak fenomena tersebut terhadap curah hujan (CH) dan anomali tinggi muka laut (TML) di Pantai Utara Jawa Tengah meliputi wilayah Brebes, Pemalang, Pekalongan dan Semarang menggunakan analisis kuantitatif deskriptif selama 1993 – 2020. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah anomali TML, anomali suhu permukaan laut, dan data observasi CH bulanan dari pos hujan Pusdataru dan BMKG. Data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik anomali CH dan grafik overlay indeks Nino 3.4 dan anomali TML yang dikelompokkan berdasarkan data komposit 3 bulan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada periode pengamatan terjadi 2 kali El Niño sangat kuat pada November 1997 dan November 2015 dan juga 2 kali La Niña kuat pada Januari 2000 dan Januari 2008 dengan periode perulangan rerata setiap 8 tahun. Hubungan signifikan antara El Niño dan La Niña yang diwakili oleh indeks Nino 3.4 terhadap CH di Indonesia terjadi pada periode September-Oktober-November (SON), dengan nilai koefisien korelasi $-0.53692 - (-0.7304)$. Masih dalam periode yang sama, hubungan anomali CH dan anomali TML juga menunjukkan nilai koefisien korelasi tertinggi di Semarang, Pekalongan dan Pemalang sebesar $0.546202 - 0.676914$.

Kata kunci : *El Niño, La Niña*, anomali TML, Curah hujan

Abstract

Study of Interannual Climate Variability (El Nino, La Nina) Impacts to The Rainfall and Sea Level Anomaly in North Coast of Central Java

El Niño and La Niña are two of several components of climate variability which has significant influence toward weather dynamics over Indonesia, including on the North Coast of Central Java. For this reason, this research aims to determine the impact of these two phenomena on rainfall and sea level anomaly (SLA) on the North Coast of Central Java covering Brebes, Pemalang, Pekalongan, and Semarang Regions using descriptive quantitative analysis using data from 1993 – 2020. The data used in this study were SLA, sea surface temperature anomaly in the Nino 3.4 region, and monthly rainfall observation data from the Pusdataru and BMKG rain posts, displayed in the form of a rainfall anomaly graph and an overlay graph of the Nino 3.4 index and SLA and grouped based on 3 months composite data. The analysis result showed that during the observation period there were two strong El Niño, in November 1997 and 2015, and also two strong La Niña in January 2000 and 2008 with a repeating period every eight years. The significant relationship between El Niño and La Niña represented by the Nino index 3.4 on rainfall in Indonesia occurred in September-October-November (SON), with a correlation coefficient of $-0.53692 - (-0.7304)$. Still in the same period, the

relationship between rainfall anomaly and SLA also showed that the highest correlation coefficient value occurs in the SON month in Semarang, Pekalongan, and Pemalang at 0.546202 - 0.676914.

Keywords : *El Niño, La Niña, Sea Level Anomaly, Rainfall*

PENDAHULUAN

Benua maritim Indonesia berada di kawasan tropis yang merupakan pusat sirkulasi atmosfer dan sirkulasi laut global. Pengaruh dinamika *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), meliputi *El Niño* dan *La Niña* terhadap iklim benua maritim sangat kuat. Hal ini sangat mempengaruhi aspek kehidupan manusia seperti perikanan, pertanian, kebakaran hutan, sumber daya air dan juga energi. Selain itu, dampak dari pemanasan global memainkan peranan penting terhadap perubahan iklim lokal (Aldrian, 2008) serta pola dari variabilitas iklim secara umum.

Perairan Indonesia termasuk salah satu wilayah yang terdampak oleh fenomena ENSO. ENSO yang merupakan dinamika atmosfer dan laut di sekitar Samudera Pasifik memiliki kaitan erat dengan dinamika laut dan cuaca wilayah Indonesia. Selama periode *El Niño*, permukaan laut mengalami anomali positif dengan kenaikan puluhan sentimeter di Samudra Pasifik Timur dan anomali negatif di Samudra Pasifik Barat (Gordon, 2005; Pampanglola, 2019). Kondisi demikian juga akan mempengaruhi wilayah Indonesia sementara kondisi yang berbeda diamati selama periode *La Niña*, di mana anomali tinggi muka laut positif diamati di wilayah Indonesia dan anomali tinggi muka laut negatif diamati di sekitar wilayah Samudra Pasifik Timur.

Berdasarkan Rahmawan dan Wisna (2019), Pantai Barat Sumatra dan Pantai Utara Jawa merupakan wilayah pesisir yang sangat rawan akibat pengaruh langsung *Sea Level Anomaly* sebagai bentuk interaksi laut-atmosfer dari Samudra Hindia dan Pasifik. Studi sebelumnya menyebutkan bahwa fenomena ENSO merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kenaikan atau penurunan tinggi muka laut. *El Niño* yang aktif di wilayah Indonesia akan menyebabkan penurunan ketinggian muka air laut akibat perpindahan massa air di perairan Indonesia ke setiap sisi Samudra Hindia Barat dan Samudra Pasifik Timur. Sementara itu pada saat *La Niña* akan terjadi kenaikan tinggi muka laut akibat pertambahan massa air yang berpindah dari Samudra Hindia barat dan Samudra Pasifik Timur ke wilayah perairan Indonesia, khususnya di wilayah utara dan

selatan Jawa (Fadlan *et al.*, 2017).

El Niño yang terjadi antara tahun 1997 dan 1998 menyebabkan Indonesia mengalami peningkatan intensitas musim kemarau yang berkepanjangan. Sedangkan fenomena *La Niña* yang terjadi pada tahun 1999 menyebabkan Indonesia mengalami peningkatan curah hujan yang menyebabkan kenaikan muka air laut sehingga terjadi banjir di sebagian besar wilayah Indonesia, terutama wilayah pesisir (Handoko *et al.*, 2021). Suwandi *et al.*, (2014) telah melakukan penelitian untuk mengetahui tingkat hubungan antara aktivitas *El Niño* dan *La Niña* terhadap perubahan ketiga pola hujan (lokal, monsunal dan ekuatorial) secara kuantitatif yang dilihat dari nilai korelasi antara aktivitas *El Niño* dan *La Niña* dengan curah hujan bulanan pada periode 1961-1990 di wilayah Maluku dan Papua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode tersebut terjadi aktivitas *El Niño* dan *La Niña* terkuat selama periode seratus tahun. Korelasi antara indeks Nino 3.4 dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) dengan curah hujan bulanan di Wilayah Maluku dan Papua menunjukkan kaitan yang signifikan antara aktivitas ENSO dan *Dipole Mode* dengan curah hujan bulanan selama periode seratus tahun. Wilayah dengan pola hujan lokal mengalami dampak terbesar akibat adanya fenomena ENSO dan IOD, sedangkan wilayah dengan pola hujan monsunal berdampak terhadap pergeseran awal musim hujan dan musim kemarau.

Menurut Hidayat dan Ando (2014) dampak ENSO/IOD terlihat dominan pada JJA-SON yang dicirikan dengan anomali negatif curah hujan di sebagian besar wilayah Indonesia. Sementara pada DJF-MAM, anomali positif curah hujan relatif tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap penurunan curah hujan di Indonesia. Hal ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Hidayat *et al.* (2018) menyatakan bahwa fenomena ENSO memberikan dampak dan hubungan paling signifikan pada curah hujan periode bulan September-Oktober-November di Wilayah Semarang.

Populasi penduduk di pesisir Pantura Jawa tercatat cukup tinggi yaitu mencapai 36.516.035 jiwa atau sekitar 24,1% dari total populasi penduduk Pulau Jawa (BPS, 2022), sehingga setiap fenomena

cuaca ekstrem memiliki tingkat risiko yang tinggi di daerah tersebut. Lebih lanjut, pantai utara Jawa juga memiliki masalah lain akibat dari perkembangan dan pemanfaatan ruang pesisir yang cepat tetapi kurang memperhatikan aspek lingkungan. Dampak dari pemanfaatan ruang pesisir yang kurang memperhatikan faktor interaksi antara komponen biotik-abiotik antara lain yaitu abrasi, sedimentasi, banjir sungai dan air laut (rob), serta penurunan muka tanah (*subsidence*). Hal ini merupakan tantangan serius bagi pemerintah pusat dan daerah dalam mengambil langkah antisipatif seperti mitigasi pencegahan dan adaptasi dampak akibat perubahan yang ditimbulkan untuk menekan angka kerugian ekonomi dan ekologi yang akan terus meningkat hingga beberapa tahun ke depan (Solihuddin *et al.*, 2019).

Wilayah yang berbatasan langsung dengan pesisir seperti pada kota-kota di utara Jawa Tengah umumnya rawan terdampak banjir pasang atau rob seperti Brebes, Pemalang, Pekalongan dan Semarang. Berdasarkan Buku Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) Tahun 2020 yang telah disusun oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), keempat kabupaten/kota tersebut berada pada kelas indeks risiko tinggi terhadap ancaman banjir. Hal ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi para pengambil kebijakan di tingkat nasional dan wilayah untuk menentukan prioritas upaya penanggulangan bencana di wilayahnya masing-masing guna menurunkan indeks risiko bencana.

Penelitian terkait anomali TML dan kaitannya dengan variabilitas iklim telah banyak dilakukan. Sarsito *et al.* (2019) menyebut bahwa anomali TML menggambarkan parameter paling penting dalam mendeskripsikan dinamika laut. Rerata perubahan TML tiap tahun bervariasi antara 3,4 – 5,3 mm, lebih tinggi dibandingkan rerata perubahan TML global yang berkisar 3,2 mm/tahun. Lebih lanjut, penelitian Sulaiha *et al.* (2020) menunjukkan bahwa rerata laju perubahan TML paling tinggi diamati di Laut Jawa bagian utara dan selatan, yakni sekitar 7-9 mm/tahun. Oleh karena itu, variasi anomali TML dan kaitannya dengan kerentanan dan kebencanaan di wilayah pesisir, khususnya di Laut Jawa, perlu menjadi perhatian.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data anomali tinggi muka laut, yang diperoleh dari

<https://marine.copernicus.eu/> tahun 1993 – 2020 sebagai variabel terikat. Data anomali tinggi muka air laut menggunakan satelit altimetri yang merupakan satelit multi misi level 4 dengan resolusi spasial 25 km. Lebih lanjut, data curah hujan bulanan, dari pos hujan yang terletak di dekat wilayah pesisir Brebes, Pemalang, Pekalongan dan Semarang juga ditetapkan sebagai variabel terikat dalam penelitian ini. Data tersebut diperoleh dari Pusdataru dan BMKG untuk mengetahui apakah pada saat fenomena ENSO terjadi, terdapat anomali pada variabel curah hujan.

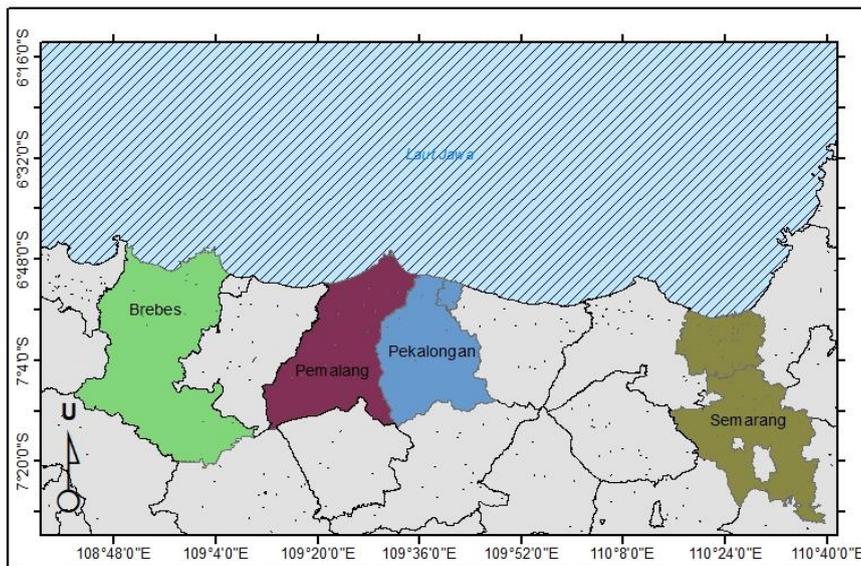
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah lokasi keempat wilayah penelitian (Brebes, Pemalang, Pekalongan, dan Semarang) terdapat di sepanjang pesisir utara Pulau Jawa yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa bagian utara, kejadian ENSO dianalisis pada waktu yang sama pada keempat wilayah, dan pola curah hujan keempat wilayah yang merupakan pola hujan musonal (Gambar 1). Pola curah hujan musonal memiliki satu puncak musim hujan (unimodial), di mana musim hujan umumnya terjadi pada periode Bulan Desember-Januari-Februari (DJF) dan musim kemarau terjadi pada periode Bulan Juni-Juli-Agustus (JJA).

Sementara itu, data anomali suhu permukaan laut (SPL) bulanan pada wilayah Nino 3.4 diunduh dari laman National Oceanic and Atmospheric Administration atau NOAA (https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino34.long.anom.data). Data anomali SPL tersebut memiliki resolusi spasial $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ dan tersedia dari tahun 1891 hingga sekarang. Data ini digunakan untuk mengetahui waktu terjadinya fenomena ENSO (*El Niño* dan *La Niña*).

Analisis data anomali TML dilakukan hanya pada saat lembah dan puncak ekstrem saja. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ENSO terhadap anomali TML maupun anomali curah hujan. Sedangkan analisis data observasi curah hujan bulanan dilakukan dengan menghitung anomali curah hujan bulanan selama 28 tahun. Anomali curah hujan merupakan selisih antara nilai pengamatan curah hujan pada bulan ke-*i* dengan nilai rata-rata curah hujan dalam periode bulan yang sama. Anomali data curah hujan dihitung dengan menggunakan persamaan [1] sebagai berikut:

$$\text{Anomali curah hujan} = X_i - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \right)$$

Keterangan: X_i = jumlah curah hujan pada bulan ke-*i* (mm); N = jumlah hari hujan yang diamati pada bulan ke-*i* untuk menghitung nilai rata-rata curah hujan



Gambar 1. Peta wilayah penelitian, di mana daerah yang diberi warna merupakan daerah fokus penelitian (Hijau: Brebes, Ungu: Pemalang, Biru: Pekalongan, Coklat: Semarang), area yang diarsir merupakan area ekstraksi nilai TML

Hasil pengolahan data anomali curah hujan, indeks suhu muka laut Nino 3.4, serta anomali TML dirata-ratakan setiap tiga bulan berdasarkan periode monsun yaitu, Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON). Sebagaimana hasil pengolahan data anomali curah hujan, indeks Nino 3.4, dan anomali TML, analisis korelasi ketiga parameter juga dihitung setiap tiga bulan berdasarkan periode monsunnya. Analisis korelasi ini menghasilkan koefisien korelasi yang menunjukkan tingkat derajat hubungan antara curah hujan, SPL, dan anomali TML. Nilai korelasi antara anomali curah hujan dan indeks Nino 3.4 maupun anomali TML dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}}$$

Keterangan: r = koefisien korelasi pearson; x = variabel bebas; y = variabel terikat; n = banyak sampel

Nilai r yang diperoleh pada persamaan di atas dapat dianalisis dengan menggunakan tabel klasifikasi (Smith, 2018; Miftahuddin *et al.*, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian pada tahun 1993-2020, anomali indeks di wilayah Nino 3.4

mencapai maksimum pada November 1997 dengan nilai anomali 2.42 dan November 2015 dengan nilai anomali 2.57. Di sisi lain, indeks Nino 3.4 mencapai minimum pada Januari 2000 dan 2008, dengan nilai anomali -1.79.

Nilai indeks nino 3.4 pada Gambar 2 menunjukkan anomali SPL yang berbanding terbalik dengan nilai anomali TML. Grafik overlay indeks Nino 3.4 dengan anomali TML pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pada saat *El Niño* grafik indeks Nino 3.4 menunjukkan nilai positif, sedangkan nilai anomali TML mengalami penurunan. Sementara itu saat terjadi *La Niña* yang ditandai dengan grafik indeks Nino 3.4 yang bernilai negatif, nilai anomali TML mengalami peningkatan.

Analisis korelasi antara anomali indeks Nino 3.4 dengan curah hujan dan juga curah hujan dengan anomali TML yang diamati pada 4 Kabupaten/Kota yaitu di Brebes, Pemalang, Pekalongan dan Semarang, ditampilkan pada Tabel 1 dan 2. Hasil perhitungan nilai korelasi ketiga parameter tersebut akan dianalisis berdasarkan pembagian periode monsun, yaitu monsun barat (DJF), monsun peralihan I (MAM), monsun timur (JJA) dan monsun peralihan II (SON).

Analisis korelasi indeks Nino 3.4 (*El Niño* dan *La Niña*) terhadap curah hujan periode DJF

Hasil analisis korelasi antara anomali curah hujan dengan indeks nino 3.4 selama periode DJF

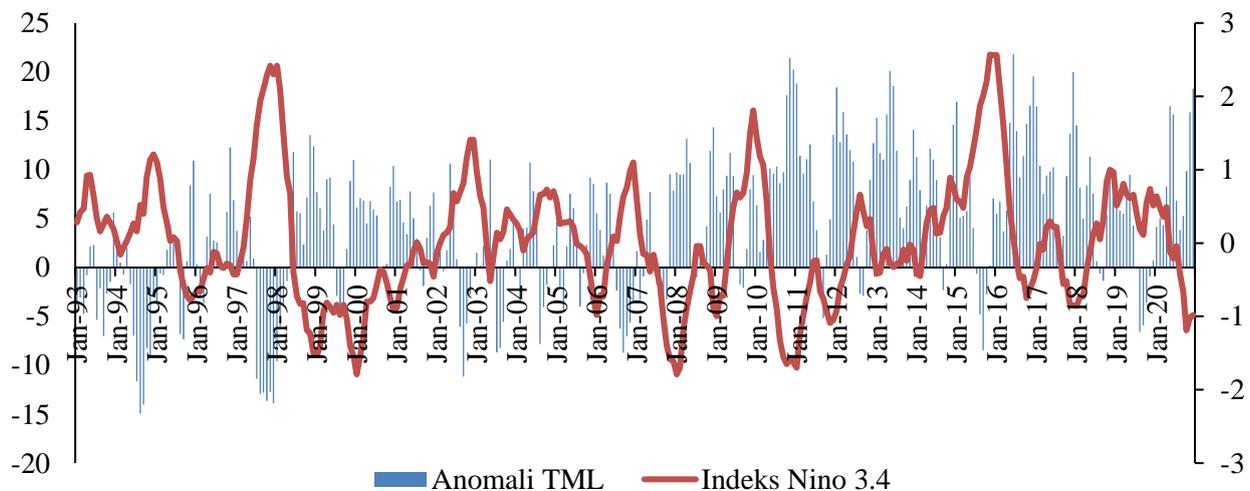
ditunjukkan pada Tabel 1. Korelasi yang lemah antara curah hujan dengan indeks nino 3.4 teramati di seluruh wilayah penelitian dengan nilai korelasi negatif di wilayah Semarang, Pekalongan dan Pemalang yang berturut-turut -0.23678, -0.16134, -0.1733. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada saat terjadi peningkatan curah hujan di ketiga wilayah tersebut, kondisi SPL di Laut Jawa sisi utara wilayah yang bersangkutan mengalami penurunan. Begitu juga sebaliknya, saat SPL mengalami peningkatan terjadi penurunan curah hujan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dan Ando (2014) dimana pada periode DJF-MAM, anomali positif curah hujan mengindikasikan bahwa ENSO/ID relatif tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap penurunan curah hujan di Indonesia. Merujuk pada dinamika musiman ENSO, hal senada juga disampaikan oleh Kurniadi *et al.* (2021) yang menunjukkan bahwa dampak ENSO pada curah hujan ekstrem cenderung lemah selama periode DJF-MAM.

Anomali positif curah hujan di wilayah juga dapat disebabkan oleh SPL di wilayah Indonesia yang cenderung hangat dibanding rata-ratanya selama periode DJF. Untuk periode Desember-Januari, tidak terlihat pengaruh anomali suhu permukaan laut yang signifikan terhadap perubahan curah hujan di Jawa (Mulyana, 2000). Sementara itu nilai korelasi positif teramati di wilayah Brebes yang mengindikasikan bahwa peningkatan curah hujan diikuti dengan peningkatan SPL.

Distribusi SPL di wilayah Indonesia berhubungan erat dengan siklus monsun di mana terlihat pada bulan DJF, SPL di bumi belahan selatan (BBS) cenderung lebih hangat dibandingkan bumi belahan utara (BBU). Hal ini bertepatan dengan aktifnya monsun Asia dan posisi matahari berada di BBS. SPL di wilayah Indonesia pada bulan DJF berkisar antara 28-29,5°C dan untuk wilayah BBS relatif lebih hangat dibanding BBU. Pada Bulan Desember, umumnya perairan di wilayah Indonesia mengalami tren peningkatan SPL dengan probabilitas $\geq 95\%$. Hampir seluruh wilayah

Tabel 1. Korelasi curah hujan dengan indeks Nino 3.4 pada periode DJF, MAM, JJA dan SON

Pos Hujan	DJF		MAM		JJA		SON	
	<i>r</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan
Semarang	-0.23678	Lemah	0.031364	Lemah	-0.55604	Cukup kuat	-0.61034	Kuat
Pekalongan	-0.16134	Lemah	-0.11172	Lemah	-0.37356	Lemah	-0.73041	Kuat
Brebes	0.238078	Lemah	0.245985	Lemah	0.339013	Lemah	0.13776	Lemah
Pemalang	-0.1733	Lemah	0.147819	Lemah	-0.48013	Cukup kuat	-0.53692	Cukup kuat



Gambar 2. Grafik Overlay Indeks Nino 3.4 dengan Anomali TML Tahun 1993 – 2020 di Pantai Utara Jawa Tengah

perairan terutama di sisi selatan meliputi Laut Jawa bagian tengah ke timur mengalami tren peningkatan suhu permukaan laut (Habibie dan Nuraini, 2014). Naiknya SPL selama periode ini dipicu adanya arus kolam panas Pasifik tengah ke wilayah Pasifik barat. Selain itu, kuatnya angin pasat selama periode ini menyebabkan terjadinya *downwelling* di sepanjang wilayah pesisir utara Laut Jawa (Mahagnyana *et al.*, 2017) yang mentranspor air permukaan hangat akibat matahari ke sepanjang wilayah pesisir.

Analisis korelasi indeks Nino 3.4 (*El Niño* dan *La Niña*) terhadap curah hujan periode MAM

Korelasi indeks Nino 3.4 dan curah hujan pada periode MAM ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai korelasi antara indeks Nino 3.4 dengan curah hujan di wilayah penelitian tergolong rendah, berkisar antara 0,031 - (-0.246). Hal tersebut mengindikasikan bahwa selama periode MAM yang notabene merupakan fase peralihan antara musim penghujan ke musim kemarau, ENSO umumnya belum menguat sehingga memiliki pengaruh yang lemah terhadap intensitas curah hujan di wilayah penelitian. Selaras dengan yang diteliti Kurniadi *et al.* (2021), pengaruh ENSO terhadap curah hujan tergolong lemah pada periode ini.

Selama periode MAM, terdapat korelasi positif antara curah hujan dengan indeks Nino 3.4 di wilayah Semarang, Brebes dan Pemalang. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan anomali SPL di wilayah Nino 3.4 akan diikuti dengan peningkatan curah hujan di tiga wilayah tersebut dengan hubungan korelasi yang lemah, sementara itu korelasi curah hujan dan indeks Nino 3.4 di wilayah Pekalongan menunjukkan nilai koefisien korelasi negatif. Pada musim peralihan sebaran SPL di wilayah Indonesia hampir merata, tidak ada perbedaan mencolok antara BBU dan BBS, berkebalikan dengan kondisi saat periode monsun. Secara umum pada periode MAM, SPL wilayah Indonesia paling hangat dibandingkan periode yang lain. SPL pada periode ini berkisar antara 29-30 °C. Wilayah yang paling hangat meliputi pantai barat Sumatera, Selat Malaka, Selat Karimata, Laut Jawa bagian utara dan perairan sekitar Kendari (Habibie dan Nuraini, 2014).

Analisis korelasi indeks nino 3.4 (*El Niño* dan *La Niña*) terhadap curah hujan periode JJA

Selama periode JJA, analisis data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa indeks Nino 3.4 memiliki

korelasi cukup kuat dengan variabilitas curah hujan di Semarang dan Pemalang, sedangkan di wilayah Pekalongan dan Brebes memiliki korelasi yang lemah. Koefisien korelasi menunjukkan hubungan negatif antara ENSO dengan variabilitas curah hujan yang diamati di Semarang, Pekalongan dan Pemalang.

Pada bulan JJA yang bertepatan dengan periode monsun Australia, wilayah Belahan Bumi Selatan (BBS) lebih dingin dibandingkan dengan Belahan Bumi Utara (BBU). Matahari saat itu berada di BBU sehingga atmosfernya cenderung lebih hangat, hal ini diikuti oleh menghangatnya SPL di BBU (Habibie dan Nuraini, 2014). Pada periode ini, pengaruh ENSO terpantau mulai menguat, terutama di Semarang dan Pemalang. Hasil penelitian ini senada dengan yang dipaparkan Kurniadi *et al.* (2021), di mana ENSO memiliki pengaruh paling kuat selama periode musim kering (JJA-SON). Dalam periode JJA, angin monsun yang berasal dari Australia bertiup searah dengan angin pasat dari sirkulasi Walker yang berhembus dari Pasifik tengah ke Pasifik barat melewati Indonesia. Kedua pola angin ini menyebabkan adanya intensifikasi pengaruh ENSO di wilayah Indonesia, termasuk Pantai Utara Jawa Tengah selama periode JJA. Mengingat gerakan anginnya yang berhembus dari timur, wilayah penelitian yang letaknya paling timur (Semarang) mengalami pengaruh yang lebih besar dibandingkan wilayah penelitian yang terletak paling barat (Brebes). Hal inilah yang dapat menjelaskan tingginya nilai korelasi antara ENSO dan intensitas curah hujan di wilayah Semarang dibandingkan Brebes.

Analisis korelasi indeks nino 3.4 (*El Niño* dan *La Niña*) terhadap curah hujan periode SON

Berdasarkan analisis korelasi antara curah hujan dengan indeks Nino 3.4, terdapat korelasi yang kuat ($r \geq 0.6$) yang terjadi di wilayah Semarang dan Pekalongan (Tabel 1). Sedangkan nilai koefisien korelasi di wilayah Pemalang dan Brebes secara berturut-turut adalah cukup kuat dan lemah. Nilai korelasi negatif di wilayah Semarang, Pekalongan, dan Pemalang menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik antara curah hujan dengan indeks Nino 3.4. Hal ini mengindikasikan bahwa saat indeks Nino 3.4 meningkat maka curah hujan akan menurun, sedangkan jika indeks Nino 3.4 menurun maka curah hujan akan meningkat. Pada periode SON, monsun Australia mulai melemah sehingga angin pasat dari sirkulasi Walker mendominasi dan memiliki pengaruh kuat terhadap

pola angin di wilayah penelitian. Seperti yang diamati selama periode JJA, pengaruh ENSO lebih kuat di wilayah penelitian yang terletak paling timur (Semarang) dan paling lemah di wilayah paling barat penelitian (Brebes). Hal tersebut dapat menjelaskan alasan lebih kuatnya pengaruh ENSO (puncak ENSO) terhadap curah hujan di Jawa selama periode September–Nopember (SON) yang merupakan masa transisi dari musim kemarau menuju musim hujan (Mulyana, 2000). Sehingga, ENSO yang terjadi pada bulan September hingga November akan berdampak signifikan terhadap kekeringan dan penurunan curah hujan (Lisnawati *et al.*, 2018). Jika diamati lebih lanjut, ENSO memiliki korelasi positif sepanjang tahun terhadap curah hujan di Brebes dengan tingkat korelasi lemah. Hal tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh faktor lokal yang lebih kuat atau dominan, khususnya angin darat-laut, mengingat ENSO merupakan faktor variabilitas cuaca skala global sehingga jika intensitasnya tidak kuat, maka akan sulit untuk mempengaruhi dinamika cuaca skala lokal seperti Brebes. Adanya gunung Ciremai di sebelah barat Brebes juga menambah kompleksitas pembentukan cuaca di wilayah tersebut yang semakin memperkuat faktor lokal. Terlebih, posisi Brebes terletak paling barat dibandingkan tiga daerah penelitian lainnya sehingga lebih jauh dari jangkauan pengaruh ENSO.

Analisis korelasi curah hujan terhadap anomali tinggi muka laut (TML) periode DJF

Analisis korelasi juga dilakukan antara variabel curah hujan dan anomali tinggi muka laut (TML) untuk mengetahui apakah curah hujan memiliki kontribusi terhadap fluktuasi TML di Pantai Utara Jawa Tengah. Hasil analisis korelasi antara anomali curah hujan dengan anomali TML selama periode DJF (Tabel 2) menunjukkan bahwa hampir semua wilayah penelitian mempunyai korelasi yang lemah, kecuali wilayah Semarang mempunyai korelasi yang sangat lemah. Koefisien

korelasi di wilayah Brebes dan Pemalang menunjukkan nilai negatif, sedangkan koefisien korelasi di wilayah Semarang dan Pekalongan menunjukkan nilai positif. Korelasi positif ini menunjukkan bahwa selama periode DJF, ketika curah hujan meningkat, maka tinggi muka laut yang diamati di pesisir Semarang dan Pekalongan cenderung meningkat dengan hubungan korelasi yang dikategorikan sangat lemah dan lemah. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Anjasmara *et al.*, 2016; Fitri *et al.*, 2018 yaitu jika curah hujan meningkat maka anomali TML akan meningkat sebaliknya jika curah hujan menurun maka anomali TML akan menurun. Menghangatnya suhu muka laut dan menurunnya densitas akibat proses *downwelling* di sepanjang pesisir utara Pulau Jawa pada periode DJF menurut Mahagnyana *et al.* (2017) memudahkan air laut untuk berevaporasi dan dapat mempengaruhi penambahan intensitas curah hujan (Fitri *et al.*, 2018) yang memiliki korelasi meskipun dengan tingkat lemah dengan TML. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa curah hujan tidak memiliki korelasi dengan variasi TML di Pantai Utara Jawa Tengah selama periode DJF.

Analisis korelasi curah hujan terhadap anomali tinggi muka laut (TML) periode MAM

Pada periode MAM (Tabel 2), anomali curah hujan masih menunjukkan korelasi yang sangat lemah terhadap anomali TML, artinya pada periode ini curah hujan tidak memberikan dampak yang signifikan. Selama periode ini, terdapat korelasi positif antara curah hujan yang diamati dengan anomali TML di wilayah Semarang dan Pekalongan dan korelasi negatif di wilayah Brebes dan Pemalang, namun keduanya memiliki tingkat korelasi yang sangat lemah sehingga tidak dapat dikatakan memiliki hubungan atau relasi satu sama lain. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor curah hujan tidak memiliki pengaruh pada variabilitas TML di Pantai Utara Jawa Tengah selama periode

Tabel 2. Korelasi curah hujan dengan anomali TML periode DJF, MAM, JJA dan SON

Pos Hujan	DJF		MAM		JJA		SON	
	<i>R</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan	<i>r</i>	Keterangan
Semarang	0.00414	Sangat lemah	0.069478	Sangat lemah	0.6938	Kuat	0.676914	Kuat
Pekalongan	0.262584	Lemah	0.082365	Sangat lemah	0.504053	Cukup kuat	0.602389	Kuat
Brebes	-0.29411	Lemah	-0.02759	Sangat lemah	-0.15153	Sangat lemah	-0.15269	Sangat lemah
Pemalang	-0.35488	Lemah	-0.07096	Sangat lemah	0.54329	Cukup kuat	0.546202	Cukup kuat

MAM, sama halnya dengan pengaruh ENSO terhadap wilayah Indonesia pada periode DJF-MAM.

Analisis korelasi curah hujan terhadap anomali tinggi muka laut (TML) periode JJA

Kondisi yang berbeda diamati selama periode JJA. Pada periode musim kemarau ini, analisis korelasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa curah hujan memiliki korelasi kuat dengan variabilitas TML yang diamati di Semarang, sedangkan wilayah Pekalongan dan Pemalang memiliki korelasi yang cukup kuat. Hal ini selaras dengan mulai menguatnya pengaruh ENSO terhadap curah hujan di lokasi penelitian selama periode ini. Sehingga sedikit curah hujan yang terjadi dapat menyebabkan perbedaan TML di wilayah tersebut.

Analisis korelasi curah hujan terhadap anomali tinggi muka laut (TML) periode SON

Berdasarkan analisis korelasi antara anomali curah hujan dengan anomali TML selama periode SON, terdapat korelasi kuat sebesar 0.676914 dan 0.602389 di wilayah Semarang dan Pekalongan (Tabel 2). Sedangkan wilayah Pemalang memiliki korelasi yang cukup kuat dengan nilai 0.546202. Kondisi yang berbeda diamati pada wilayah Brebes dengan nilai koefisien korelasi negatif yang lemah sebesar -0.15269. Lemahnya tingkat korelasi pada wilayah ini menunjukkan bahwa curah hujan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabilitas TML di wilayah tersebut.

Berdasarkan beberapa analisis yang dilakukan, dapat diketahui jika wilayah Brebes menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan ketiga lokasi penelitian lainnya sepanjang tahun. Selain akibat faktor lokal yang kuat seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dalam hubungan antara ENSO dengan curah hujan, profil batimetri Pantai Utara Jawa Tengah juga perlu ditinjau untuk analisis lebih lanjut mekanisme pembentukan gelombang yang berkaitan dengan variasi TML. Selain itu, posisi Brebes yang terletak paling barat dibandingkan ketiga lokasi penelitian juga membuat pengaruh ENSO lebih lemah pada wilayah ini yang diindikasikan dengan lemahnya nilai korelasi untuk wilayah ini sepanjang tahun.

Sementara itu, nilai koefisien korelasi positif menunjukkan hubungan searah antara anomali CH dengan anomali TML. Hal ini mengindikasikan bahwa saat curah hujan meningkat maka anomali TML juga akan meningkat, sedangkan jika curah hujan menurun maka anomali TML juga akan

menurun. Pada transisi musim tenggara ke barat laut pada bulan November (peralihan II), kondisi arah dan kecepatan angin tidak dominan dan cenderung memiliki pola yang acak. Hal ini mengakibatkan mekanisme *upwelling* dan *downwelling* menjadi sulit diamati dengan jelas sehingga perubahan tinggi muka laut secara spasial menjadi relatif sama antara semua wilayah baik perairan utara maupun selatan Pulau Jawa (Fadlan *et al.*, 2017). Lemahnya pengaruh monsun selama periode ini juga dibarengi dengan menguatnya pengaruh ENSO di wilayah Indonesia.

Analisis juga dilakukan dengan beberapa kondisi, Tabel 3 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat anomali TML ekstrem terjadi di Pantai Utara Jawa Tengah, Tabel 4 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat kejadian ENSO ekstrem, Tabel 5 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat anomali curah hujan maksimum terjadi di Semarang, Tabel 6 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat anomali curah hujan maksimum terjadi di Pekalongan, Tabel 7 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat anomali curah hujan maksimum terjadi di Brebes, Tabel 8 menunjukkan gambaran kondisi parameter lain pada saat anomali curah hujan maksimum terjadi di Pemalang. Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 3 teridentifikasi bahwa kejadian *El Niño* sangat kuat mengakibatkan penurunan TML yang bervariasi. Kondisi ini dapat diamati pada Desember 1997, di mana TML di Pantai Utara Jawa Tengah terdepresi hingga -13.8997 cm sedangkan pada September 2015 TML hanya terdepresi -8.463 cm. Namun, anomali TML negatif terendah terjadi pada saat *El Niño* lemah di bulan Agustus 1994 dengan nilai depresi sebesar -14.9363 cm. Sedangkan anomali TML pada tahun normal menunjukkan nilai positif dan negatif seperti yang terjadi pada bulan Mei 2013 dan Juni 2016 (anomali TML positif) dan Agustus 2019 (anomali TML negatif) dengan nilai secara berturut-turut sebesar 20.0754 cm, 21.80729 cm dan -6.57118 cm. Sementara itu, pada kejadian *La Niña* kuat di bulan November 2010 mengakibatkan anomali TML mengalami kenaikan sebesar 21.42089 cm dan saat *La Niña* lemah di bulan Desember 2017 menyebabkan anomali TML positif sebesar 19.98706 cm. Kondisi ini disebabkan oleh peningkatan intensitas curah hujan yang terjadi di wilayah Indonesia saat *La Niña* aktif (Batubara *et al.*, 2022).

Anomali CH yang terjadi di empat wilayah juga menunjukkan respon yang berbeda-beda. Pada

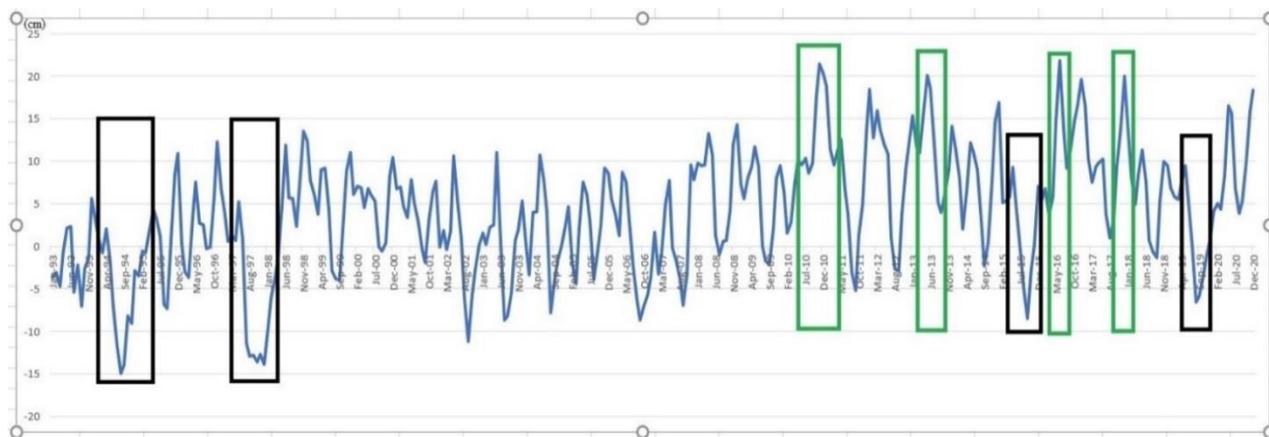
saat nilai anomali TML negatif di bulan Agustus 1994, September 2015 dan Agustus 2019 terlihat bahwa anomali CH pada ke empat wilayah juga menunjukkan nilai anomali CH negatif, artinya terjadi penurunan CH yang diikuti penurunan nilai TML. Meskipun demikian pada bulan Desember 1997 hanya wilayah Pekalongan saja yang menunjukkan nilai anomali CH positif pada saat nilai anomali TML negatif. Demikian juga pada saat nilai anomali TML positif tidak selalu diikuti dengan nilai anomali CH yang positif, hal ini dapat diamati pada bulan November 2010, Mei 2013, Juni 2016 dan Desember 2017.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Gambar 3 dapat disimpulkan bahwa periode anomali TML yang ekstrem terjadi

pada 1994, 1997, 2010, 2013, 2015, 2016, 2017 dan 2019. Nilai anomali SPL yang ekstrem dari tahun 1993 sampai dengan 2020 dari lembah ke lembah (anomali negatif) ditandai dengan kotak warna hitam. Sedangkan nilai anomali SPL dari puncak ke puncak (anomali positif) ditandai dengan kotak berwarna hijau dan ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bulan November 1997 dan November 2015 saat *El Niño* sangat kuat nilai indeks Nino 3.4 secara berturut-turut sebesar 2.42 dan 2.57. Sedangkan pada saat *La Niña* kuat yang terjadi pada bulan Januari 2000 dan Januari 2008 teridentifikasi nilai indeks Nino 3.4 sebesar -1.79. Hal ini menunjukkan bahwa baik *El Niño* sangat kuat maupun *La Niña* kuat telah terjadi periode perulangan selama rentang waktu 8 tahun.

Tabel 3. Periode Anomali TML ekstrem di Pantai Utara Jawa Tengah dari tahun 1993 sampai dengan 2020 dan Kondisi SPL dan CH yang menyertainya.

Waktu	Anomali TML (cm)	Anomali SPL (°C)	Kategori	Anomali CH (mm/bulan)			
				Semarang	Pekalongan	Brebes	Pemalang
Aug-94	-14.9363	0.52	<i>El Niño</i> lemah	-50	-43	-18	-28
Dec-97	-13.8997	2.3	<i>El Niño</i> sangat kuat	79	-87	49	97
Nov-10	21.42089	-1.57	<i>La Niña</i> kuat	-8	-81	-34	18
May-13	20.0754	-0.28	Normal	71	-7	-10	76
Sep-15	-8.463	2.01	<i>El Niño</i> sangat kuat	-79	-52	-28	-27
Jun-16	21.80729	0.06	Normal	10	-54	-5	-13
Dec-17	19.98706	-0.85	<i>La Niña</i> lemah	-78	23	-108	21
Aug-19	-6.57118	0.19	Normal	-49	-57	-18	-28



Gambar 3. Grafik anomali Tinggi Muka Laut (TML) di Pantai Utara Jawa Tengah tahun 1993 – 2020. Kotak hitam merepresentasikan adanya anomali TML negatif, sementara kotak hijau merepresentasikan anomali TML positif.



Gambar 4. Grafik anomali Suhu Permukaan Laut (SPL) tahun 1993 – 2020. Kotak hitam merepresentasikan adanya anomali SPL positif, sementara kotak hijau merepresentasikan adanya anomali SPL negatif.

Tabel 4. Periode kejadian ENSO yang ekstrem dari tahun 1993 sampai dengan 2020 dan kondisi CH dan TML yang menyertainya.

Waktu	Anomali SPL (°C)	Kategori	Anomali CH (mm/bulan)				Anomali TML (cm)
			Semarang	Pekalongan	Brebes	Pemalang	
Nov-97	2.42	<i>El Niño</i> sangat kuat	-108	-126	77	-158	-12.7201
Jan-00	-1.79	<i>La Niña</i> kuat	94	-4	15	219	6.1348
Jan-08	-1.79	<i>La Niña</i> kuat	9	-95	-58	18	9.72449
Nov-15	2.57	<i>El Niño</i> sangat kuat	-154	-52	364	-27	0.22837

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 4 dapat diamati bahwa saat terjadi el nino sangat kuat pada bulan November 1997 diikuti dengan penurunan anomali CH di wilayah Semarang, Pekalongan dan Pemalang. Selain itu, pada periode ini juga teramati kondisi anomali TML terdepresi hingga -12.7201 cm. Namun, di wilayah Brebes menunjukkan anomali CH positif dengan nilai 77 mm/bulan. Kondisi yang sama terjadi saat *el Niño* kuat pada November 2015, dimana hanya wilayah Brebes saja yang mengalami anomali CH positif, sedangkan anomali TML mengalami kenaikan sebesar 0.22837 cm. Kondisi anomali di wilayah Brebes terjadi akibat peningkatan SPL di sebagian besar wilayah Indonesia sejak bulan November 2015 yang diikuti dengan penurunan indeks *Dipole Mode* hingga menjadi bernilai negatif (-) sejak awal tahun 2016 serta dengan adanya peralihan Angin Muson Timur ke Angin Muson Barat di wilayah Indonesia. Kondisi ini telah menyebabkan peningkatan curah hujan yang cukup signifikan dalam batas normal di wilayah Jabodetabek pada puncak musim hujan

Tahun 2015/2016 (November 2015 - Februari 2016) walaupun pada bulan November 2015 hingga Februari 2016 tersebut masih berada pada level *El Niño* kuat. Akan tetapi, *El Niño* kuat tidak akan mempengaruhi intensitas curah hujan jika kondisi indeks IOD negatif dan terdapat Angin Monsun Barat seperti yang telah terjadi pada puncak musim hujan tahun 2015/2016 (November 2015 hingga Februari 2016) (Yananto dan Sibarani, 2016).

La Niña kuat yang terjadi pada bulan Januari 2000 menunjukkan peningkatan CH dan anomali TML di wilayah Semarang, Brebes dan Pemalang. Sedangkan peningkatan anomali TML dan penurunan CH terjadi di wilayah Pekalongan, dengan nilai penurunan CH sebesar 4 mm/bulan. Sementara itu, *la Niña* kuat yang terjadi pada Januari 2008 menunjukkan anomali CH negatif terjadi di wilayah Pekalongan dan Brebes, sedangkan anomali CH positif terjadi di wilayah Semarang dan Pemalang yang diikuti dengan kondisi anomali TML positif sebesar 9.72449 cm. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa kondisi *El Niño* kuat tidak selalu memberikan

pengaruh yang sama terhadap anomali CH di wilayah yang berbeda, demikian juga dengan pengaruhnya terhadap anomali TML.

Analisis Kondisi Periode Anomali Curah Hujan, TML dan SPL Selama tahun 1993 – 2020 Wilayah Semarang

Hasil penelitian anomali CH di wilayah Semarang yang ditampilkan pada Gambar 5 menunjukkan nilai anomali CH positif yang ditandai dengan kotak berwarna hitam. Adapun rincian hasil pengamatan anomali CH pada tahun 1993 – 2020, adalah sebagai berikut: pada bulan Januari 1993 (peningkatan sebesar 585 mm/bulan), Januari 2016 (peningkatan sebesar 362 mm/bulan), Februari 2008 (peningkatan sebesar 456 mm/bulan), Januari 2014 (peningkatan sebesar 382 mm/bulan), dan September 2016 (peningkatan sebesar 358 mm/bulan). Sedangkan anomali CH negatif ditandai dengan kotak berwarna hijau, terjadi pada bulan Februari 1994 (penurunan sebesar 219 mm/bulan), Januari 1998 (penurunan sebesar 243 mm/bulan) dan Desember 2000 (penurunan sebesar 258 mm/bulan).

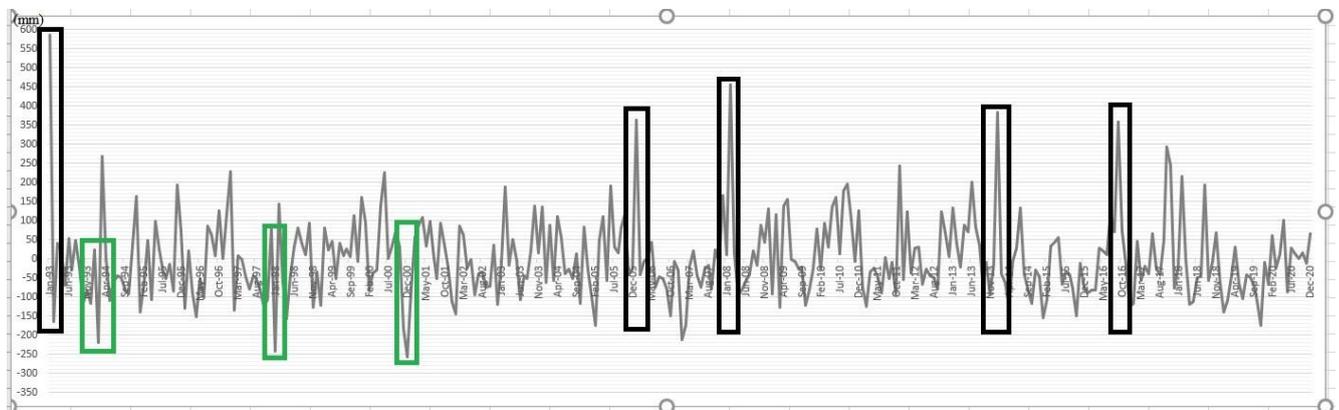
Pada bulan Januari 1993, anomali SPL di wilayah Semarang berada dalam kategori normal, namun anomali CH positif terbesar yang terjadi mencapai 585 mm/bulan. Dalam sejarah tercatat bahwa pada tahun tersebut terjadi banjir bandang (Waskitaningsih, 2012). Pada periode DJF, konvergensi yang kuat terjadi hampir di semua daerah di Pulau Jawa, sehingga menyebabkan sebagian besar daerah mempunyai curah hujan yang tinggi (Satyawardhana dan Yulihastin, 2016). Kondisi perairan di wilayah Semarang mengalami anomali TML negatif dengan nilai depresi sebesar -3.6348 cm.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 5 selama rentang 1993 – 2020, dapat diamati bahwa di wilayah Semarang, anomali CH negatif terjadi pada Februari 1994, Januari 1998 dan Desember 2000, sedangkan anomali CH positif terjadi pada tahun Januari 1993, Januari 2006, Februari 2008, Januari 2014, dan September 2016. Pada Desember 2000 terdapat kondisi anomali CH negatif akan tetapi anomali TML menunjukkan kenaikan sebesar 10.3895 cm. Menurut Hayati (2013) pada tahun 2000 tercatat luas genangan rob sebesar 2.202,53 Ha yang mencakup 34 kelurahan di wilayah Semarang.

Pada tahun 1996, 2002, 2004, 2010 dan 2012 anomali CH baik positif maupun negatif di wilayah Semarang tidak signifikan. Pada tahun 1996 dan 2012 merupakan fase netral. Sedangkan pada Desember 2002 (*El Niño* sedang), Oktober 2004 (*El Niño* lemah) terjadi anomali CH negatif maksimum sebesar 120 mm/bulan dan 117 mm/bulan. Pada September 2010 (*La Niña* sedang) terjadi anomali CH positif maksimum 195 mm/bulan.

Analisis Kondisi Periode Anomali Curah Hujan, TML dan SPL Selama tahun 1993–2020 Wilayah Pekalongan

Pada wilayah Pekalongan tercatat anomali CH negatif ditandai dengan kotak berwarna hijau. Adapun rincian hasil pengamatan anomali CH pada tahun 1993 – 2020, adalah sebagai berikut: pada bulan Februari 1994 (penurunan sebesar 417 mm/bulan), Februari 1997 (penurunan sebesar 347 mm/bulan), Januari 1997 (penurunan sebesar 282 mm/bulan), Februari 2010 (penurunan sebesar 330 mm/bulan), Februari 2012 (penurunan sebesar 270 mm/bulan). Sedangkan puncak anomali CH positif ditandai dengan kotak berwarna hitam, terjadi pada



Gambar 5. Grafik Anomali CH Semarang Tahun 1993 – 2020

bulan Februari 1998 (peningkatan sebesar 403 mm/bulan), Februari 2004 (peningkatan sebesar 403 mm/bulan), Januari 2006 (peningkatan sebesar 515 mm/bulan), Februari 2008 (peningkatan sebesar 569 mm/bulan) dan Februari 2020 (peningkatan sebesar 499 mm/bulan) ditunjukkan pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 6 selama rentang 1993 – 2020 di wilayah Pekalongan, anomali CH positif terjadi pada tahun 2004, 2006, 2008 namun periode puncak ekstrim berikutnya terjadi pada tahun 2020. Sedangkan anomali CH negatif terjadi pada tahun 1994, 1997, 1998, 2010, dan 2012. Sedangkan pada tahun 2000, 2002, 2014, 2016, 2018 anomali CH baik positif maupun negatif di wilayah Pekalongan tidak signifikan. Pada Maret 2000 (*La Niña* lemah), Februari 2002 (*El Niño* sedang), Januari 2014 (Normal), Januari 2016 (*La Niña* lemah) terjadi anomali CH positif maksimum berturut-turut sebesar 282, 366, 305 dan 2010 mm/bulan (nilai-nilai ini dianggap tidak signifikan karena anomali CH positif pada tahun lain yang berkisar antara 403 – 569 mm/bulan). Sedangkan pada Desember 2018

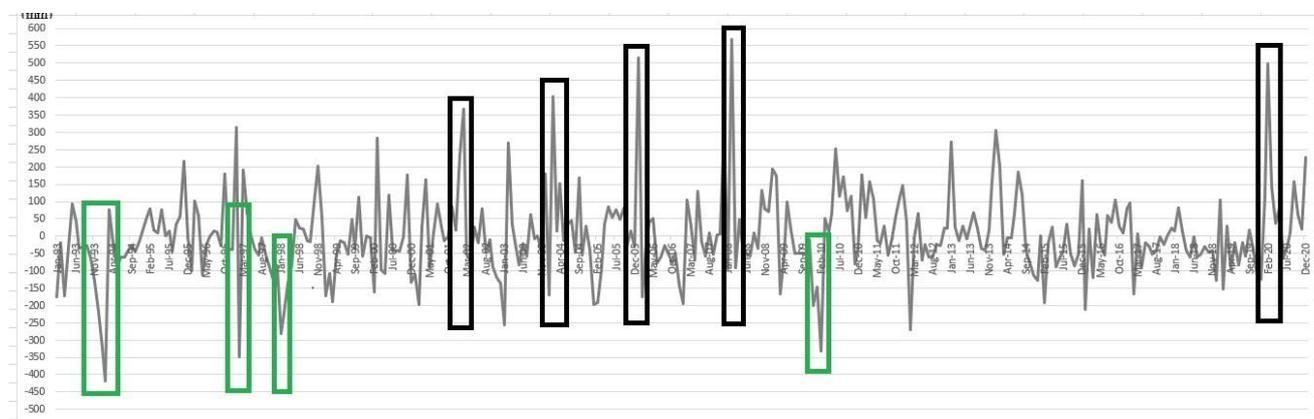
(*El Niño* lemah) terjadi anomali CH negatif sebesar 127 mm/bulan, yang lebih kecil dibandingkan dengan anomali CH negatif pada tahun yang lain yaitu antara 270 – 417 mm/bulan).

Analisis Kondisi Periode Anomali Curah Hujan, TML dan SPL Selama tahun 1993 – 2020 Wilayah Brebes

Di wilayah Brebes tercatat puncak anomali CH positif ditandai dengan kotak berwarna hitam. Adapun rincian hasil pengamatan anomali CH pada tahun 1993 – 2020, adalah sebagai berikut: pada bulan Januari 2001 (peningkatan sebesar 366 mm/bulan), Desember 2004 (peningkatan sebesar 446 mm/bulan), Mei 2009 (peningkatan sebesar 343 mm/bulan), Oktober 2015 (peningkatan sebesar 395 mm/bulan) dan Februari 2020 (peningkatan sebesar 372 mm/bulan). Sedangkan anomali CH negatif ditandai dengan kotak berwarna hijau, terjadi pada bulan Desember 2015 (penurunan sebesar 303 mm/bulan) dan Januari 2017 (penurunan sebesar 339 mm/bulan) ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 5. Periode Anomali CH di wilayah Semarang dan Kondisi TML dan SPL yang menyertainya

Waktu	Anomali CH (mm/bulan)	Anomali TML (cm)	Anomali SPL (°C)	Kategori
Jan-93	585	-3.6348	0.28	Normal
Feb-94	-219	-6.02176	-0.16	Normal
Jan-98	-243	-9.58956	2.42	<i>El Niño</i> sangat kuat
Dec-00	-258	10.3895	-0.92	<i>La Niña</i> lemah
Jan-06	362	5.50895	-0.98	<i>La Niña</i> lemah
Feb-08	456	9.4964	-1.7	<i>La Niña</i> kuat
Jan-14	382	11.3003	-0.42	Normal
Sep-16	358	11.4148	-0.46	Normal



Gambar 6. Grafik Anomali CH Pekalongan Tahun 1993 – 2020

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 7 selama rentang 1993 – 2020 dapat diamati bahwa di Wilayah Brebes, anomali CH positif menunjukkan periode yang tidak teratur yaitu tahun 2001, 2004, 2009 dan 2015, sedangkan anomali CH negatif juga menunjukkan siklus yang tidak teratur yaitu tahun 2015, 2017 dan 2020. Menurut Tulak *et al.*, (2022) kejadian curah hujan ekstrim dan perubahan pola curah hujan dipengaruhi oleh faktor global seperti pemanasan global, regional berupa sirkulasi siklonik maupun lokal yaitu topografi wilayah. Topografi wilayah di Indonesia sangat beragam sehingga mempengaruhi interaksi antara darat, atmosfer dan lautan.

Pada Desember 2015 terjadi anomali CH negatif sebesar 303 mm/bulan akibat adanya pengaruh *El Niño* yang melemahkan monsun barat pada periode DJF (Satyawardhana dan Yulihastatin, 2016). Pada tahun 2017, terdapat kondisi anomali CH negatif akan tetapi anomali TML menunjukkan

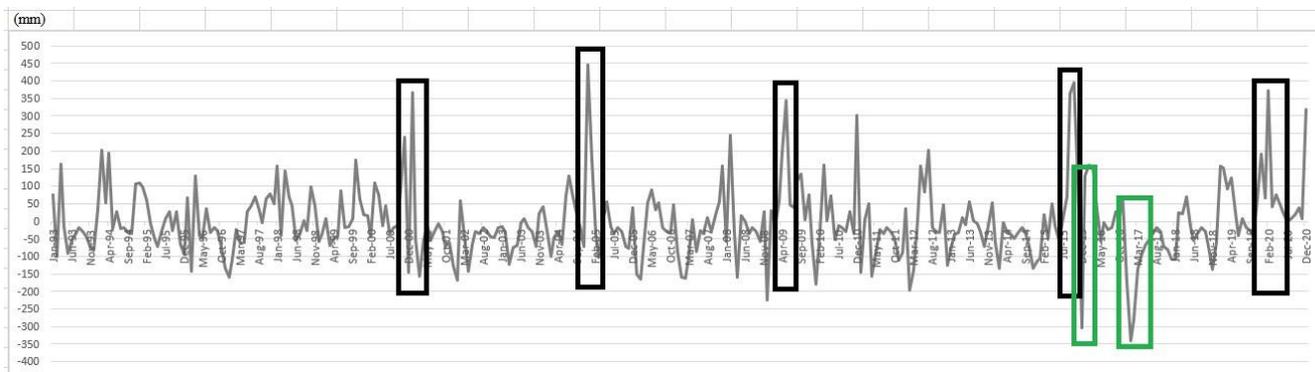
peningkatan terbesar yaitu 16.50763 cm. Menurut Wijaya, *et al.*, (2019) menyebutkan bahwa banjir pasang di wilayah Brebes tahun 2017 terjadi akibat pengaruh pasang surut pada saat kondisi pasang purnama dan diperparah dengan kenaikan muka air laut.

Analisis Kondisi Periode Anomali Curah Hujan, TML dan SPL Selama tahun 1993 – 2020 Wilayah Pemasang

Di wilayah Pemasang tercatat puncak anomali CH positif ditandai dengan kotak warna hitam. Adapun rincian hasil pengamatan anomali CH pada tahun 1993 – 2020, adalah sebagai berikut: pada bulan Januari 1997 (peningkatan sebesar 574 mm/bulan), Februari 1998 (peningkatan sebesar 452 mm/bulan), Maret 2000 (peningkatan sebesar 418 mm/bulan), November 2000 (peningkatan sebesar 504 mm/bulan), Maret 2015 (peningkatan sebesar 392 mm/bulan) dan Februari 2019 (peningkatan sebesar 362 mm/bulan). Sedangkan anomali CH

Tabel 6. Periode Anomali CH ekstrem di wilayah Pekalongan dan kondisi TML dan SPL yang menyertainya

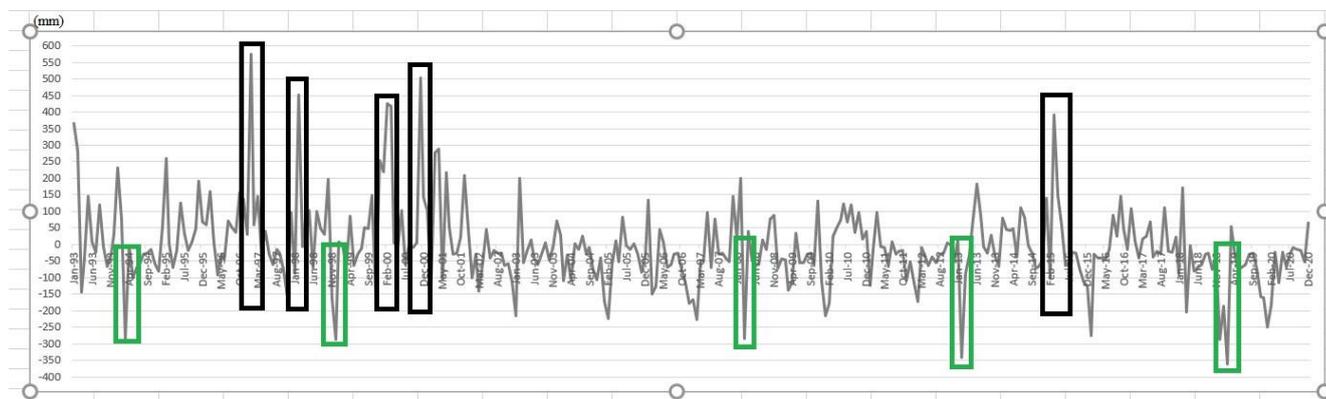
Waktu	Anomali CH (mm/bulan)	Anomali TML (cm)	Anomali SPL (°C)	Kategori
Feb-94	-417	0.49614	-0.16	Normal
Feb-97	-347	0.60114	-0.24	Normal
Jan-98	-282	-9.58956	2.42	<i>El Niño</i> sangat kuat
Feb-04	403	-3.39916	0.17	Normal
Jan-06	515	5.50895	-0.98	<i>La Niña</i> lemah
Feb-08	569	9.4964	-1.7	<i>La Niña</i> kuat
Feb-10	-330	1.60166	1.18	<i>El Niño</i> sedang
Feb-12	-270	12.7905	-0.61	<i>La Niña</i> lemah
Feb-20	499	4.98725	-0.66	<i>La Niña</i> lemah



Gambar 7. Grafik Anomali CH Brebes Tahun 1993 – 2020

Tabel 7. Periode Anomali CH di wilayah Brebes dan kondisi TML dan SPL yang menyertainya

Waktu	Anomali CH (mm/bulan)	Anomali TML (cm)	Anomali SPL (°C)	Kategori
Jan-01	366	6.7585	-0.88	<i>La Niña</i> lemah
Dec-04	446	2.29266	0.71	<i>El Niño</i> lemah
May-09	343	11.73378	0.17	Normal
Oct-15	395	-2.72838	2.21	<i>El Niño</i> sangat kuat
Dec-15	-303	7.0521	2.56	<i>El Niño</i> sangat kuat
Jan-17	-339	16.50763	-0.34	Normal
Feb-20	372	4.98725	0.48	Normal



Gambar 8. Grafik Anomali CH Pemalang Tahun 1993 – 2020

Tabel 8. Periode Anomali CH di wilayah Pemalang dan Kondisi TML dan SPL yang menyertainya

Waktu	Anomali CH (mm/bulan)	Anomali TML (cm)	Anomali SPL (°C)	Kategori
Mar-94	-283	-0.71729	-0.06	Normal
Jan-97	574	3.73786	-0.43	Normal
Feb-98	452	-6.02176	2.08	<i>El Niño</i> sangat kuat
Dec-98	-288	12.38849	-1.51	<i>La Niña</i> kuat
Mar-00	418	6.82016	-1.26	<i>La Niña</i> sedang
Nov-00	504	8.23923	-0.75	<i>La Niña</i> lemah
Mar-08	-283	9.55514	-1.17	<i>La Niña</i> sedang
Feb-13	-341	11.70315	-0.40	Normal
Mar-15	392	5.30653	0.48	Normal
Feb-19	362	5.80263	0.62	<i>El Niño</i> lemah

negatif ditandai dengan kotak berwarna hijau, terjadi pada bulan Maret 1994 (penurunan sebesar 283 mm/bulan), Desember 1998 (penurunan sebesar 288 mm/bulan) dan Maret 2008 (penurunan sebesar 283 mm/bulan) ditunjukkan pada Gambar 8.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan pada Tabel 8 selama rentang 1993 – 2020 dapat diamati bahwa di wilayah Pemalang,

anomali CH positif menunjukkan periode yang tidak teratur yaitu tahun 1997, 1998, 2000 (2 kali), 2015 dan 2019, sedangkan anomali CH negatif juga menunjukkan siklus yang tidak teratur yaitu tahun 1994, 1998, 2008 dan 2013. Curah hujan terjadi menurut suatu pola dan siklus tertentu. Dalam suatu seri data CH terjadi fluktuasi yang mempunyai fase dan amplitudo yang tidak teratur. Meskipun demikian, data CH yang tersedia

umumnya tidak cukup panjang untuk menyatakan fluktuasi jangka panjang. Sedangkan variasi jangka pendek tidak begitu teratur sehingga bisa didapatkan banyak siklus (Subarkah 1980; Hadi *et al.*, 2010).

KESIMPULAN

Dalam periode 28 tahun yaitu dari tahun 1993 – 2020 telah terjadi 2 kali *El Niño* sangat kuat yaitu November 1997 dan November 2015 dan 2 kali *La Niña* kuat pada Januari 2000 dan Januari 2008. *El Niño* sangat kuat maupun *La Niña* kuat mempunyai periode perulangan setiap 8 tahun. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat kondisi anomali dimana peningkatan SPL di wilayah Nino 3.4 tidak menyebabkan penurunan curah hujan di wilayah Brebes pada semua periode. Korelasi indeks Nino 3.4 terhadap curah hujan pada periode DJF dan MAM mempunyai hubungan yang lemah. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh ENSO tidak signifikan di keempat wilayah penelitian pada periode DJF dan MAM. Adapun korelasi antara anomali CH dengan anomali TML pada periode DJF dan MAM mempunyai hubungan yang sangat lemah hingga lemah. Sehingga bisa disimpulkan bahwa pengaruh anomali CH terhadap anomali TML tidak signifikan pada ke empat wilayah pada periode DJF dan MAM. Untuk wilayah Brebes menunjukkan korelasi negatif pada semua periode, artinya peningkatan anomali CH tidak menyebabkan peningkatan anomali TML.

Indeks Nino 3.4 mempunyai pengaruh dan hubungan paling signifikan pada curah hujan periode bulan SON. Selama periode SON, indeks Nino 3.4 memiliki korelasi yang signifikan dengan variabilitas curah hujan yang diamati di tiga wilayah dengan nilai rentang antara -0.53692 (cukup kuat) sampai -0.73041 (kuat). Hal ini mengindikasikan bahwa fenomena ENSO mempunyai pengaruh yang paling kuat atau signifikan di wilayah Semarang, Pekalongan dan Pemalang apabila terjadi pada periode SON. Demikian juga dengan anomali CH yang memberikan korelasi paling signifikan pada TML periode SON di wilayah Semarang, Pekalongan dan Pemalang dengan nilai rentang antara 0.546202 (cukup kuat) sampai 0.676914 (kuat), kecuali di wilayah Brebes yang menunjukkan kondisi anomali dengan korelasi negatif yang sangat lemah.

Berdasarkan rentang waktu penelitian yang dilakukan, teridentifikasi bahwa periode anomali TML yang ekstrem terjadi pada 1994, 1997, 2010,

2013, 2015, 2016, 2017 dan 2019. Sedangkan identifikasi pengaruh *El Niño* dan *La Niña* terhadap curah hujan di ke empat wilayah menunjukkan respon yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. 2008. Meteorologi Laut Indonesia, BMKG, Jakarta. pp.242-243
- Anjasmara, I.M. & Hakim, L. 2016. Analisa Hubungan Perubahan Muka Air Laut, Perubahan Volume Es Di Kutub Selatan Dan Curah Hujan Dengan Menggunakan Satelit Altimetri (Studi Kasus : Laut Selatan Pulau Jawa Tahun 2011–2014), *Geoid*, 12(1):15-23.
- Batubara, M.P.N., Zainuri, M., Kunarso, K. & Puryajati, A.D. 2022. Diagnosa Perilaku MJO Aktif Pada Saat La Nina Kuat (2011/2012) di Perairan Tropis, *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2):193-205.
- Fadlan, A., Sugianto, D.N., Kunarso & Zainuri, M. 2017. Pengaruh Fenomena Monsun, El Nino Southern Oscillation (ENSO) dan Indian Ocean Dipole (IOD) Terhadap Anomali Tinggi Muka Laut di Utara dan Selatan Pulau Jawa. *Prosiding Seminar Nasional Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan ke-VI*, Semarang: 12 November 2016, Hal. 205- 217.
- Fitri, R., Lazuardi, M.A. & Rejeki, H.A. 2018. Pengaruh Fenomena Upwelling-Downwelling di Perairan Utara Dan Selatan Jawa Timur Terhadap Variabilitas Curah Hujan Jawa Timur. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh, Prosiding Sinasindraja*, 2018, LAPAN, 918-932.
- Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. In: *Oceanography*, pp 14-27
- Habibie, M.N. & Nuraini, T.A. 2014. Karakteristik Dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut Di Indonesia Periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1):37-49.
- Hadi, A.I., Suwarsono, & Herliana. 2010, Analisis Karakteristik Intensitas Curah Hujan di Kota Bengkulu, *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 7(2): 119-129.
- Handoko, E.Y., Naibaho, L.K. & Saptarini, D. 2021. Sea Level Variability around the Java Sea (study Area: northern of Gresik and Surabaya) using Cryosat-2 Altimeter, *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

- Science*, 731:p.012013, doi: 10.1088/1755-1315/731/1/012013.
- Hayati, R. 2013. Kajian Kerentanan Penghidupan Terhadap Fenomena Rob Di Bagian Wilayah Kota (BWK) III Kota Semarang, *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 11(2):171-182
- Hidayat, R. & Ando, K. 2014. Variabilitas Curah Hujan Indonesia dan Hubungannya dengan ENSO/IOD: Estimasi Menggunakan Data JRA-25/JCDAS. *Jurnal Agromet Indonesia* 28(1):1-8
- Hidayat, A.M., Efendi, U., Agustina, L. & Winarso, P.A. 2018. Korelasi Nino 3.4 dan Southern Oscillation Index (SOI) Dengan Variasi Curah Hujan Di Semarang. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2):75-81.
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S.K. & Seong, M.G. 2021. Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 41(6):3640-3656.
- Lisnawati, Dharmansyah, F., & Sihombing, T.B.A., 2018. Analisis Kondisi Angin Zonal Dan Angin Meridional Lapisan 850 MB Saat Kejadian ENSO Serta Dampaknya Di Wilayah Jawa. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(1):9-17
- Mahagnyana, Limaran, G.D. & Fadlan, A. 2017. Pengaruh monsun terhadap kesuburan perairan utara Jawa dengan menggunakan satelit Aqua Modis. *Unnes Physics Journal*, 6(1):37-40.
- Miftahuddin, Pratama, A. & Setiawan, I. 2021. Analisis Hubungan Antara Kelembaban Relatif Dengan Beberapa Variabel Iklim Dengan Pendekatan Korelasi Pearson Di Samudera Hindia. *Jurnal Siger Matematika*, 2(1):25-33
- Mulyana, E. 2000. Hubungan antara Anomali Suhu Permukaan Laut dengan Curah Hujan di Jawa. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 1(2):125-132.
- Pampanglola, S.M.N.T. 2019. Estimation of sea-level variability around the Java Sea and Karimata Strait using Cryosat-2 Altimeter, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 389:p.012021 doi: 10.1088/1755-1315/389/1/012021
- Rahmawan, G.A. & Wisna, U.J. 2019. Tendency For Climate-Variability- Driven Rise In Sea Level Detected In The Altimeter Era In The Marine Waters Of Aceh, Indonesia, *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 16(2):165-178.
- Satyawardhana, H. & Yulihastin, E. 2016. Interaksi El-Nino, Monsun Dan Topografi Lokal Terhadap Anomali Curah Hujan di Pulau Jawa, Buku Ilmiah PSTA LAPAN.
- Smith, M. J.D. 2018, *Statistical Analysis Handbook A Comprehensive Handbook of Statistical Concepts, Techniques and Software Tools*, The Winchelsea Press, Drumlin Security Ltd, Edinburgh.
- Solihuddin, T., Kepel, L.T., Husrin, S., & Pubani, D (Ed.). 2019. Strategi Rehabilitasi Pantura Jawa Berdasarkan Dinamika Wilayah Pesisir. AMAFRAD Press-BRSDMKP, KKP, Jakarta.
- Suwandi., Zaim, Y. & Tjasyono, B. 2014. Pengaruh Aktivitas ENSO dan Dipole Mode terhadap Pola Hujan di Wilayah Maluku dan Papua Selama Periode Seratus Tahun (1901-2000), *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1):71-76.
- Sulaiha, F., Handoko, E.Y. & Yuwono, Y. 2020. Studi Variasi Permukaan Laut Jawa Dan Laut China Selatan Tahun 2002-2019 Menggunakan Data Altimetri Jason. *Geoid*, 15(2):172-178. Tulak, N., Bungking, Y. & Huda, H. 2022. Analisis Periodisitas Dan Tren Curah Hujan Di Kota Jayapura, Papua Pada Periode 2001-2018. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 23(1):45-52.
- Waskitaningsih, N. 2012. Kearifan lokal masyarakat sub-sistem drainase bringin dalam menghadapi banjir, *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 8(4):383-391.
- Wijaya, P.K., Sugianto, D.N., Muslim, Ismanto, A., Atmodjo, W., Widiaratih, R. & Hariyadi, 2019. Analisis Genangan Akibat Pasang Air Laut di Kabupaten Brebes, *Indonesian Journal of Oceanography*, 1(1):6-12.
- Yananto, A. & Sibarani, M. 2016. Analisis Kejadian EL Nino dan Pengaruhnya Terhadap Intensitas Curah Hujan Di Wilayah Jabodetabek (Studi Kasus:Periode Puncak Musim Hujan Tahun 2015/2016), *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2):55-73.