

KAJIAN KONDISI ATMOSFER SAAT KEJADIAN HUJAN LEBAT DI KOTA SURAKARTA MENGGUNAKAN ANALISIS SKALA METEOROLOGI (STUDI KASUS: 3 FEBRUARI 2021)

Wahyu Sulistiyono¹, Rino Surya Ramadhan², Yosafat Donni Haryanto³

¹²³Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
e-mail: wahyu.sulistiyono@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Fenomena hujan lebat pada tanggal 3 Februari 2021 di wilayah Surakarta menyebabkan banjir setinggi 40-80 Cm. Terjadinya fenomena hujan lebat ini perlu dilakukan kajian dalam aspek meteorologis yang bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya hujan lebat berdasarkan kajian meteorologis. Dalam penelitian ini dilakukan kajian meteorologis dalam skala Global, Regional, dan Lokal. Kajian meteorologis ini menggunakan teknik pendekatan kuantitatif deskriptif berdasarkan nilai dari setiap parameter meteorologis yang ditinjau. Sumber data yang diambil berdasarkan nilai indikator pada setiap parameter meteorologi dari skala Global hingga Lokal. Berdasarkan hasil kajian, pada Bulan Februari indeks nilai SOI sebesar +11.5 menandakan adanya pengaruh La-Nina di wilayah Indonesia. Peningkatan suhu di Laut Jawa menyebabkan naiknya laju evaporasi disertai terbentuknya daerah belokan angin yang mendukung pembentukan awan konvektif di wilayah Jawa Tengah. Profil atmosfer pada Kota Surakarta, menunjukkan nilai *Updraft* yang kuat saat pembentukan awan konvektif dengan nilai *vertical velocity* sebesar -0.7 sampai -0.3 Pa/s. Pembentukan awan konvektif ini didukung juga dengan kondisi lapisan tekanan permukaan yang jenuh dengan nilai kelembaban relatif sebesar 85-90%. Kondisi atmosfer yang labil ditandai dengan nilai CAPE dalam rentang 180-390 J/Kg pada jam 10.00 UTC-12.00 UTC sehingga kondisi ini mendukung pembentukan awan Cumulonimbus.

Kata Kunci: *Atmosfer, Hujan Lebat, Awan Cumulonimbus*

ABSTRACT

The phenomenon of heavy rain on February 3 2021 in the Surakarta area caused flooding of 40-80 cm. The occurrence of this heavy rain phenomenon needs to be studied in a meteorological aspect which aims to find out the causes of heavy rain based on meteorological studies. In this research, meteorological studies were carried out on a global, regional and local scale. This meteorological study uses a descriptive quantitative approach technique based on the value of each meteorological parameter reviewed. Data sources are taken based on indicator values for each meteorological parameter from the Global to the Local scale. Based on the results of the study, in February the SOI value index of +11.5 indicated that there was a La-Nina influence in the territory of Indonesia. Increasing temperature in the Java Sea causes an increase in the evaporation rate accompanied by the formation of wind bend areas that support the formation of convective clouds in the Central

Java region. Atmospheric profile in Surakarta City, shows a strong updraft value during the formation of convective clouds with a vertical velocity value of -0.7 to -0.3 Pa/s. The formation of convective clouds is also supported by the condition of the surface pressure layer which is saturated with a relative humidity value of 85-90%. Unstable atmospheric conditions are characterized by CAPE values in the range of 180-390 J/Kg at 10.00 UTC-12.00 UTC so that these conditions support the formation of Cumulonimbus clouds.

Keywords: *Atmosphere, Heavy Rain, Cumulonimbus Cloud*

PENDAHULUAN

Letak geografis Benua Maritim Indonesia yang terletak di Ekuator dan diapit oleh 2 lautan besar yaitu, Samudra Pasifik dan Samudra Hindia memberikan dampak terhadap dinamika cuaca di Indonesia. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia dilalui oleh Angin Monsunal yang terjadi secara periodik, pada masa bulan Desember, Januari, dan Februari merupakan fase puncak berhembusnya angin Monsun Asia (Susilokarti et al, 2015). Kondisi ini sering menyebabkan kenaikan intensitas curah hujan di wilayah Benua Maritim Indonesia akibat hembusan angin monsun yang membawa kandungan air dari wilayah Benua Asia. Selain itu, ada beberapa faktor meteorology yang mempengaruhi peningkatan Curah Hujan di Indonesia selain Angin Monsun. Faktor meteorologi tersebut antara lain pengaruh *Madden Julian Oscillation*, kondisi *Indian Ocean Dipole*, indeks *Southern Oscillation Index*, *Streamline*, hingga pengaruh La-Nina dan juga pengaruh profil atmosfer secara lokal.

Analisis skala meteorologi perlu diterapkan untuk menganalisis penyebab kejadian Hujan Lebat yang terjadi di wilayah Kota Surakarta pada tanggal 03 Februari 2021. Hujan lebat yang terjadi menyebabkan banjir dengan ketinggian 40-70 Cm di dua kecamatan yang berdekatan, dengan wilayah yang terdampak parah yaitu wilayah Kelurahan Sangkrah dan Kelurahan Pasar Sewu. Banjir ini disebabkan karena meluapnya Sungai Bengawan Solo akibat tidak mampu menampung jumlah curah hujan dengan waktu yang lama (Sunaryo, 2021). Menurut Laporan SPECI Bandara Adi Soemarmo (2021), hujan mulai terjadi pada pukul 13.18 UTC-18.19 UTC, dengan intensitas sedang-ringan. Pada awal jam 13.18 UTC hujan terjadi dengan intensitas sedang, sementara mulai pada jam 13.41 UTC intensitas hujan turun dan dikategorikan sebagai hujan dengan intensitas ringan. Analisis meteorologi dilakukan untuk mengetahui mengapa hujan berlangsung dalam periode yang lama. Diperlukan analisis terhadap pengaruh apa saja yang mempengaruhi terjadinya hujan, seperti analisis terhadap Sirkulasi Global (MJO, SOI, dan IOD), analisis terhadap pengaruh Regional (Suhu Permukaan laut, *Streamline*), dan analisis terhadap profil atmosfer lokal.

Analisis pengaruh *Madden Julian Oscillation* (MJO) dilakukan untuk mengetahui apakah naiknya curah hujan disebabkan aktivitas variabilitas intraseasonal yang melewati wilayah Indonesia (Pakpahan, dkk. 2021). MJO secara alami terbentuk dari sistem interaksi laut dan atmosfer, dengan periode osilasi kurang lebih 30-60 hari (Madden dan Julian, 1971). Analisis *Southern Oscillation Index* (SOI) dilakukan untuk melihat pengaruh La-Nina dalam meningkatkan hembusan angin pasat yang membawa kandungan uap air dari samudra pasifik. Indeks SOI diukur berdasarkan perbedaan tekanan udara di lapisan permukaan pada daerah bagian Pasifik Timur yang diukur di Tahiti, dengan tekanan udara permukaan di daerah Pasifik Barat (Indo-Australia) yang diukur di Darwin, Australia (Haryanto, 1998).

Kondisi IOD (*Indian Ocean Dipole*) juga perlu dilihat untuk mengetahui apakah pada Samudra Hindia bagian timur sedang menghangat. Kondisi lautan yang menghangat dapat menyebabkan tekanan pada wilayah tersebut menjadi rendah yang menimbulkan pergerakan angin dari Samudra Hindia bagian barat ke bagian timur. Pergerakan angin ini membawa massa udara basah. Kondisi IOD dapat digunakan untuk melihat kondisi suhu permukaan laut pada Samudra Hindia bagian timur. Nilai suhu permukaan laut yang menghangat dapat meningkatkan laju penguapan di lautan bagian barat Pulau Sumatera dan laut selatan Pulau Jawa (Fadholi, 2013).

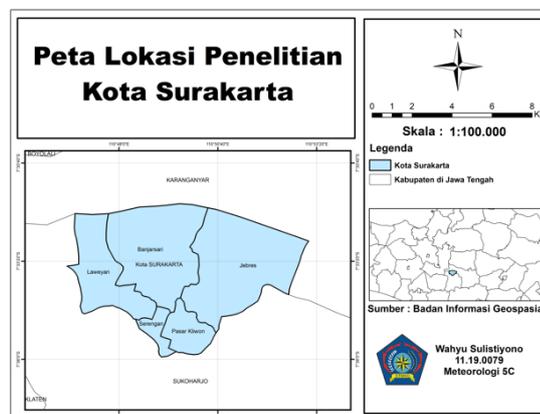
Analisis kajian meteorologi skala regional dilakukan dengan analisis *Streamline* dan suhu permukaan laut sebelum kejadian hujan lebat tersebut terjadi, untuk melihat pola belokan angin dan daerah konvergensi yang mendukung pembentukan awan konvektif. Analisis suhu permukaan laut diamati untuk melihat suhu muka laut yang mendukung pembentukan awan akibat penguapan yang meningkat seiring naiknya suhu permukaan laut.

Analisis kondisi atmosfer skala lokal perlu diamati untuk melihat kondisi profil vertikal atmosfer sebelum terjadinya hujan lebat dengan menggunakan analisis *Vertical Velocity* untuk mengetahui aktivitas *Updraft* yang mendukung pembentukan awan konvektif. Analisis nilai kelembaban relative dilakukan untuk melihat kadar uap air yang mendukung pola perkembangan awan. Analisis nilai CAPE (*Convective Available Potential Energy*) dilakukan untuk melihat kekuatan konvektif yang mendorong parcel udara ke atmosfer disertai juga analisis terhadap CIN (*Convective Inhibition*) untuk mengetahui hambatan yang menghalangi naiknya parcel udara.

Analisis dengan Citra Satelit Himawari-8 digunakan untuk melihat suhu puncak awan untuk melihat perkembangan awan penghasil hujan. Dimana suhu puncak awan yang berpotensi menghasilkan hujan berada dalam rentang antara -78°C sampai -40°C (BMKG, 2010). Pola kontur awan yang diamati melalui Kanal IR diperlukan untuk melihat sebaran awan konvektif dan *stratiform* yang berpotensi menghasilkan hujan dalam intensitas ringan hingga lebat.

METODE

Penelitian dilakukan di Kota Surakarta, Provinsi Jawa Tengah dengan Letak Astronomis secara DMS (detik, Menit, Sekon) terletak diantara $110^{\circ} 45' 15''$ dan $110^{\circ}53' 20''$ Bujur Timur dan antara $7^{\circ}31'$ dan $7^{\circ}36'$ Lintang Selatan. Seperti yang terlihat pada peta lokasi penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data Skala Global (*Southern Oscillation Index*, *Indian Ocean Dipole*, dan *Madden Julian Oscillation*), Skala Regional (*Streamline* dan *Sea Surface Temperature*), dan Skala Lokal (profil *Vertical Velocity*, profil kelembaban relatif, dan nilai CAPE dan nilai CIN). Data Skala Global diperoleh melalui website *Bureau Meteorology Australia* (BOM), data Skala Sinoptik diperoleh melalui ECMWF, dan data Skala lokal diperoleh dari data ERA-5 *Reanalysis Copernicus*.

Data Citra Satelit Himawari-8 yang digunakan merupakan data dari Band 13 (Kanal *Infrared*), dan Kanal *Visible* (VIS) yang diolah menggunakan aplikasi SATAID. Data yang diolah kemudian diAnalisis dan diinterpretasikan untuk mengetahui kenampakan atmosfer saat terjadinya Hujan Lebat.

Data yang diolah dalam kajian ini diperoleh dari berbagai sumber, data dari instansi terkait, dan melalui beberapa laman web. Data kajian diambil melalui beberapa sumber yang dapat diakses dalam daftar berikut ini.

- Data *Madden Julian Oscillation*, *Indeks Southern Oscillation*, *Indian Ocean Dipole* dan data Angin Pasat diambil dari data *Bureau Of Meteorology*, yang dapat diakses melalui pranala berikut: www.bom.gov.au/climate/.
- Data *Streamline* dan Suhu Permukaan Laut berasal dari data ERA-5 *Reanalysis Copernicus* yang di unduh dengan format Netcdf melalui pranala berikut: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>.
- Data *Vertical Velocity*, dan kelembaban relatif diambil dari data perlapisan tekanan (Lapisan standar isobarik) yang dapat diakses melalui pranala berikut ini: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels-preliminary-back-extension?tab=overview>.
- Data informasi stabilitas atmosfer yang terdiri dari data CAPE dan CIN. Data nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) dan data *Convective Inhibition* (CIN) diperoleh melalui laman web Era-5 *Reanalysis*, yang tersedia pada pranala berikut: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>.
- Data Peta Kontur Awan, Sebaran Awan, dan Suhu Puncak Awan diambil dari arsip penginderaan jauh Satelit Himawari-8 Kanal IR (*infrared*) milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang diakses menggunakan Filezilla dengan kode alamat URL <ftp://satelit.bmkg.go.id>.

3.2 Metode Penelitian

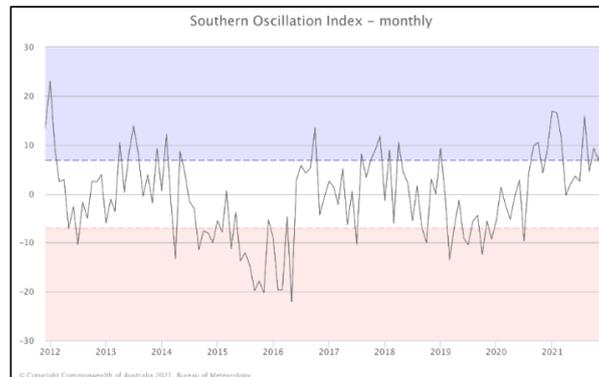
Metode penelitian yang digunakan adalah dengan metode visualisasi data dan dianalisis secara deskriptif. Visualisasi data dilakukan dengan menggunakan aplikasi GrADS yang dioperasikan melalui susunan skrip untuk menampilkan data pada masing masing parameter. Data yang diolah menggunakan aplikasi GrADS terdiri dari data suhu permukaan laut, *Streamline*, *Vertical Velocity*, nilai kelembaban relatif dan juga nilai CAPE dan CIN. Data yang telah ditampilkan kemudian diAnalisis dan diinterpretasikan melalui metode Analisis secara deskriptif. Metode pengolahan data citra satelit Himawari-8 Kanal *Infrared* (Band-13) dilakukan menggunakan aplikasi SATAID yang merupakan *platform* pengolah

data satelit berbasis data *Band* Satelit. Aplikasi SATAID digunakan untuk Analisis pertumbuhan awan konvektif dengan melihat suhu puncak awan secara *time series* dan menampilkan visualisasi dari penampang kontur awan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Pengaruh Meteorologi Skala Global

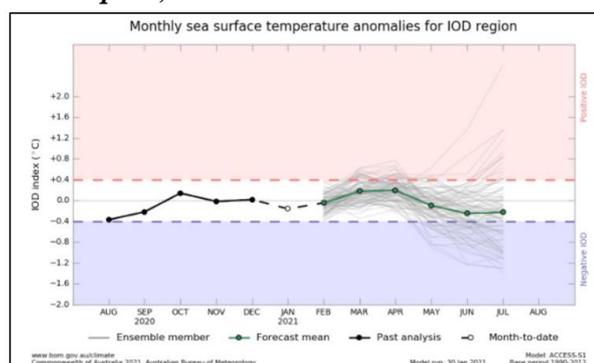
1.1 SOI (*Southern Oscillation Index*)



Gambar 2. Nilai SOI Bulanan dalam rentang tahun 2012 – 2021 (Sumber: Bureau of Meteorology, 2021)

Southern Oscillation Index (SOI) merupakan indeks yang digunakan dalam mengamati adanya pengaruh perkembangan La-Nina dan El-Nino di wilayah Lautan Pasifik. Indeks dari nilai SOI diperoleh dari kalkulasi perbedaan nilai tekanan di Darwin dan Tahiti (Haryanto, 1998). Pada Bulan Februari 2021 nilai indeks SOI yang teramati sebesar + 11.5 yang menunjukkan adanya pengaruh La Nina pada Bulan Februari. Nilai SOI yang melebihi +7 menandakan adanya perkembangan La-Nina di Lautan Pasifik (BOM, 2021). Efek La-Nina ini menimbulkan peningkatan intensitas Angin Pasat yang bertiup dari Samudra Pasifik ke Benua Maritim Indonesia sehingga meningkatkan pertumbuhan awan secara signifikan.

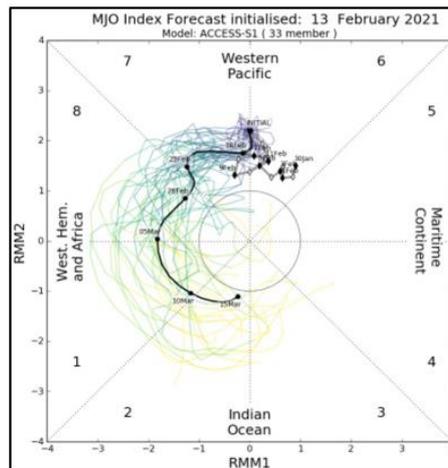
1.2 IOD (*Indian Ocean Dipole*)



Gambar 3. Nilai IOD Pada Bulan Februari 2021 (Sumber: Bureau of Meteorology, 2021)

Indian Ocean Dipole (IOD) merupakan perbandingan suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian barat (Pulau Madagaskar dan sebagian Semenanjung Arab) dengan Samudra Hindia bagian timur (Pulau Sumatra, Pulau Jawa dan sebelah barat Benua Australia) (Fadholi, 2013). Pada Bulan Februari 2021 nilai IOD menunjukkan nilai sebesar $-0.07\text{ }^{\circ}\text{C}$, hal ini menunjukkan bahwa nilai IOD dalam kategori Netral sehingga Faktor IOD kurang berpengaruh dalam peningkatan Curah Hujan di Pulau Jawa.

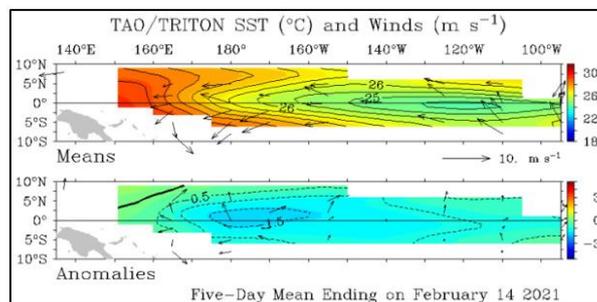
1.3 MJO (Madden Julian Oscillation)



Gambar 4. Diagram Fase MJO Pada Bulan Februari 2021 (Sumber: Bureau of Meteorology, 2021)

Berdasarkan Diagram Fase MJO diatas menunjukkan bahwa pada tanggal 1-13 Februari, *Madden Julian Oscillation* masih berada pada fase 6 dan melewati wilayah Pasifik Barat. MJO dapat dikatakan mempengaruhi curah hujan di Indonesia apabila berada di fase 4 dan fase 5 ketika melewati Benua Maritim Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa MJO tidak berpengaruh terhadap peningkatan curah hujan di wilayah Indonesia pada Bulan Februari.

1.4 Aktivitas Angin Pasat

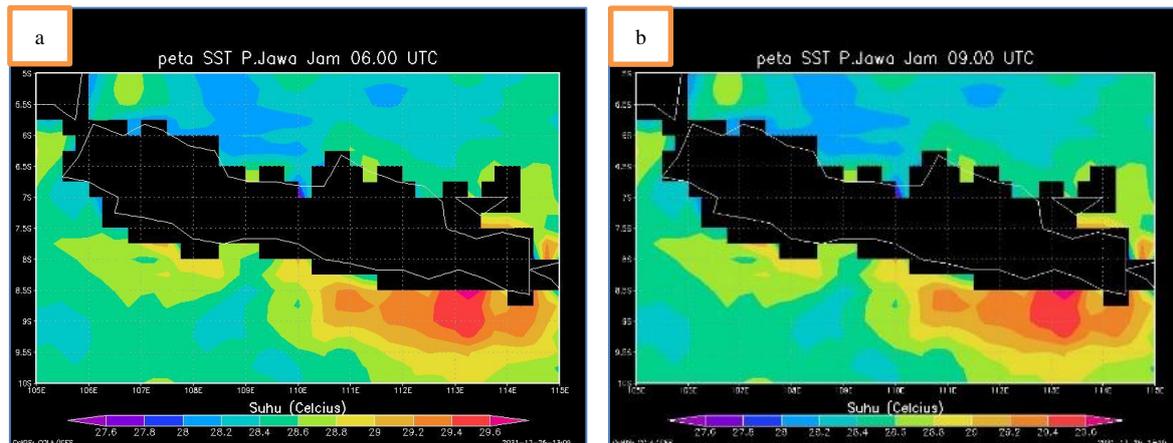


Gambar 5. Nilai SST dan Kekuatan Angin Pasat pada TAO/TRITON Buoy (Sumber: Bureau of Meteorology, 2021).

Berdasarkan Hasil data pengamatan dari TAO/TRITON (*Tropical Atmosphere Ocean*) Buoy, tercatat nilai suhu permukaan laut sebesar 24 °C–25 °C pada bagian timur dan bagian tengah Samudra Pasifik. Nilai suhu tersebut berada dibawah nilai rata-rata suhu permukaan laut yang sebesar 26.5 °C akibat adanya pengurangan suhu berkisar -0.5 °C sampai -1.5 °C. Hal ini menandakan adanya pengaruh kekuatan La-Nina pada Awal Bulan Februari 2021. Adanya kekuatan La-Nina dapat meningkatkan kekuatan hembusan angin pasat akibat berkurangnya suhu permukaan laut di bagian timur dan tengah lautan pasifik. Menurunnya nilai suhu permukaan laut menyebabkan naiknya tekanan udara sehingga memicu kenaikan kekuatan angin pasat. Kekuatan angin pasat yang bertiup dari bagian tengah Samudra Pasifik (120° BB) teramati sebesar 10 m/s sehingga mendukung pembentukan awan penghasil hujan di wilayah Indonesia karena angin pasat membawa kandungan uap air yang melimpah dari Samudra Pasifik.

2. Analisis Pengaruh Meteorologi Skala Regional.

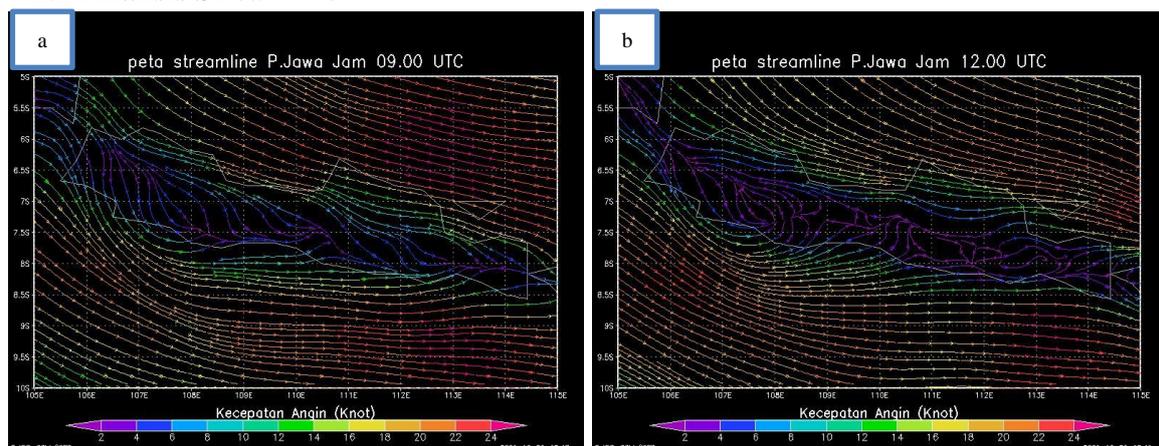
2.1 Analisis Suhu Permukaan Laut



Gambar 6. Peta Suhu Permukaan Laut pada jam 06.00 UTC (gambar a), dan jam 09.00 UTC (gambar b), pada tanggal 3 Februari 2021.

Berdasarkan peta suhu permukaan laut pada gambar 6, dapat terlihat nilai rentang suhu permukaan laut di wilayah Laut Jawa dan Laut Selatan Pulau Jawa. Suhu permukaan laut di bagian laut Jawa berkisar dari 28.0°C – 28.6°C . Pada bagian laut selatan suhu permukaan lautnya lebih hangat yang berada di rentang nilai 28.4°C hingga yang tertinggi mencapai 29.4°C keatas di wilayah pesisir selatan Jawa Timur. Suhu permukaan laut yang cenderung lebih hangat dari nilai normal menyebabkan terbentuknya wilayah lautan dengan laju penguapan yang intensif. Kondisi tersebut dapat meningkatkan terbentuknya awan konvektif penghasil hujan. Naiknya nilai suhu permukaan laut di Laut Jawa dan di Laut Selatan inilah yang menyebabkan makin meningkatnya pembentukan awan, yang kemudian awan-awan tersebut bergerak menuju Pulau Jawa dan semakin berkembang akibat adanya konveksi permukaan yang mendukung pembentukan awan konvektif.

2.2 Analisis Streamline



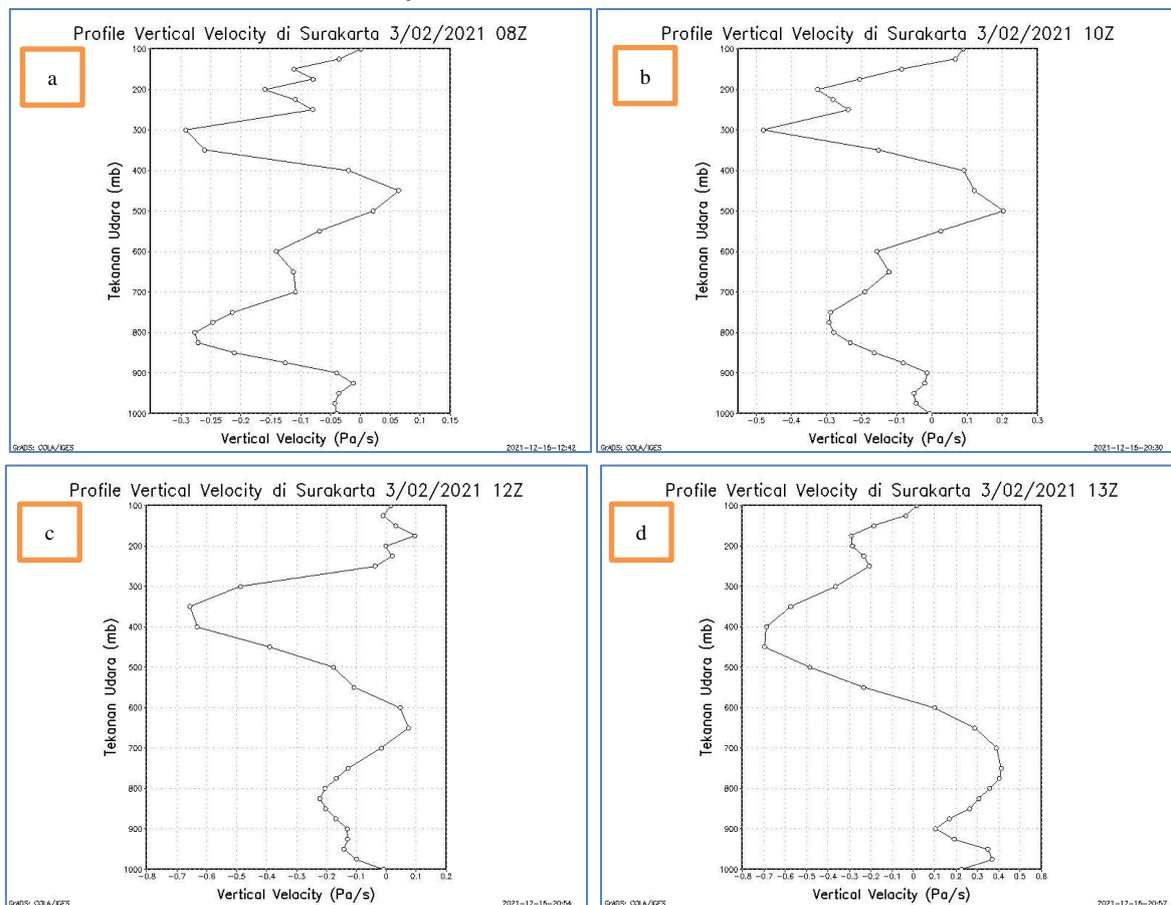
Gambar 7. Peta Suhu Streamline pada jam 09.00 UTC (gambar a), dan 12.00 UTC (gambar b) pada tanggal 3 Februari 2021.

Berdasarkan Visualisasi Peta *Streamline* pada jam 09.00 UTC terlihat adanya belokan angin di wilayah Jawa Tengah. Pola belokan angin ini dapat menyebabkan terbentuknya wilayah yang cocok untuk pertumbuhan awan konvektif. Kondisi ini didukung dengan

meningkatnya pergerakan angin dari laut Jawa yang membawa kandungan uap air melimpah, sehingga mendukung pembentukan awan. Kecepatan angin yang intensif dengan nilai 6 sampai 12 Knot, mendukung distribusi uap air yang dapat berlangsung dengan cepat dari wilayah Laut Jawa ke daratan Pulau Jawa. Pada Jam 12.00 UTC ditemukan pola konvergensi tidak beraturan yang berasal dari pertemuan angin dari Laut Jawa dan angin dari Laut Selatan. Walaupun kecepatan angin hanya berkisar 2-4 Knot, namun pertemuan angin dari tempat yang berbeda ini dapat menciptakan daerah bertekanan rendah. Keadaan ini dapat menghasilkan wilayah konvergensi yang mendukung pertumbuhan awan konvektif di wilayah Jawa Tengah.

3. Analisis Pengaruh Meteorologi Skala Lokal

3.1 Analisis Vertical Velocity

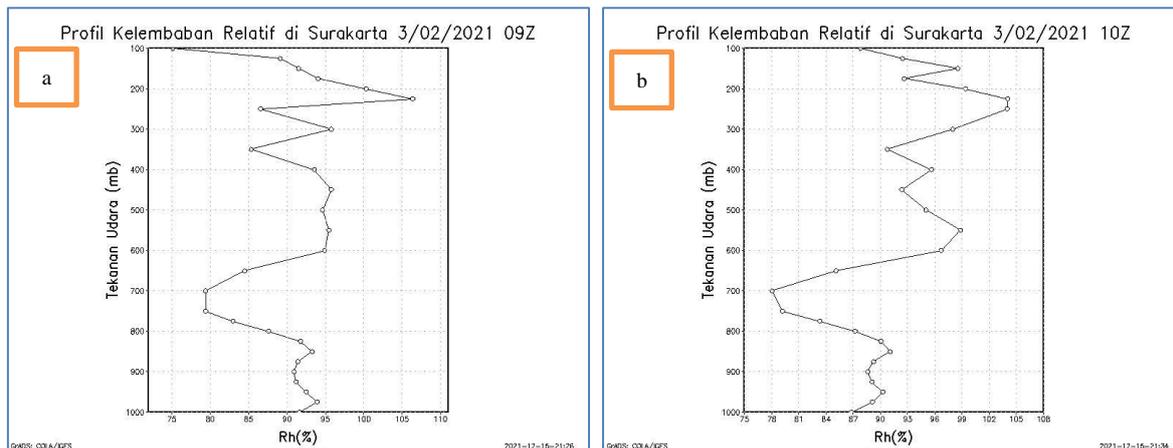


Gambar 8. Grafik Nilai Vertical Velocity pada tiap lapisan tekanan pada jam 08.00 UTC (gambar a), 10.00 UTC (gambar b), dan 12.00 UTC (gambar c) dan jam 13.00 UTC (gambar d) pada tanggal 3 Februari 2021.

Grafik pada gambar 8 merupakan grafik nilai kecepatan vertikal pada tiap lapisan tekanan pada jam 08.00 UTC, 10.00 UTC, 12.00 UTC dan 13.00 UTC. Pada jam 08.00 UTC dan 10.00 UTC nilai *Vertical Velocity* pada lapisan 1000 Mb-700 Mb terukur sebesar -0.3 Pa/s sampai -0.2 Pa/s. Nilai *Vertical Velocity* yang negatif menandakan terjadinya *updraft*, yaitu gerakan massa udara keatas yang menunjukkan kenaikan lapisan tekanan per satuan detik pada bidang vertikal (Holton, 2004). Gerakan *updraft* ini yang menyebabkan terbentuknya awan konvektif secara vertikal. Pada jam 08.00 UTC dan 10.00 UTC gerakan

vertikal massa udara sebagian besar bergerak secara *updraft* yang menandakan pada jam tersebut sedang terjadi fase perkembangan awan cumulonimbus. Pada jam 12.00 UTC nilai *updraft* pada lapisan permukaan cenderung melemah, berada di rentang nilai -0.1 Pa/s dan pada lapisan 700 Mb nilai *Vertical Velocity* sudah berada di ambang nilai positif, yaitu sebesar 0.1 Pa/s. Nilai *vertical velocity* yang positif menandakan bahwa gerakan *downdraft* sudah mulai muncul. Namun, pada lapisan 400 Mb sampai lapisan 300 Mb, besar nilai *updraft* menguat di nilai -0.7 Pa/s yang menandakan bahwa pada jam 12.00 UTC fase perkembangan awan konvektif akan menuju fase puncak. Fase ini ditandai dengan nilai *updraft* di lapisan permukaan cenderung melemah, dan gerakan *downdraft* sudah mulai muncul, sementara nilai *updraft* pada lapisan 400 Mb makin menguat. Pada Jam 13.00 UTC pergerakan massa udara di lapisan 1000 Mb sampai 400 Mb sudah didominasi oleh gerakan *downdraft* dengan kekuatan sebesar 0.3 Pa/s hingga 0.4 Pa/s. Gerakan *downdraft* yang besar pada lapisan ini mengindikasikan proses peluruhan Awan Cumulonimbus menjadi presipitasi (Hujan).

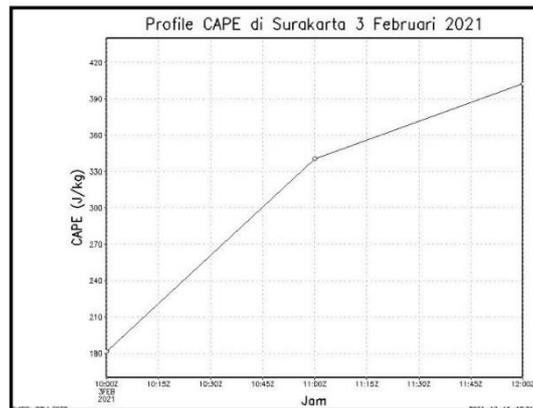
3.2 Analisis Kelembaban Relatif



Gambar 9. Grafik Nilai Kelembaban Relatif pada tiap lapisan tekanan pada jam 09.00 UTC (gambar a), dan jam 10.00 UTC (gambar b) pada tanggal 3 Februari 2021.

Dapat dilihat dari grafik kelembaban relatif pada gambar 9 menunjukkan bahwa pada jam 09.00 UTC hingga jam 10.00 UTC pada lapisan permukaan hingga lapisan 800 Mb nilai kelembaban relatif yang terukur sebesar 85% sampai 90%. Keadaan tersebut menandakan pada lapisan ini massa udara tergolong basah sehingga mendukung dalam pembentukan awan konvektif. Pada lapisan 700 Mb hingga lapisan 300 Mb nilai kelembaban relatif masih tergolong tinggi yaitu lebih dari 80%. Pada jam 09.00 – 10.00 UTC, nilai kelembaban relative masih berada diatas 75%. Kondisi atmosfer yang jenuh menandakan bahwa pada lapisan 700 Mb sampai 300 Mb proses pembentukan awan masih terjadi pada lapisan ini, yang berkembang secara vertikal hingga lapisan 300 Mb keatas. Karena nilai kelembaban relatif masih berada diatas 75% hingga lapisan 300 Mb (30.000 Kaki), maka dapat diperkirakan bahwa awan konvektif ini merupakan awan Cumulonimbus yang masih berkembang hingga pada lapisan 30.000 Kaki.

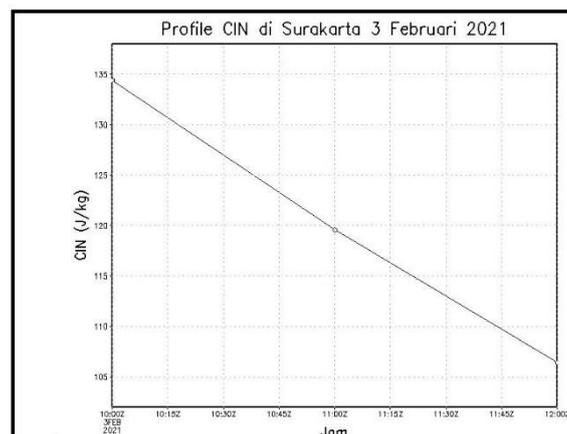
3.3 Analisis CAPE



Gambar 10. Grafik Nilai CAPE pada jam 10.00 UTC sampai 12.00 UTC pada tanggal 3 Februari 2021.

Nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) memiliki peran dalam proses konvektif naiknya massa udara ke atmosfer. CAPE dapat juga digunakan untuk melihat labilitas atmosfer. Nilai CAPE yang tinggi menandakan aktivitas konvektif yang besar sehingga menyebabkan kondisi atmosfer tidak stabil, dan berpotensi membentuk awan konvektif penghasil hujan (Muttaqin, 2016). Berdasarkan grafik pada gambar 10, nilai CAPE dari Jam 10.00 UTC berangsur-angsur naik hingga jam 12.00 UTC. Nilai CAPE pada jam 10.00 UTC teramati sebesar 180 J/Kg. Kemudian naik secara drastis pada jam 11.00 UTC menjadi sebesar 330 J/Kg, dan kemudian nilai CAPE naik lagi sebesar 60J/Kg pada jam 12.00 UTC menjadi 390 J/Kg. Secara keseluruhan, nilai CAPE pada periode ini tergolong rendah, namun nilai CAPE ini tetap berpengaruh dalam konveksi massa udara pada pembentukan awan konvektif.

3.4 Analisis CIN



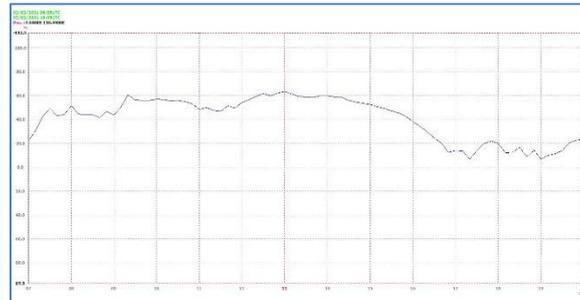
Gambar 11. Grafik Nilai CIN pada jam 10.00 UTC sampai 12.00 UTC pada tanggal 3 Februari 2021.

CIN (*Convective Inhibition*) memiliki peran dalam menghambat proses konveksi massa udara. Pada gambar 11, teramati grafik nilai CIN menunjukkan penurunan secara teratur. Pada Jam 10.00 UTC nilai CIN yang terukur sebesar 135 J/Kg, lalu menurun pada jam 11.00 UTC menjadi sebesar 120 J/Kg, dan pada Jam 12.00 UTC nilai CIN hanya teramati sebesar kurang dari 110 J/Kg. Secara keseluruhan, nilai CIN pada periode ini

dikategorikan sebagai hambatan sedang. Nilai CIN dikatakan sebagai hambatan sedang, jika berada dalam rentang nilai 51-199 J/Kg (Holton, 2004). Namun kondisi nilai CIN ini kurang berpengaruh dalam menghambat pembentukan awan konvektif di wilayah Surakarta pada jam 10.00 UTC sampai 12.00 UTC.

4. Analisis Data Satelit Himawari-8

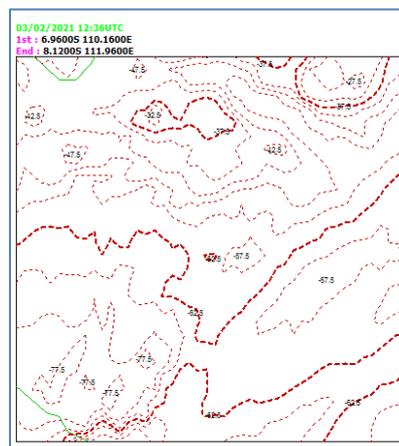
4.1 Timeseries Fase Perkembangan Awan Cumulonimbus



Gambar 12. Grafik perkembangan awan Cumulonimbus.

Grafik pada gambar 12 merupakan grafik fase perkembangan Awan Cumulonimbus yang ada di Surakarta pada tanggal 3 Februari 2021. Berdasarkan grafik tersebut, pada jam 07.00 UTC suhu puncak awan sudah berada di nilai -20°C yang menandakan bahwa sel awan ini merupakan sel awan konvektif jenis cumulus yang akan berkembang menjadi Awan Cumulonimbus. Pada jam 08.00 sampai 09.00 UTC suhu puncak awan sudah melewati -40°C , yang menandakan terbentuknya Sel Awan Cumulonimbus. Pada Jam 10.00 UTC hingga 12.00 UTC suhu puncak awan masih berada pada kisaran -50°C . Sel Awan Cumulonimbus pada jam 10.00 UTC masih dalam fase pertumbuhan dan belum mencapai fase puncaknya. Pada Jam 13.00 UTC sampai 14.00 UTC merupakan fase puncak perkembangan Awan Cumulonimbus dengan suhu puncak awan melebihi -60°C . Pada jam 13.00 UTC suhu bahkan mencapai -62.5°C . Kemudian fase peluruhan Awan Cumulonimbus terjadi setelah jam 14.00 UTC ditandai dengan grafik yang menurun pada suhu puncak awan secara drastis hingga pukul 17.00 UTC. Peluruhan Awan Cumulonimbus ini menandakan fase terjadinya hujan (presipitasi) di Kota Surakarta.

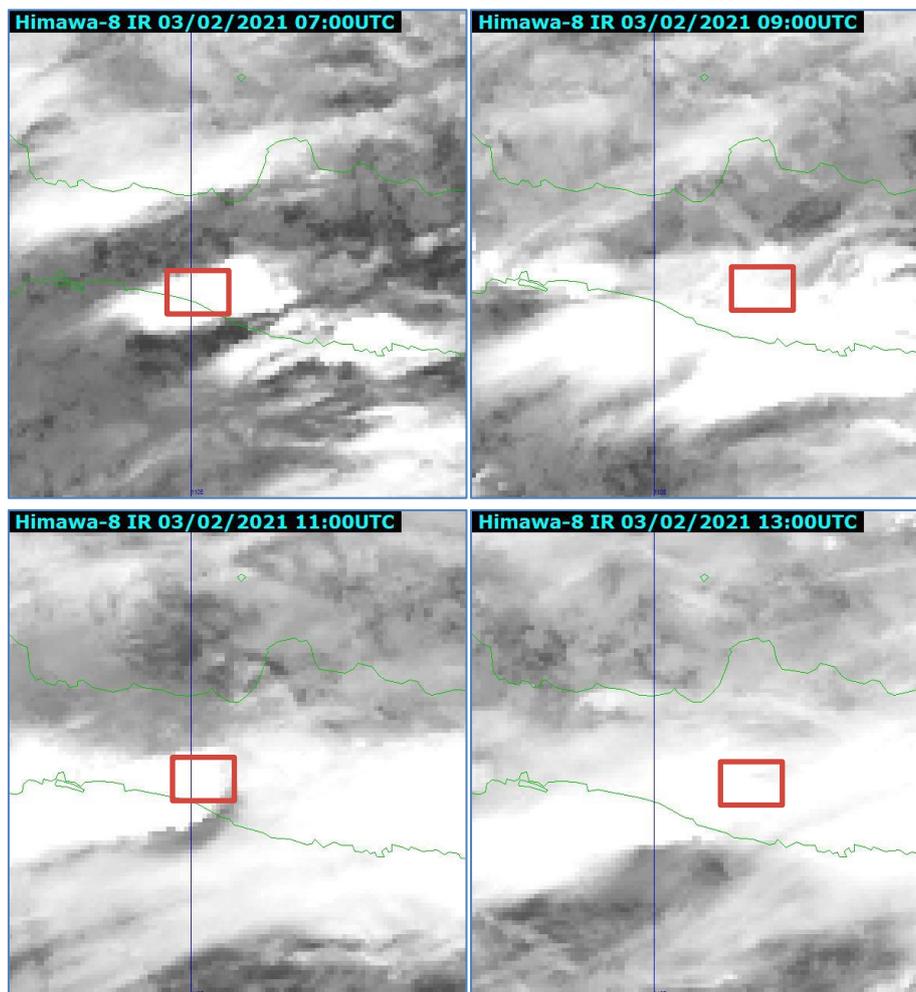
4.2 Pola Kontur Awan



Gambar 13. Pola Kontur Awan pada Jam 12.36 UTC.

Pada gambar pola kontur awan saat jam 12.36 UTC dapat dilihat ada 3 Sel Awan Cumulonimbus. Berdasarkan peta pola kontur awan, terdapat 1 Sel Awan Cumulonimbus yang berukuran besar terdiri dari susunan sel Awan Cumulonimbus yang lain dengan nilai suhu puncak awan berada dikisaran -62.5°C hingga yang paling rendah sebesar -77.5°C . Jika diamati, sel Awan Cumulonimbus ini termasuk dalam jenis Awan Cumulonimbus tipe *Multicell*, karena sel Awan Cumulonimbus ini tersusun dari Awan Cumulonimbus lain yang bergabung menjadi susunan besar. Dapat dilihat dari Puncak Awan Cumulonimbus yang jumlahnya lebih dari satu, dengan nilai suhu puncak awan yang beragam, dengan rentang nilai -67.5°C dan -77.5°C . Sel Awan Cumulonimbus ini membentang dari daerah 6.96° Lintang Selatan hingga 8.12° Lintang Selatan, atau dengan kata lain membentang dari Kota Surakarta hingga mencapai Provinsi D.I.Yogyakarta. Terdapat Juga Sel Awan Cumulonimbus yang lain dengan suhu puncak awan yang berada dalam rentang -42.5°C sampai -57.5°C .

4.3 Citra Satelit Himawari-8 Pada Kanal IR



Gambar 14. Gambar Citra Satelit Himawari-8 Kanal Infrared pada jam 07.00 UTC, 09.00 UTC, 11.00 UTC, dan 13.00 UTC di wilayah Kota Surakarta (kotak merah) pada tanggal 3 Februari 2021.

Berdasarkan hasil citra satelit pada gambar 14, pada jam 07.00 UTC terlihat susunan awan yang masih sedikit jumlahnya dan hanya menyelimuti beberapa daerah di Provinsi D.I Yogyakarta. Kemudian, pada jam 09.00 UTC jumlah sebaran makin meningkat, sebaran awan ini berasal dari Laut Selatan Jawa yang bergerak ke arah utara. Berikutnya, pada Jam 11.00 UTC sampai 13.00 UTC jumlah susunan awan makin meningkat yang menyelimuti Wilayah Yogyakarta, Pesisir Selatan Pulau Jawa, hingga ke wilayah Surakarta dan sekitarnya.

PENUTUP

Kejadian hujan lebat di Kota Surakarta disebabkan oleh beberapa aktivitas atmosfer dalam skala yang bervariasi. Dalam analisis fenomena meteorologi Skala Global ditemukan pengaruh La-Nina pada Bulan Februari 2021. Dalam analisis fenomena meteorologi Skala Regional ditemukan adanya pengaruh suhu permukaan laut, belokan angin dan konvergensi yang meningkatkan pembentukan awan konvektif. Pengaruh fenomena meteorologi skala lokal juga memiliki peran penting, ditandai dengan nilai indeks stabilitas atmosfer yang labil serta kondisi atmosfer yang jenuh dan mendukung pembentukan awan penghasil hujan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fenomena hujan lebat di wilayah Surakarta pada tanggal 3 Februari 2021 dipengaruhi beberapa aspek meteorologis, baik skala Global hingga lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah membantu memudahkan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga turut kami sampaikan kepada pembimbing serta dosen Pembina yang telah membimbing kami dalam menyusun penelitian ini. Serta ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kami dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abay, F. M. J. (2021). Analisis Dinamika Atmosfer Dan Distribusi Awan Konvektif Menggunakan Teknik Red Green Blue (RGB) Pada Citra Satelit Himawari-8: Studi Kasus Banjir Jakarta 30 Desember 2019 - 1 Januari 2020. *Megasains*, 12(1), 34–39. <https://doi.org/10.46824/megasains.v12i1.42>
- Al Habib, A. H., Pradana, Y. W., Pangestu, D., Winarso, P. A., & Sujana, J. (2019). Kajian Pertumbuhan Awan Hujan Pada Saat Banjir Bandang Berbasis Citra Satelit Dan Citra Radar (Studi Kasus : Padang, 2 November 2018). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(2), 1–6. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v6i2.117>
- BMKG. (2010). *Keputusan No.009 Tentang Prosedur Informasi Cuaca Ekstrem*. BMKG.
- BMKG. (2021). *METAR/SPECI & Trend Forecast at Adi Soemarmo Airport*. Sistem Informasi Meteorologi Penerbangan.
- Bureau Of Meteorology (BoM). (2021). *IOD Index Timeseries. Climate monitoring graphs*. Bureau Of Meteorology (BoM) for Climate Monitoring Graphs and Charts. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/indices.shtml?bookmark=iod>
- Diniyati, E., Fa'iz Dwitrisna, M., & Mulya, A. (2021). Analisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir dan Tanah Longsor (Studi Kasus : Nganjuk, 14 Februari 2021). *Sainstek (e-Journal)*, 9(1), 18–24. <https://doi.org/10.35583/js.v9i1.133>
- Efendi, A. N., Kuncorojati, S., & Budi, F. S. (2019). Analisis Hujan Ekstrem Penyebab Tanah Longsor di Melawi Memanfaatkan Data Radar dan Satelit Cuaca (Studi Kasus Tanggal 28 Februari 2019). *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 6, 195.

- Fadholi, A. (2013). Studi Dampak El Nino Dan Indian Ocean Dipole (Iod) Terhadap Curah Hujan Di Pangkalpinang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 12(2), 43. <https://doi.org/10.14710/jil.11.1.43-50>
- Holton, J. R. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology (4th edition)*. Elsevier Academic Press.
- Kholiviana, P. A., Ruhiat, Y., & Saefullah, A. (2022). Analisis *Vertical Wind Shear* Pada Pertumbuhan Awan Cumulonimbus Di Wilayah Kabupaten Tangerang. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 3(1), 17–23. <https://doi.org/10.33369/nmj.v3i1.21080>
- Madden, R. A., & Julian, P. R. (1971). Detection of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. *Journal Of The Atmospheric Sciences*, 28, 702–707.
- Muttaqin, A., Muhammad, F. N., & Abdillah, P. A. (2016). Analisis Profil CAPE (Convective Available Potential Energy) Selama Kegiatan *Intensive Observation Period* Di Dramaga Bogor. 17(2), 83–89.
- Pakpahan, S. L. H., Kurniati, R., & Mulya, A. (2020). Analisis Kejadian Hujan Lebat Penyebab Banjir Dan Tanah Longsor (Studi Kasus: Ciganjur, Jakarta Selatan). *Jurnal Administrasi Publik Mahasiswa Universitas Brawijaya*, 5(4), 95–106.
- Setiawan, A. (2021). Kajian Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat Penyebab Banjir Di Kota Palembang (Studi Kasus Tanggal 13 September 2021). *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 11(02), 69–82.
- Sipayung, S. B. (2017). Analisis Awan Cumulonimbus Dan Angin Serta Keterkaitannya Dengan Curah Hujan Di Kawasan Gede Bage (Bandung, Jawa Barat). *Berita Dirgantara*, 18(2), 75–82.
- Sunaryo, A. (2021). *Bengawan solo meluap, Sejumlah Wilayah di soloraya banjir*. Merdeka.Com. <https://www.merdeka.com/peristiwa/bengawan-solo-meluap-sejumlah-wilayah-di-soloraya-banjir.html>
- Susilokarti, D., Arif, S. S., Susanto, S., Sutiarso, L., Rm, J., No, H., Minggu, P., Selatan, J., Pertanian, J. T., Pertanian, F. T., & Mada, U. G. (2015). Identifikasi Perubahan Iklim Berdasarkan Data Curah Hujan Di Wilayah Selatan Jatiluhur Kabupaten Subang, Jawa Barat. 35(1), 98–105.
- Untung Haryanto. (1998). *Keterkaitan Fase Indeks Osilasi Selatan (SOI) Terhadap Curah Hujan Di DAS Citarum*. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.