

Pemanfaatan SATAID Untuk Analisis Kondisi Atmosfer Menggunakan Metode *Numerical Weather Prediction*

Utilization of SATAID for Analysis of Atmospheric Conditions Using the Numerical Weather Prediction Method

Isnaini Anjelina Ramadhan*¹, Aditya Mulya²

^{1,2} Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

^{1,2} Tangerang Selatan, Indonesia

e-mail: *isnaini.anjelina.ramadhan@stmkg.ac.id

Abstrak - Pada tanggal 2 Januari 2021 telah terjadi banjir di Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Hujan lebat merupakan fenomena utama yang mendasari banjir terparah ini dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Analisis kondisi atmosfer dilakukan guna mengetahui kondisi perawanan dan indeks labilitas atmosfer selama kejadian hujan lebat. Aplikasi SATAID digunakan sebagai alat utama dalam mengolah data satelit cuaca. Data diperoleh dari satelit Himawari-8 meliputi data kanal inframerah dan data NWP. Metode NWP dipilih untuk menampilkan parameter labilitas atmosfer yang digunakan dalam analisis. Hasil menunjukkan bahwa suhu puncak awan dan tampilan citra satelit mengindikasikan eksistensi awan konvektif selama kurun waktu 08.00—13.00 UTC. Suhu terendah puncak awan dicapai pada titik -79.9 °C pukul 09.40 UTC. Citra satelit memperlihatkan fase pertumbuhan awan terjadi mulai pukul 09.00 UTC dan fase matang terjadi pukul 11.00 UTC. Indeks labilitas atmosfer meliputi Showalter Stability Index, K-Index, Lifted Index, dan Total-Totals Index cenderung bernilai fluktuatif selama kejadian. Secara umum, tingkat labilitas atmosfer berada pada kategori lemah hingga sedang. Kondisi atmosfer yang paling tidak stabil terjadi pada 08.00 UTC yaitu sebelum pembentukan awan berlangsung. Pada tahap matang dan peluruhan awan, atmosfer cenderung lebih stabil. Pemanfaatan SATAID dinilai mampu untuk menghasilkan pengolahan data satelit kondisi atmosfer yang baik.

Kata kunci: awan, labilitas atmosfer, NWP, SATAID

Abstract - On January 2, 2021, there was a flood in Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Heavy rain was the main phenomenon that underlied this worst flood compared to previous years. Analysis of atmospheric condition was carried out to determined cloud condition and atmospheric instability index during heavy rain. The SATAID application was used as the main tool in processing weather satellite data. Data was obtained from the Himawari-8 satellite included infrared channel data and NWP data. The NWP method was chosen to display the atmospheric instability parameters used in the analysis. The result showed that the cloud top temperature and satellite image display indicated the existence of convective clouds during the period 08.00-13.00 UTC. The lowest temperature of the cloud top was reached at -79.9 °C at 09.40 UTC. The satellite image showed the cloud growth phase starting at 09.00 UTC and the mature phase occurred at 11.00 UTC. Atmospheric instability indexes included Showalter Stability Index, K-Index, Lifted Index, and Total-Totals Index tended to fluctuate during events. In general, the level of atmospheric instability was in the weak to moderate category. The most unstable atmospheric conditions occurred at 08.00 UTC, which was before cloud formation took place. At the stage of cloud maturity and decay, the atmosphere tended to be more stable. Utilization of SATAID was considered capable of producing good processing of satellite data for atmospheric condition.

Keywords: cloud, atmospheric instability, NWP, SATAID

I. PENDAHULUAN

Pada tanggal 2 Januari 2021 telah terjadi banjir di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Banjir merupakan suatu peristiwa menggenangnya air di permukaan tanah sampai melebihi batas waktu tertentu yang mengakibatkan kerugian [1]. Banjir termasuk fenomena bencana hidrometeorologi yang disebabkan oleh jumlah aliran masuk (*inflow*) dan aliran keluar (*outflow*) yang tidak seimbang pada daerah aliran sungai (DAS). Ada banyak faktor penyebab banjir, seperti hujan deras, kurangnya daerah resapan, tutupan vegetasi rendah, atau saluran drainase yang tidak memadai. Faktor meteorologi utama yang menyebabkan banjir adalah curah hujan [2]. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Jombang, banjir di Jombang terjadi akibat hujan intensitas sedang hingga lebat [3]. Hujan yang mengguyur sejak sore hari hari mengakibatkan meluapnya air sungai Avour Watudakon pada 22.00 WIB. Setidaknya ratusan rumah di Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang terendam banjir dengan ketinggian maksimum 80 cm. Banjir juga merendam jalan alternatif Mojokerto-Jombang yang merupakan jalur vital. Bencana ini berlangsung selama kurang lebih dua pekan dan berakhir pada 15 Januari 2021. Akibat bencana ini masyarakat mengalami kerugian material dan aktivitas menjadi terganggu. Penyebaran penyakit juga menjadi rawan selama banjir berlangsung. Maka dari itu, BPBD Jombang menggolongkan kejadian ini ke dalam bencana level sedang.

Hujan lebat dalam waktu relatif lama berpotensi menyebabkan bencana hidrometeorologi. Untuk itu perlu dilakukan analisis kondisi atmosfer pada waktu kejadian. Dalam meteorologi, kondisi atmosfer memiliki kaitan erat dengan fenomena cuaca yang terjadi. Analisis kondisi atmosfer dapat merepresentasikan parameter-parameter tertentu yang memberikan kontribusi terhadap fenomena yang sedang terjadi. Parameter yang dikaji misalnya kondisi perawanan, indeks labilitas atmosfer, *streamline* angin, suhu udara, *outgoing longwave radiation* (OLR), dan lain sebagainya. Hujan lebat umumnya ditandai dengan adanya aktivitas pertumbuhan awan konvektif seperti awan cumulonimbus [4]. Adapun atmosfer biasanya cenderung tidak stabil sehingga memicu pertumbuhan awan konvektif, salah satunya cumulonimbus. Analisis kondisi atmosfer bermaksud mengetahui seberapa signifikan fenomena cuaca berdasarkan parameter atmosfer. Sebagai bahan analisis, diperlukan data-data meteorologi yang dirasa cukup representatif.

Satelit cuaca menyediakan berbagai data meteorologi termasuk kondisi atmosfer. Satelit cuaca merupakan perangkat teknologi yang diluncurkan ke ruang angkasa guna melakukan pengamatan permukaan bumi dari jarak jauh dalam hal meteorologi. Dibandingkan data observasi langsung, satelit dapat mencakup hampir seluruh lokasi di permukaan bumi. Selain itu, interval pengamatan relatif singkat yakni dalam hitungan menit. Sehingga dalam skala spasiotemporal, satelit cuaca telah memberikan kecukupan data. Penggunaan satelit sangat sesuai bagi wilayah yang sulit dijangkau atau yang tidak memiliki stasiun pengamatan cuaca. Pada Kabupaten Jombang tidak terdapat stasiun pengamatan cuaca sehingga keberadaan satelit sangat membantu. Citra satelit dengan resolusi temporal terbaik untuk wilayah Indonesia dihasilkan oleh satelit Himawari-8 yang diluncurkan oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) pada tahun 2014 [5]. Satelit ini memiliki 16 kanal observasi dan resolusi spasialnya 0,5 atau 1 km untuk kanal visibel dan inframerah dekat, serta 2 km untuk kanal inframerah [6]. Satelit Himawari-8 menyediakan berbagai informasi cuaca yang cukup sebagai dasar analisis kondisi

atmosfer. Sebagai sarana untuk mengolah data satelit, diperlukan perangkat lunak yang sesuai.

Salah satu aplikasi yang dapat digunakan untuk mengolah data satelit ialah SATAID (*Satellite Animation and Interactive Diagnosis*). Sama seperti satelit Himawari-8, SATAID dikembangkan oleh JMA. SATAID telah banyak digunakan untuk studi penelitian meteorologi di wilayah Indonesia. Meluasnya penggunaan SATAID disebabkan karena aplikasi ini memiliki banyak fitur dan cukup mudah untuk diaplikasikan. Beberapa fitur kegunaan SATAID adalah mengidentifikasi suhu puncak awan, menampilkan citra satelit, dan menampilkan data *Numerical Weather Prediction* (NWP). Dengan adanya SATAID, analisis cuaca buruk seperti hujan lebat dapat lebih mudah dilakukan.

Numerical Weather Prediction (NWP) atau prediksi cuaca numerik adalah cara memprediksi/memperkirakan cuaca dengan menggunakan data model atmosfer dengan teknik komputasi berdasarkan kondisi cuaca terkini. Data NWP dapat digunakan untuk melihat potensi kejadian cuaca buruk. Melalui aplikasi SATAID, data NWP dapat ditampilkan secara baik dan dianalisis lebih lanjut.

Untuk mengkaji kejadian banjir Jombang akibat hujan lebat, maka dilakukan penelitian terhadap kondisi atmosfer selama kejadian. Pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi SATAID dan memanfaatkan fitur NWP. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui kondisi atmosfer di lokasi kejadian, mencakup perawanan dan indeks labilitas atmosfer. Pada parameter perawanan, diamati dinamika masa hidup awan terkait jenis dan suhu puncaknya. Sementara labilitas atmosfer menyatakan seberapa tidak stabilnya keseimbangan di atmosfer sehingga memicu cuaca ekstrem. Selain itu, dikaji pula seberapa erat hubungan kondisi atmosfer terhadap fenomena hujan lebat. Penulis berhipotesis bahwa kejadian banjir Jombang memang disebabkan oleh hujan lebat. Hal ini memiliki keterkaitan dengan kondisi atmosfer di lokasi saat kejadian.

Dibandingkan penelitian terdahulu yang serupa, penelitian ini mengambil lokasi yang jarang dikaji yakni Kabupaten Jombang. Lokasi Dusun Beluk, Desa Jombok, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang memang sering dilanda banjir setiap tahun. Namun, banjir tahun 2021 merupakan kejadian paling parah dari sekian kali banjir yang melanda setiap tahunnya [7]. Umumnya, banjir di Dusun Beluk berlangsung selama hitungan hari, sedangkan pada kasus ini kurang lebih selama dua pekan. Sehingga dipastikan bahwa ada faktor pendukung lain di luar kejadian biasanya. Baik pada kejadian banjir tahun-tahun sebelumnya maupun tahun 2021, belum ada kajian ilmiah yang membahasnya dalam aspek meteorologi. Padahal bencana ini berpengaruh besar bagi masyarakat terdampak baik dari segi material maupun kesehatan. Untuk itu penelitian ini bermaksud mengkaji kasus banjir Jombang 2 Januari 2021 dari sisi meteorologi dengan memanfaatkan teknologi komputer.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi atmosfer meliputi kondisi perawanan dan indeks labilitas atmosfer selama kejadian hujan lebat. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat terdampak dan pemerintah terkait untuk lebih tahu tentang kasus banjir Jombang 2021.

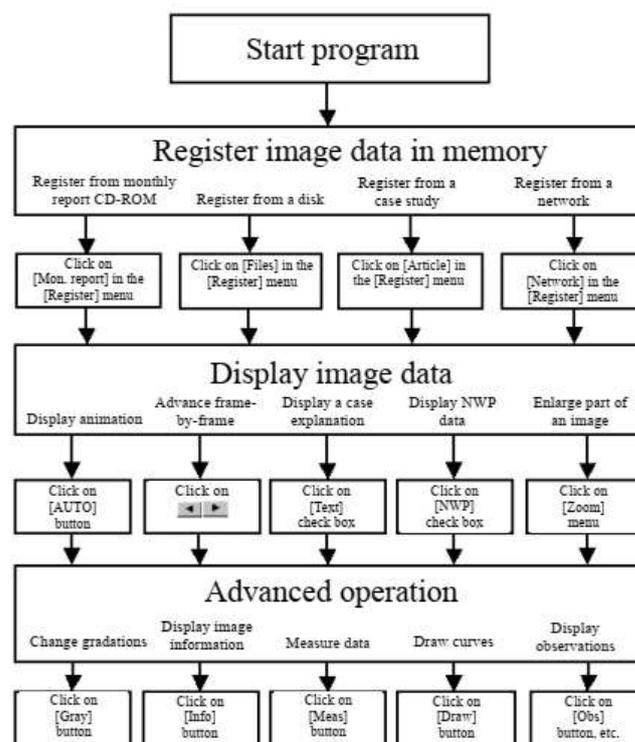
II. LANDASAN TEORI

2.1. SATAID

Satellite Animation and Interactive Diagnosis atau yang disebut SATAID merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Meteorological Satellite Center* (MSC) Japan

Meteorological Agency (JMA). Aplikasi ini digunakan untuk mengolah data jenis *binary* dari citra satelit secara *real time* dan dapat diakses dengan mudah [4]. Selain itu, SATAID juga digunakan untuk menampilkan citra satelit dan menghampar (*overlay*) data prediksi cuaca numerik NWP [8]. Perangkat lunak ini termasuk sistem canggih yang banyak digunakan oleh para peneliti. Sistem ini terdiri dari berbagai fungsi untuk menganalisis citra satelit dan menggunakan fungsi-fungsi ini memungkinkan seseorang untuk melakukan analisis setara dengan yang dilakukan di MSC [9]. Pengoperasian fitur dijelaskan secara lengkap pada Gambar 1.

Penggunaan aplikasi SATAID ini sudah banyak digunakan dalam berbagai kajian di wilayah Indonesia [10]. Bisa dibilang aplikasi ini mengintegrasikan ilmu komputer, fisika, dan meteorologi sehingga penerapannya sangat beragam. Penelitian terkait yang memanfaatkan SATAID antara lain untuk deteksi cuaca buruk [2] [4] [8] [10], deteksi abu vulkanik [11] [12], dan pantauan sebaran asap [13] [14].



Gambar 1. Prosedur Operasi SATAID [9]

2.2. Kondisi Atmosfer

Kondisi atmosfer merupakan dinamika keadaan lapisan udara yang melingkupi bumi. Atmosfer yang tidak stabil dapat memicu kondisi cuaca buruk seperti hujan dan badai guntur, sedangkan atmosfer yang stabil biasanya menyebabkan langit cerah. Melalui citra satelit IR, jenis awan dapat diidentifikasi. Semakin cerah tampilan berarti suhu puncak awan semakin rendah, kelembaban semakin tinggi, dan pertumbuhan awan konvektif semakin besar [10]. Awan konvektif yang menunjukkan tingginya ketidakstabilan adalah jenis cumulonimbus (Cb). Menurut Chrysoulakis, badai guntur terbentuk dalam tiga tahap berbeda [15]. Pertama merupakan fase pertumbuhan cumulus. Fase kedua yaitu matangnya badai guntur yang ditandai dengan *downdraft*. Yang terakhir yaitu fase peluruhan yang terjadi ketika *updraft* melemah. Tingkat ketidakstabilan atmosfer yang memicu konveksi dan badai guntur dinyatakan dalam indeks labilitas atmosfer. Ada

banyak jenisnya, antara lain *Showalter Stability Index*, *Lifted Index*, *K-Index*, dan *Total-Totals Index*.

Showalter Stability Index (SSI) digunakan untuk mengukur kestabilan atmosfer dengan mengitung gaya angkat ke atas suatu parcel udara dari lapisan 850 mb ke lapisan 500 mb [4]. Nilai positif menunjukkan parcel lebih rendah (dingin) dibandingkan lingkungan, sehingga atmosfer stabil, begitu pula sebaliknya [10]. Persamaan SSI dituliskan sebagai berikut.

$$SSI = T_{850} - T_{500} \dots\dots\dots (1)$$

Lifted Index (LI) adalah perbedaan suhu parcel udara yang bergerak naik secara adiabatik dengan suhu lingkungannya yang terjadi pada tekanan udara 500 mb di atmosfer [2].

$$LI = T_{ling\ 500} - T_{par\ 500} \dots\dots\dots (2)$$

K-Index (KI) merupakan parameter stabilitas yang memanfaatkan suhu dan kelembaban lapisan 850 hPa, 700 hPa, dan 500 hPa. KI meningkat dengan penurunan stabilitas statis antara 850 dan 500 hPa, peningkatan kelembaban pada 850 hPa, dan peningkatan kelembaban relatif pada 700 hPa [15].

$$KI = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700}) \dots\dots\dots (3)$$

Total-Totals Index (TTI) terdiri atas dua bagian yaitu *Cross Totals Index* (CT) dan *Vertical Totals Index* (VT) berdasarkan data suhu (T) dan suhu titik embun (Td) pada lapisan 850 dan 500 mb [16]. Namun, lebih ringkasnya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$TTI = T_{850} + Td_{850} - 2T_{500} \dots\dots\dots (4)$$

Keempat indeks labilitas tersebut digolongkan tingkatannya sesuai Tabel 1 .

Tabel 1. Indeks Labilitas Atmosfer [16]

Indeks Labilitas	Potensial Konveksi		
	Lemah	Sedang	Kuat
Showalter Stability Index (SSI)	> 4	4—(-4)	< (-4)
Lifted Index (LI)	> -2	(-2)—(-6)	< (-6)
K-Index (KI)	< 29	29—37	> 37
Total-Totals Index (TTI)	< 42	42—46	> 46

2.3. Numerical Weather Prediction (NWP)

Numerical Weather Prediction (NWP) atau prediksi cuaca numerik adalah metode prakiraan cuaca yang menggunakan serangkaian persamaan untuk menggambarkan aliran fluida [17]. Metode ini memanfaatkan ilmu komputer dan persamaan metode numerik untuk diaplikasikan pada lokasi kasus tertentu. Saat ini NWP menjadi salah satu metode yang paling sering digunakan prakirawan untuk memperoleh hasil prediksi cuaca. Pada SATAID, NWP dapat dimanfaatkan untuk memperoleh data indeks stabilitas atmosfer pada saat terjadinya cuaca ekstrem [4].

2.4. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terkait yang sebelumnya telah dilaksanakan, antara lain:

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No	Judul	Tahun, Penulis	Metode	Hasil/Kesimpulan
1	Pemanfaatan Satelit Himawari-8 dengan Metode NWP dan RGB untuk Menganalisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Sidoarjo Tanggal 28 Mei 2020	2021, Estri Diniyati; Dhiyaul Qalbi Syofyan; Aditya Mulya	<i>Numerical Weather Prediction, Red Green Blue</i>	Peristiwa hujan lebat disebabkan oleh pertumbuhan awan cumulonimbus yang intens disertai dengan kristal es. Ini ditandai dengan indeks labilitas atmosfer yang tinggi.
2	Analisis Keadaan Atmosfer dan Citra Satelit Saat Terjadi Hujan Es di Kabupaten Magelang	2018, Heriyanto Wicaksono; Marselinus Muaya; Muh. Reza Pahlawan Eba; Imma Redha Nugraheni	Analisis <i>Time Series, Numerical Weather Prediction</i>	Pada kejadian hujan es terdapat perubahan parameter meteorologi dan labilitas atmosfer yang signifikan. Citra satelit menunjukkan fase awan dengan suhu puncak sangat rendah sebagai pemicu pertumbuhan es.
3	Pemanfaatan SATAID untuk Analisis Kondisi Atmosfer di Wilayah Perairan	2018, Budi Prasetyo; Nikita Pusparin	<i>Numerical Weather Prediction</i>	Pada studi kasus kejadian kapal tenggelam KM Sakinah di Perairan Kuala Tanjung, SATAID terbukti bermanfaat untuk analisis kondisi atmosfer perairan. Analisis menunjukkan adanya indikasi cuaca buruk (hujan lebat, badai guntur, dan angin kencang) saat kejadian.

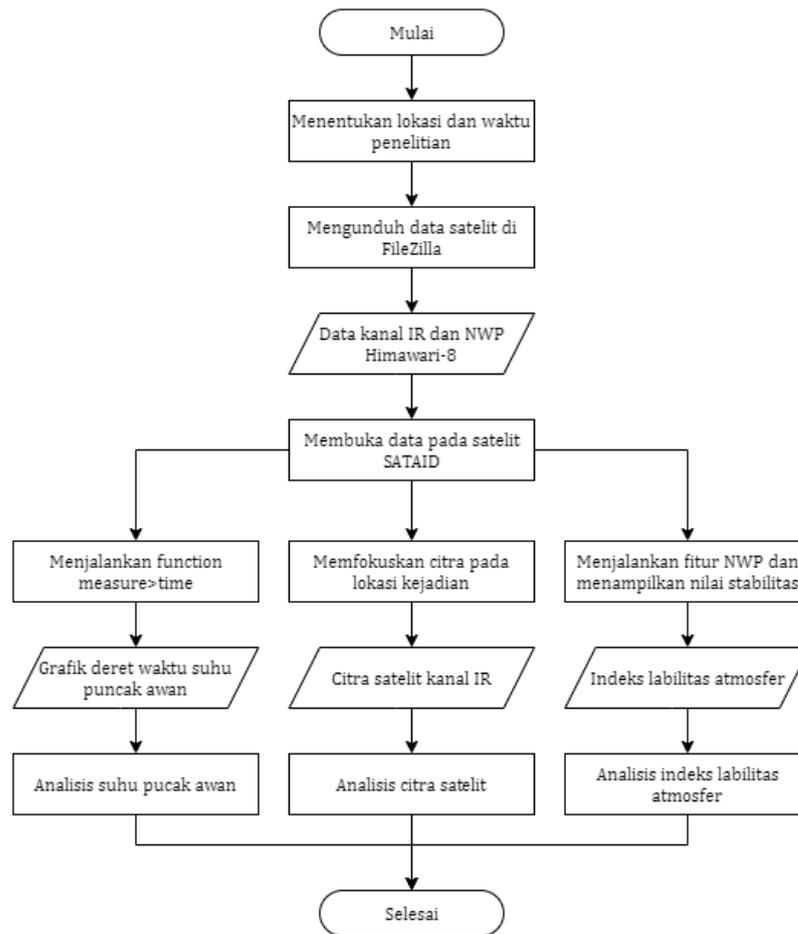
III. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari satelit Himawari-8 untuk wilayah Indonesia. *File* data yang dibutuhkan antara lain:

1. Citra satelit Himawari-8 kanal inframerah (IR) B13 dengan format .Z untuk tanggal 2 Januari 2021 pukul 00—23 UTC dengan interval setiap 10 menit. Data ini mengandung informasi citra serta suhu puncak awan.
2. Data NWP satelit Himawari-8 untuk tanggal 2 Januari 2021 pukul 06.00—15.00 UTC dengan interval setiap 3 jam. Data ini digunakan untuk menampilkan indeks labilitas atmosfer.

Alat yang digunakan meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). *Hardware* yang diperlukan adalah satu set laptop. Sementara *software* yang digunakan yaitu FileZilla dan SATAID. FileZilla diperlukan sebagai sarana mengunduh data satelit Himawari-8 menggunakan akses khusus milik Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG). Adapun SATAID digunakan untuk menampilkan, mengolah, dan menyimpan data satelit.

Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 2. Tahap paling awal yaitu penentuan lokasi dan waktu penelitian. Pada penelitian ini mengambil kasus banjir yang terjadi di Dusun Beluk, Desa Jombang, Kecamatan Kesamben, Kabupaten Jombang. Analisis dilakukan selama jam 00—23 UTC 2 Januari 2021 dan difokuskan khusus jam kejadian hujan lebat. Selanjutnya dilakukan pengunduhan data satelit Himawari-8 dari aplikasi FileZilla.

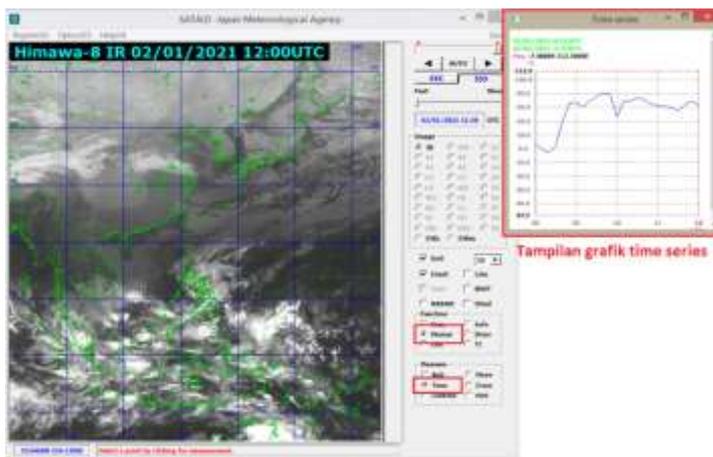


Gambar 2. Diagram alir penelitian

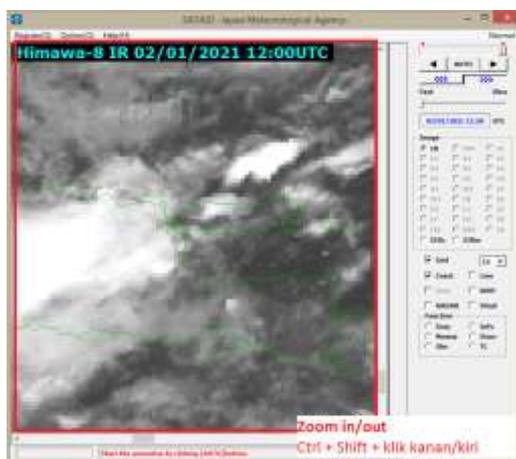
Berlanjut ke tahap pengolahan, data unduhan diinput/dibuka pada aplikasi SATAID (Gambar 3). Untuk mengetahui perkembangan masa hidup awan sebagai fokus waktu penelitian, ditampilkan grafik *time series* suhu puncak awan (Gambar 4). Tampilan citra awan dari kanal IR diperoleh dengan memfokuskan gambar pada lokasi kejadian (Gambar 5). Adapun pada gambar 6 menjelaskan cara menampilkan data NWP. Fitur NWP serta Measure>Brit harus aktif dahulu lalu pilih parameter stabilitas untuk dapat ditampilkan datanya. Dari ketiga hasil pengolahan yang telah didapat, dilakukan analisis untuk masing-masing parameternya.



Gambar 3. Penginputan data satelit



Gambar 4. Proses menampilkan grafik *time series* suhu puncak awan



Gambar 5. Memfokuskan citra pada lokasi penelitian



Gambar 6. Cara menampilkan data NWP

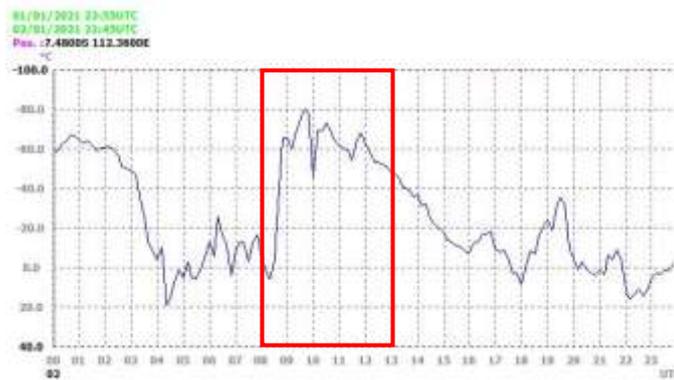
Metode analisis yang digunakan adalah deskripsi kualitatif dan deskripsi kuantitatif. Dua metode ini dinilai mampu menjelaskan hasil *output* dengan baik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perawanan

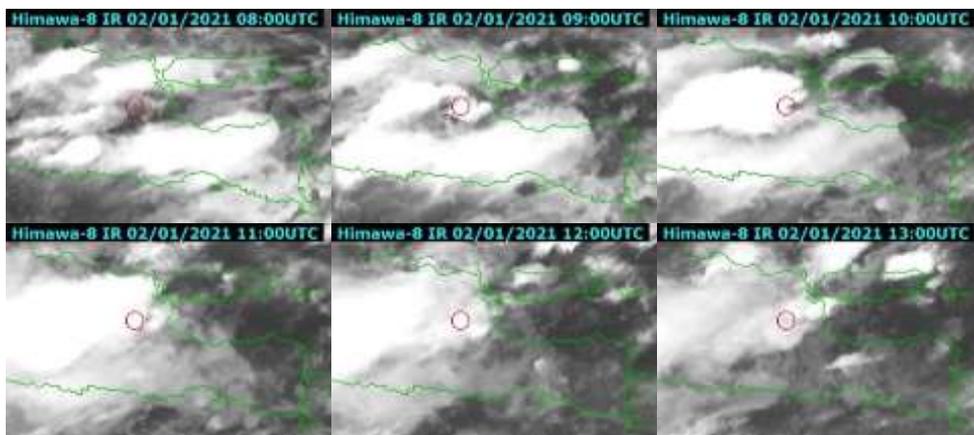
Gambar 7 menunjukkan suhu puncak awan 2 Januari 2021 selama jam 00—23 UTC. Diambil satu titik sampel lokasi tepatnya di 7,48 LS dan 112,36 BT. Grafik menunjukkan

adanya dua kali fase dengan suhu terendah. Namun, pada pembahasan ini akan difokuskan lebih detail untuk jam 08.00—13.00 UTC. Pada kurun waktu tersebut telah memperlihatkan fase awan tumbuh, matang, hingga meluruh. Pada jam 08.00 UTC suhu puncak awan $-6,6^{\circ}\text{C}$. Kemudian jam 09.00 UTC turun drastis menjadi $-65,6^{\circ}\text{C}$. Rendahnya suhu puncak awan mengindikasikan terdapat awan konvektif atau awan tinggi di lokasi. Selanjutnya, suhu terendah dicapai pada pukul 09.40 UTC yaitu $-79,9^{\circ}\text{C}$. Pada pukul 12.00 UTC, suhu puncak awan mulai naik secara perlahan yang mengindikasikan adanya peluruhan awan.



Gambar 7. Grafik suhu puncak awan pukul 00—23 UTC

Adapun untuk pengamatan spasiotemporal selama hujan lebat ditunjukkan oleh Gambar 8. Citra satelit ditampilkan selama kurun waktu 08.00—13.00 UTC dengan interval waktu satu jam dan untuk lokasi ditandai lingkaran merah. Pada pukul 08.00 UTC di lokasi kejadian tidak tampak terdapat awan konvektif. Kemudian pukul 09.00 UTC terdapat pertumbuhan awan konvektif yang ditandai dengan gumpalan awan putih. Awan terus tumbuh dan meluas hingga 11.00 UTC. Setelah itu, awan mulai meluruh pada 12.00 UTC dan terus berlanjut hingga 13.00 UTC.



Gambar 8. Citra satelit Himawari-8 IR pukul 08—13 UTC

Berdasarkan pengamatan suhu puncak awan dan citra satelit pukul 08.00—13.00 UTC dapat diketahui adanya awan konvektif jenis cumulonimbus di lokasi kejadian. Sehingga dapat dipastikan penyebab hujan lebat dan banjir adalah keberadaan awan cumulonimbus ini.

4.2. Indeks Labilitas Atmosfer

Indeks labilitas atmosfer meliputi SSI, LI, KI, dan TTI menjelaskan informasi terkait ketidakstabilan atmosfer yang memicu terjadinya konveksi. Mengacu pada tabel 3, nilai SSI berkisar 0,6 hingga 1,4. Semakin rendah SSI maka semakin kuat potensial

konveksi dan sebaliknya. Nilai terendah SSI terjadi pukul 08.00 UTC sebelum awan konvektif terbentuk. Sementara nilai tertinggi terjadi pukul 11.00 UTC saat awan matang. Artinya, atmosfer lebih tidak stabil saat sebelum pertumbuhan awan dan berangsur lebih stabil menuju peluruhannya. Secara umum, potensial konveksi SSI berada pada kategori sedang.

Tabel 3. Nilai *Showalter Stability Index* (SSI)

Jam (UTC)	Nilai SSI	Potensial Konveksi
08.00	0,6	Sedang
09.00	1,0	
10.00	1,2	
11.00	1,4	
12.00	0,8	
13.00	1,0	

Tabel 4 menampilkan nilai LI yang berkisar -1,8 hingga -1,3 dan cenderung mengalami tren kenaikan. Semakin rendah LI maka semakin kuat potensial konveksi dan sebaliknya. Nilai terendah LI terjadi pukul 08.00 UTC sebelum awan konvektif terbentuk. Sementara nilai tertinggi terjadi pukul 11.00 UTC dan 13.00 UTC saat awan matang dan meluruh. Artinya, atmosfer lebih tidak stabil sebelum pertumbuhan awan dan berangsur lebih stabil saat mencapai fase matang dan peluruhan. Secara umum, potensial konveksi LI berada pada kategori lemah.

Tabel 4. Nilai *Lifted Index* (LI)

Jam (UTC)	Nilai LI	Potensial Konveksi
08.00	-1,8	Lemah
09.00	-1,5	
10.00	-1,5	
11.00	-1,3	
12.00	-1,5	
13.00	-1,3	

Indeks labilitas KI ditampilkan pada tabel 5 dengan nilai berkisar 34,5 hingga 35,7. Dibandingkan dua parameter sebelumnya, KI lebih cenderung fluktuatif. Semakin tinggi KI maka semakin kuat potensial konveksi dan sebaliknya. Nilai tertinggi KI terjadi pukul 08.00 UTC sebelum awan konvektif terbentuk. Sementara nilai terendah terjadi pukul 11.00 UTC dan 13.00 UTC saat awan matang dan meluruh. Nilai tersebut menandakan bahwa atmosfer lebih tidak stabil pada awal pertumbuhan awan daripada saat awan matang dan meluruh. Secara umum, potensial konveksi KI berada pada kategori sedang.

Tabel 5. Nilai *K-Index* (KI)

Jam (UTC)	Nilai KI	Potensial Konveksi
08.00	35,7	Sedang
09.00	35,2	
10.00	34,7	
11.00	34,5	
12.00	35,0	
13.00	34,5	

Terakhir, indeks labilitas TTI ditampilkan pada tabel 6 dengan nilai berkisar 41,3 hingga 42,1. Semakin tinggi TTI maka semakin kuat potensial konveksi dan sebaliknya. Nilai tertinggi TTI terjadi pukul 08.00 UTC sebelum awan konvektif terbentuk. Sementara

nilai terendah terjadi pukul 11.00 UTC saat awan matang. Hal ini menjelaskan bahwa atmosfer lebih tidak stabil pada awal pertumbuhan awan daripada saat awan matang. Dengan begitu akan meuntun pada tahap peluruhan. Potensial konveksi TTI berada pada tingkat lemah hingga sedang.

Tabel 6. Nilai *Total-Totals Index* (TTI)

Jam (UTC)	Nilai TTI	Potensial Konveksi
08.00	42,1	Sedang
09.00	41,7	
10.00	41,4	Lemah
11.00	41,3	
12.00	42,0	Sedang
13.00	41,8	Lemah

Secara umum, labilitas atmosfer berada pada kategori lemah hingga sedang. Selama kurun waktu 08.00—13.00 UTC, kondisi atmosfer paling tidak stabil terjadi pada 08.00 UTC dimana saat itu belum terdapat pertumbuhan awan konvektif. Hal ini karena pembentukan awan memerlukan energi yang cukup dari ketidakstabilan atmosfer. Ketidakstabilan memicu munculnya awan konvektif dan berkembang hingga fase matang. Setelah itu, atmosfer mulai kembali stabil sehingga menyebabkan awan meluruh. Maka dari itu, kondisi paling stabil terjadi ketika fase matang dan peluruhan.

V. KESIMPULAN

Bencana banjir yang terjadi di Jombang pada 2 Januari 2021 terjadi akibat hujan lebat yang telah mengguyur lokasi tersebut. Analisis kondisi atmosfer menunjukkan terdapat pertumbuhan awan konvektif akibat ketidakstabilan atmosfer. Penelitian difokuskan pada jam 08.00—13.00 UTC yang dinilai dapat merepresentasikan masa hidup awan konvektif ditandai oleh suhu puncak awan yang rendah. Citra satelit kanal inframerah memperlihatkan eksistensi awan hujan yang ada di lokasi. Awan terdeteksi tumbuh pada 09.00 UTC, mencapai fase matang pada 11.00 UTC, lalu meluruh mulai 12.00 UTC. Indeks labilitas atmosfer meliputi SSI, KI, LI, dan TTI mendukung adanya potensi konveksi pembentukan awan. Nilai labilitas cenderung fluktuatif selama kejadian. Namun, secara umum tingkat labilitas berada pada kategori lemah hingga sedang. Kondisi atmosfer sebelum pembentukan awan bersifat lebih tidak stabil dibandingkan saat fase tumbuh, matang, dan meluruh. Setelah fase matang, atmosfer cenderung lebih stabil yang menyebabkan awan meluruh. Penggunaan SATAID dinilai mampu untuk menghasilkan pengolahan data satelit kondisi atmosfer yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Putra, A. Sandhyavitri, dan M. Fauzi, "Identifikasi Parameter Signifikan dalam Penentuan Prioritas Penanganan Banjir Kota Pekanbaru," *J. Online Mhs. Fak. Tek.*, vol. 3, no. 2, hlm. 1–9, Oktober 2016.
- [2] Mahagnyana, N. A. Rahma, I. R. Nugraheni, dan A. Zakir, "Analisis Kondisi Atmosfer pada Kejadian Banjir Daerah Makassar dan Sekitarnya (Studi Kasus: Kota Makassar, 21 Desember 2017)," dalam *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-5*, Depok, Jul 2018, hlm. 603–614.
- [3] Badan Penanggulangan Bencana Daerah, "Log Kejadian [13342]," *SmartPB*, 2021. https://smartpb.bpbd.jatimprov.go.id/public/tb_disasterlogs_view.php?editid1=13342

- [4] E. Diniyati, D. Q. Syofyan, dan A. Mulya, "Pemanfaatan Satelit Himawari-8 dengan Metode NWP dan RGB untuk Menganalisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Sidoarjo Tanggal 28 Mei 2020," *JPIG J. Pendidik. Dan Ilmu Geogr.*, vol. 6, no. 1, hlm. 1–14, Mar 2021, doi: <https://doi.org/10.21067/jpig.v6i1.5252>.
- [5] C. S. Dharma dan N. J. Trilaksono, "Rain Detection using Himawari-8 Imagery; Case Study Singkawang West Kalimantan," dalam *Earth and Environmental Science*, 2021, hlm. 1–10. doi: 10.1088/1755-1315/750/1/012011.
- [6] K. Bessho *dkk.*, "An Introduction to Himawari-8/9 — Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites," *April 2016 J. Meteorol. Soc. Jpn.*, vol. 94, no. 2, hlm. 151–183, Apr 2016, doi: 10.2151/jmsj.2016-009.
- [7] Kontributor Jombang dan M. Syafii, "Cerita Banjir 2 Pekan di Jombang dan Protes Warga ke Bupati...," *Kompas.com*, Jan 18, 2021. [Daring]. Tersedia pada: <https://regional.kompas.com/read/2021/01/18/07165151/cerita-banjir-2-pekan-di-jombang-dan-protes-warga-ke-bupati?page=all>
- [8] H. Wicaksono, M. Muaya, Muh. R. P. Eba, dan I. R. Nugraheni, "Analisis Keadaan Atmosfer dan Citra Satelit Saat Terjadi Hujan Es di Kabupaten Magelang," dalam *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-5*, Depok, Jul 2018, hlm. 596–602.
- [9] Meteorological Satellite Center Japan Meteorological Agency, "SATAID Operation Manual." 2006.
- [10] B. Prasetyo dan N. Pusparini, "Pemanfaatan SATAID untuk Analisis Kondisi Atmosfer di Wilayah Perairan," *J. Fis. Dan Apl.*, vol. 14, no. 2, hlm. 37–44, Jun 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v14i2.3220>.
- [11] A. Verdyansyah, M. A. R. Siregar, dan A. Fadlan, "Analisis Sebaran Debu Vulkanik Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 dan Model HYSPLIT NOAA (Studi Kasus Erupsi Gunung Sinabung Tanggal 19 Februari 2018)," dalam *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-5*, Depok, Jul 2018, hlm. 680–687.
- [12] Fatkhuroyan dan T. Wati, "Pemantauan Sebaran Abu Vulkanik Menggunakan Penginderaan Jauh Satelit Himawari-8 dan AURA/OMI (Ozone Mapping Instrument)," *Maj. Ilm. Globe*, vol. 19, no. 1, hlm. 33–44, Apr 2017.
- [13] A. V. Wulandari, N. K. T. Dewi, dan W. A. Swastiko, "Pemanfaatan Data Satelit Himawari 8 untuk Mendeteksi Sebaran Asap: Studi Kasus di Kalimantan dan Sumatera Tanggal 8 dan 9 September 2015," *Spektra J. Fis. Dan Apl.*, vol. 2, no. 2, hlm. 157–164, Agustus 2017, doi: doi.org/10.21009/SPEKTRA.022.10.
- [14] A. L. Gaol dan E. L. Siadari, "Identification of Forest and Land Lires in Sumatra Island (case study July 23, 2017)," dalam *Seminar Fisika Nasional (SNF)*, Surabaya, Nov 2017, hlm. 138–143. [Daring]. Tersedia pada: <https://fisika.fmipa.unesa.ac.id/proceedings/index.php/snf/article/view/26/14>
- [15] N. Chrysoulakis, M. Spiliotopoulos, dan C. Domenikiotis, "Towards Monitoring of Regional Atmospheric Instability Through MODIS/AQUA Images," dalam *Geographical Information Systems and Remote Sensing: Environmental Applications*, Greece, Nov 2003, hlm. 155–166.
- [16] E. Fibriantika dan D. Mayangwulan, "Analisis Spasial Indeks Stabilitas Udara di Indonesia," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 21, no. 1, hlm. 1–12, 2020.
- [17] National Oceanic and Atmospheric Administration, "Numerical Weather Prediction (Weather Models)." [Daring]. Tersedia pada: <https://www.weather.gov/media/ajk/brochures/NumericalWeatherPrediction.pdf>