

ANALISIS SECARA FISIS DAN DINAMIS KEJADIAN HUJAN PENYEBAB BANJIR DI MAKASSAR TANGGAL 20 FEBRUARI 2022

ARIF SETIAWAN*, MIRANDA SAHFIRA TUNA, ALFI RIFQI QULUB, IMMA REDHA NUGRAHENI

*Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jl. Perhubungan I No. 5 Pondok Betung Bintaro, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Banten,
Kode pos 15221*

Abstrak. Pada tanggal 20 Februari 2022, Sejumlah titik di Kota Makassar terendam banjir yang disebabkan karena hujan lebat yang terjadi di wilayah tersebut. Berdasarkan data curah hujan BMKG, curah hujan yang tercatat pada tanggal tersebut adalah sebesar 166 mm/hari. Dilakukan analisis secara fisis dengan memanfaatkan produk radar cuaca untuk melihat sebaran awan konvektif dan akumulasi curah hujan, serta analisis dinamika atmosfer untuk melihat kondisi atmosfer saat kejadian hujan lebat dan mengetahui penyebab terbentuknya awan-awan konvektif penyebab hujan lebat tersebut. Penelitian ini menggunakan produk *Column Maximum (CMAX)*, *Surface Rainfall Intensity (SRI)* dan *Rainfall Intensity Histogram (RIH)* pada citra radar cuaca serta parameter angin, vortisitas, dan vertical velocity dari data reanalysis ERA5 ECMWF. Dari hasil analisisnya dapat diketahui bahwa banjir di Kota Makassar disebabkan karena hujan dengan intensitas lebat yang turun di wilayah tersebut dan diikuti oleh hujan intensitas sedang dalam jangka waktu yang cukup lama. Kejadian hujan sedang-lebat yang menyebabkan banjir di Makassar adalah disebabkan karena awan konvektif yang cukup luas yang menutupi wilayah tersebut. Selain itu, adanya daerah konvergensi angin di sebelah barat daya Kota Makassar yang memicu terjadinya pengangkatan udara ke atas juga menjadi faktor pemicu pertumbuhan awan konvektif penyebab curah hujan yang tinggi di Wilayah Makassar

Kata kunci: Banjir, Hujan Lebat, Radar Cuaca, Dinamika Atmosfer

Abstract. On February 20, 2022, several areas in Makassar City were flooded due to heavy rains that occurred in the region. Based on BMKG rainfall data, the rainfall recorded on that date was 166 mm/day. Physical analysis was carried out by utilizing weather radar products to see the distribution of convective clouds and accumulation of rainfall, as well as analysis of atmospheric dynamics to see atmospheric conditions during heavy rains and determine the cause of the formation of convective clouds that caused heavy rains. This study uses *Column Maximum (CMAX)*, *Surface Rainfall Intensity (SRI)* and *Rainfall Intensity Histogram (RIH)* products on weather radar images as well as wind, vorticity, and vertical velocity parameters from ERA5 ECMWF reanalysis data. The result says that the flooding in Makassar was caused by heavy rain that fell in the area and followed by moderate rainfall for more than a day. The occurrence of moderate-heavy rains that caused flooding in Makassar was caused by the large convective clouds that covered the area. In addition, the presence of a wind convergence area in the southwest of Makassar which triggers the uplift of air is also a triggering factor for the growth of convective clouds that cause high rainfall in the Makassar Region.

Keywords: Flood, Heavy Rain, Weather Radar, Atmospheric Dynamics

1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada rekapitulasi data tahun 2021 melaporkan bahwa kejadian bencana yang paling sering terjadi di wilayah Indonesia adalah banjir, dengan jumlah kejadian 1794 dari total kejadian bencana alam sebanyak 5402 selama tahun 2021 [1]. Pada tanggal 21 Februari 2022 telah terjadi banjir di Kota Makassar dan sekitarnya yang disebabkan oleh hujan lebat yang mengguyur wilayah tersebut sejak tanggal 20 Februari 2022. Berdasarkan data dari Sistem Tanggap Bencana (SITABA) Kementerian PUPR melaporkan bahwa telah terjadi banjir terjadi di Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Takalar dan Kabupaten Gowa, yang

* Email: arif.setiawan@stmkg.ac.id

berdampak pada tergenangnya pemukiman warga, lahan persawahan dan pertanian serta jalan raya [2]. Kejadian ini menyebabkan ratusan orang di wilayah tersebut mengungsi.

Secara geomorfologi, Kota Makassar memiliki potensi air yang tinggi karena terletak di antara kerucut gunung api yang mengelilingi dan memanjang dari Utara ke Selatan [3]. Selama Periode 1993-2012, curah hujan ekstrem di Makassar banyak terjadi di bulan Januari-Februari [4]. Dari segi klimatologis, Kota Makassar tergolong beriklim sedang hingga tropis dan memiliki pola hujan musonal, dimana hujan minimum terjadi bulan Juni-Juli-Agustus (JJA), dan hujan maksimum bulan Desember-Januari-Februari (DJF) [5,6]. Hasil akumulasi curah hujan yang tercatat oleh BMKG pada tanggal 20 februari 2022 Wilayah Makassar adalah berjumlah 166 mm/hari. Menurut BMKG, jumlah curah hujan tersebut tergolong ke dalam hujan lebat [7].

Salah satu penyebab terjadinya hujan lebat adalah karena adanya awan konvektif [8]. Proses pertumbuhan awan konvektif dapat terjadi karena kombinasi proses fisis dan dinamis di atmosfer yang mana terjadi saat udara lembab yang diangkat ke atas karena adanya pengangkatan udara oleh arus udara ke atas (*updraft*) melalui proses konveksi, orografi ataupun konvergensi [9]. Kompleksitas proses fisis dan dinamis inilah yang mendorong banyaknya penelitian yang mengkaji fenomena hujan lebat di Indonesia.

Penelitian-penelitian terkait fenomena hujan lebat di Indonesia sudah banyak dilakukan dengan memanfaatkan berbagai instrumen penginderaan jauh, salah satunya adalah instrumen radar cuaca. Instrumen radar cuaca bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik ke atmosfer yang dapat menembus struktur awan hujan dan mendeteksi droplet air yang terdapat di dalamnya sehingga dapat memberikan informasi secara detail mengenai struktur awan penyebab hujan lebat [10]. Hal ini merupakan salah satu keunggulan instrumen radar cuaca dibandingkan dengan instrumen penginderaan jauh lainnya. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan diantaranya adalah Efendi dan Kuncorojati (2020) di Malawi, Al Habib dkk (2019) di Padang dan Sulistio dkk (2019) di Jakarta [11–13]. Penelitian-penelitian tersebut sudah baik dalam merepresentasikan kejadian hujan lebat di setiap daerah, namun hanya berfokus pada analisis fisis atmosfernya saja, seperti tutupan awan dan curah hujan

Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis melakukan pembaruan dengan menambahkan analisis kondisi dinamis atmosfer yang dapat mendukung terbentuknya awan konvektif penyebab hujan lebat tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kejadian hujan lebat di Makassar dengan melihat kondisi fisis berupa tutupan awan dan curah hujan dengan memanfaatkan data citra radar, dan ditambahkan dengan analisis kondisi dinamis untuk melihat faktor-faktor yang dapat memicu terjadinya hujan lebat penyebab banjir di Makassar tanggal 20 Februari 2022.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini difokuskan di wilayah kota Makassar dengan titik koordinat $119^{\circ}18'29.97''$ - $119^{\circ}32'31.03''$ Bujur Timur dan $5^{\circ}30'18''$ - $5^{\circ}14'49''$ Lintang Selatan (Gambar 1). Titik merah menggambarkan titik lokasi radar cuaca. Titik biru menandakan lokasi kejadian banjir. Lingkaran merah menggambarkan radius radar berturut-turut 50, 100, dan 150 km. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah data *raw* radar cuaca *single polar C-Band merk* Gematronik format volumetri (.vol) pada tanggal 20 Februari 2022 jam 00.00-23.00 UTC. Data tersebut diminta secara khusus dari BMKG melalui Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin

Makassar. Selain itu data lain yang digunakan adalah Data reanalysis ERA5 ECMWF pada tanggal 20 Februari 2022 yang meliputi data *pressure level* yaitu *vorticity*, *vertical velocity*, *u component of wind* dan *v component of wind*. Data diunduh dari laman berikut <https://cds.climate.copernicus.eu/>.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif. Dimana data radar cuaca akan diolah dengan menggunakan perangkat lunak rainbow 5,49 sehingga menghasilkan produk *Column Maximum (CMAX)*, *Surface Rainfall Intensity (SRI)* dan *Rainfall Intensity Histogram (RIH)*. Produk CMAX digunakan untuk melihat sebaran awan konvektif atau awan *cumulonimbus* penyebab hujan lebat, yang ditandai dengan nilai reflektifitas >35 dBz pada hasil produk CMAX. Kemudian untuk produk SRI dan RIH digunakan untuk melihat jumlah curah hujan pada saat kejadian hujan lebat jika dilihat dari citra radar cuaca. Sementara itu, untuk data reanalysis ERA5 ECMWF, diolah menggunakan software GraDs. Hasil *output* pengolahan berupa gambar peta vertical dari beberapa parameter meteorologi yang ditampilkan dari lapisan permukaan sampai dengan lapisan 200 mb [14]. Parameter meteorologi yang dihasilkan diantaranya *streamline*, *vorticity* dan *vertical velocity*. Parameter-parameter ini dianalisis untuk mengetahui kondisi dinamika atmosfer sebelum dan saat terjadinya hujan lebat di wilayah penelitian.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

3. Hasil dan Diskusi

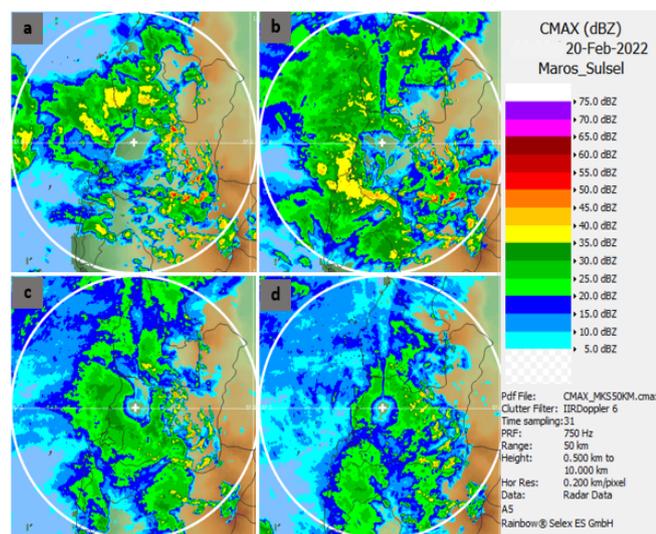
3.1 Analisis Parameter Fisis

3.1.1 Tutupan Awan

Analisis tutupan awan dilakukan dengan menggunakan Produk CMAX pada radar cuaca. Produk CMAX dapat digunakan untuk mendeteksi reflektifitas yang dihasilkan oleh awan konvektif penyebab hujan lebat. Menurut Gamache dan Houze (1981), nilai reflektivitas lebih dari 38 dBz menandakan adanya fase konvektif aktif [15]. Selain itu, produk CMAX juga dapat mendeteksi fase pertumbuhan awan konvektif mulai dari fase cumulus dimana nilai reflektifitas mulai terlihat dan terorganisir menuju nilai 38 dBz, fase matang dimana nilai reflektivitas semakin naik melebihi 38

dBZ serta bentuk dan ukuran awan mulai stabil, dan fase disipasi dimana nilai reflektivitas menurun kurang dari 38 dBZ dan luasan awan mulai mengecil [16].

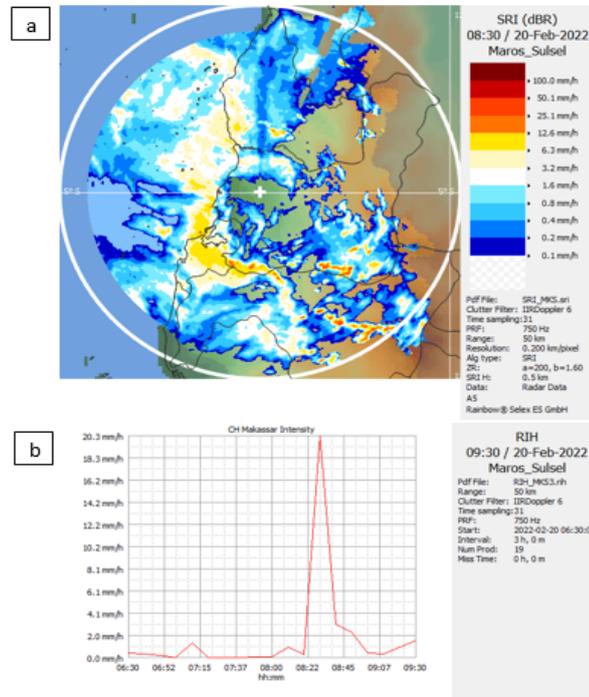
Berdasarkan Gambar 2, produk CMAX pada tanggal 20 Februari di Kota Makassar menunjukkan bahwa saat jam 07.00 UTC terlihat nilai reflektivitas berkisar antara 25-30 dBZ yang menandakan adanya fase tumbuh awan konvektif di wilayah tersebut. Kemudian pada jam 08.00 UTC, terlihat bahwa nilai reflektivitas mengalami peningkatan menjadi rentang 35-40 dBZ, ini menandakan teradinya fase matang awan konvektif di jam tersebut. Pada jam ini juga terlihat luasan awan yang cukup luas yang menutupi hampir seluruh wilayah Kota Makassar. Hal ini juga menunjukkan kemungkinan terjadinya hujan lebat. Namun, fase matang ini hanya terjadi dalam jangka waktu yang relatif pendek, yang ditandai dengan nilai reflektivitas pada jam 08.30 mulai menurun kembali ke rentang 30-35 dBZ, dengan luasan awan masih menutupi wilayah tersebut, sehingga kemungkinan hujan masih terjadi namun dengan bahwa intensitas hujan yang sedang.



Gambar 2. Produk reflektivitas CMAX di Kota Makassar tanggal 20 Februari 2022 (kotak hitam) (a) 07.00 UTC (b) 08.00 UTC (c) 08.30 UTC (d) 09.00 UTC

3.1.2 Curah Hujan

Analisis curah hujan dilakukan dengan menggunakan produk SRI dan RIH pada radar cuaca. Produk SRI dapat membantu proses analisis presipitasi yang turun di lokasi penelitian secara spasial [17]. Selain itu, produk (SRI) juga digunakan sebagai input data untuk pengolahan produk RIH, dan produk RIH digunakan untuk mengetahui waktu kejadian hujan di wilayah penelitian dengan menampilkan *time series* intensitas hujan [18]. Dilihat Gambar 3a, dapat diketahui bahwa dari nilai intensitas curah hujan maksimum mencapai 6,3-25,1 mm/jam. Menurut BMKG, curah hujan tersebut dikategorikan sebagai hujan sedang hingga lebat. Kemudian dari produk RIH pada Gambar 3b, yang digunakan untuk analisis lanjutan terkait perubahan intensitas curah hujan terhadap waktu, menunjukkan bahwa puncak hujan terjadi pada pukul 08.30 UTC dengan nilai mencapai 20,3 mm/jam.

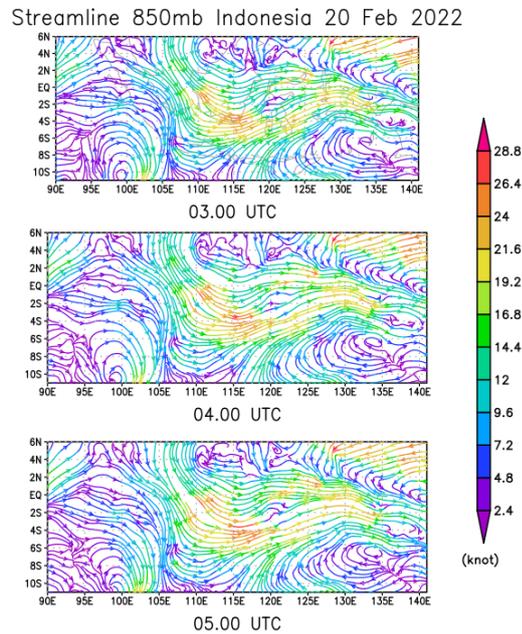


Gambar 3. Citra radar cuaca tanggal 20 Februari 2022 di Kota Makassar (kotak hitam) (a) Produk SRI pukul 08.30 UTC dan (b) Produk RIH pukul 06.30 UTC - 09.30 UTC

3.2 Analisis Dinamika Atmosfer

3.2.1 Streamline

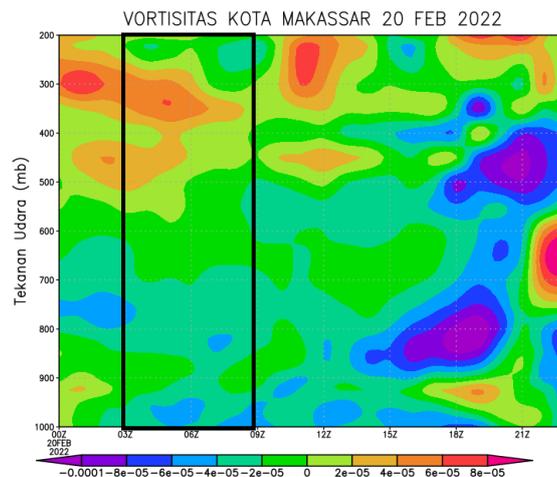
Streamline merupakan suatu pola arus angin pada suatu wilayah dimana beberapa pola yang sering muncul pada peta *streamline* diantaranya adalah pola divergensi, konvergensi, dan *shearline* [19]. Berdasarkan pola *streamline* wilayah Indonesia Gambar 4, terlihat di wilayah perairan Selat Makassar di sebelah barat daya Kota Makassar terdapat wilayah pertemuan angin (konvergen) yang dapat memicu kenaikan massa udara di lapisan tersebut yang mendukung pertumbuhan awan konvektif. Selain itu, dari pola arah angin menunjukkan angin bergerak dari wilayah barat daya ke arah timur laut dengan kecepatan yang cukup tinggi lebih dari 20 knot. Angin yang bergerak dari wilayah lautan ini berpotensi membawa uap air yang banyak ke wilayah daratan, yang akan dapat berpotensi membentuk awan.



Gambar 4. Streamline wilayah Sulawesi selatan dan sekitarnya (kotak hitam) tanggal 20 Februari 2022

3.2.2 Vortisitas relatif

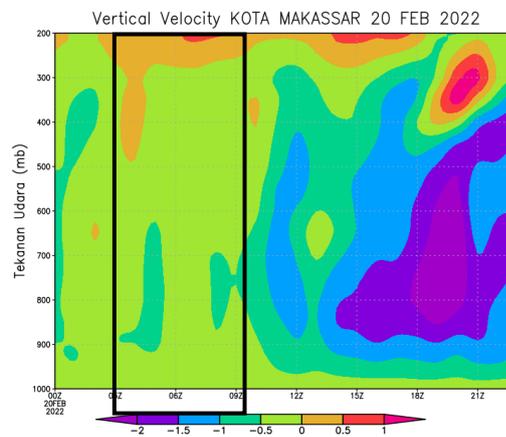
Secara matematis vortisitas dapat dinyatakan sebagai *curl* dari kecepatan relatif untuk vortisitas relatif dan *curl* dari kecepatan absolut untuk vortisitas absolut. Vortisitas relatif merupakan vortisitas yang diukur relative terhadap bumi [20]. Nilai vortisitas relatif negatif di BBS menandakan vortisitas yang kuat yang berarti terjadinya kenaikan massa udara [20]. Berdasarkan Gambar 5, vortisitas menunjukkan nilai negatif dari lapisan permukaan ke lapisan 500 mb, yang mana pada BBS hal ini mengindikasikan adanya gerakan massa udara keatas yang mendukung pembentukan awan-awan konvektif.



Gambar 5. Profil vertikal vorticity Kota Makassar tanggal 20 Februari 2022 jam 03.00-09.00 UTC (kotak hitam)

3.3.3 Vertical velocity

Vertical velocity merupakan kecepatan gerak udara dalam arah ke atas dan ke bawah. Semakin kecil nilai *vertical velocity* menunjukkan kuatnya gerakan udara vertikal ke atas (*updraft*) yang membawa massa udara hingga ke lapisan atas begitupun sebaliknya [21]. Berdasarkan analisis pada tanggal 20 Februari 2022 jam 03.00-09.00 UTC, seperti yang terlihat pada Gambar 6, *vertical velocity* menunjukkan nilai negatif dari lapisan permukaan hingga ke lapisan atas yang menandakan adanya *updraft* atau gerakan udara ke atas namun dengan laju yang cukup lemah pada jam tersebut. Proses-proses dinamis yang terjadi di atmosfer memberikan pengaruh yang signifikan terhadap terbentuknya awan-awan konvektif penyebab hujan lebat. Adanya pola-pola angin di lapisan bawah seperti pola *shearline*, konvergen, dan pola siklonik dapat memicu pengangkatan udara ke atas, yang mana jika keadaan udara di permukaan tersebut cukup lembab, maka akan memicu terbentuknya awan-awan konvektif.



Gambar 6. Profil vertikal *vertical velocity* Kota Makassar tanggal 20 Februari 2022 jam 03.00-09.00 UTC (kotak hitam)

4. Simpulan

Dari pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa secara fisis, kondisi atmosfer pada jam 08.00 UTC di tanggal kejadian menunjukkan adanya aktifitas konvektif jika dilihat dari citra radar. Terlihat bahwa ada tutupan awan yang luasannya hampir menutupi seluruh wilayah Kota Makassar sehingga menyebabkan wilayah ini mengalami hujan dengan intensitas lebat namun dengan jangka waktu yang singkat. Pertumbuhan awan ini semakin didukung oleh kondisi dinamis atmosfer dimana terdapat pola konvergen (pertemuan angin) di perairan Selat Makassar. Berdasarkan produk RIH, puncak curah hujan yang tercatat dari citra radar mencapai 20,3 mm/jam pada pukul 08.30 UTC. Kondisi inilah yang mengakibatkan terjadinya hujan penyebab banjir di Kota Makassar.

Daftar Pustaka

1. BNPB. (2022). Infografis Kejadian Bencana Tahun 2021. Badan Nasional Penganggulangan Bencana. <https://bnpb.go.id/infografis/kejadian-bencana-tahun-2021>, diakses tanggal 10 April 2022.
2. Kementrian PUPR. (2021). Banjir Di Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Sulawesi. Sistem

- Tanggap Bencana Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://sitaba2.pu.go.id/bencana-terkini/089e1ee0-933a-4dde-bd2a-2cb47816b700>, diakses tanggal 28 Mei 2022
3. Bongi, A., Rogi, O. H., & Sela, R. L. (2020). Mitigasi Risiko Bencana Banjir di Kota Makassar. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur*, 9(1), 1-12
 4. Pabalik, I., Ihsan, N., & Arsyad, M. (2015). Analisis Fenomena Perubahan Iklim dan Karakteristik Curah Hujan Ekstrem di Kota Makassar. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 11(1), 88–92.
 5. Tallamma, N., Ihsan, N., & Patandean, A. J. (2016). Analisis Pengaruh Madden Julian Oscillation (MJO) terhadap Curah Hujan di Kota Makassar. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 12(3), 324-329
 6. Tukidi. (2010). Karakter Curah Hujan Di Indonesia. *Jurnal Geografi FIS UNNES*, 7(2), 136-145
 7. BMKGSoft. (2022). Laporan ME.48 Tanggal 21 Februari 2022 Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin Makassar. Pusat Database BMKG. https://bmkgsoft.database.bmkg.go.id/MetView/#level1_report, diakses tanggal 12 April 2022.
 8. Tjasyono, B. K., Juani, I., & Harijono, W. B. (2007). Proses Meteorologis Bencana Banjir. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 8(2), 64–78.
 9. Tjasyono, B. H. K. (2007). Proses Fisis-Dinamis Awan dan Dinamisnya. *Seminar Monitoring dan Evaluasi Teknologi Modifikasi Cuaca*
 10. Wardoyo, E. 2015. Radar Meteorologi, BMKG, Jakarta
 11. Efendi, A N, & Kuncorojati, S. (2020). Analisis Hujan Dan Angin Kencang Di Melawi Menggunakan Data Radar Dan Satelit Cuaca (Studi Kasus Tanggal 29 Desember 2018). *Jurnal Widy Climago*.
 12. 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.
 13. Sulistio, E. M. A., Fanly, C., & Tambengi, J. (2019). Analisis Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Lebat Wilayah Jakarta dan Sekitarnya (Studi Kasus : Jakarta Tanggal 07 April 2019) Analysis of Atmospheric Conditions during Heavy Rainfall Event in Jakarta and Surrounding Area (Case Study : Jakarta 07 April). *Prosiding Sinas Inderaja 2019, April*, 247–254
 14. ECMWF. (2021). ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. <https://cds.climate.copernicus.eu/>, diakses tanggal 7 Juni 2022
 15. Gamache, J.F. dan Houze, R.A. (1981). *Mesoscale Air Motions Associated with a Tropical Squall Line*. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle.
 16. Anggoro, M. D., & Pramujo, B. (2017). Berbasis Citra Radar Dan Model Ecmwf. *Kajian Waktu Hidup Dan Pergerakan Awan Konvektif Berbasis Citra Radar Dan Model Ecmwf*, 4(3), 24–31
 17. Putri, D., & Handayani, N. (2020). Kajian Kondisi Atmosfer dan Rekonstruksi Hujan Pada Kejadian Banjir di Lamandau Menggunakan Radar Cuaca Doppler C-Band. *Jurnal Fisika*, 10(2), 50-61.
 18. Purba, D. L. A., Cakrawati, A. A., Utami, I. R., Nugraheni, I. R., & Deranadyan, G. (2019). Analisis Kejadian Hujan Lebat menggunakan Data Citra Radar, Citra Satelit dan Pos Hujan di Wilayah Padang Pariaman (Studi Kasus Banjir tanggal 11 Oktober 2018). *Seminar Nasional GEOTIK 2019*.
 19. Agus W., Paulus (2009). *Analisa Cuaca II*, Akademi Meteorologi dan Geofisika (AMG) Jakarta.
 20. Roguna, S., Julius, A. M., & Munandar, M. A. (2017). Analisis Dinamika Atmosfer Terkait Sebaran Petir Pada Saat Musim Hujan Dan Transisi (Studi Kasus: Banten Bulan Januari Dan Oktober 2012). *Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*
 21. Siregar, D. C., Ardah, V. P., & Navitri, A. M. (2019). Analisis Kondisi Atmosfer Terkait Siklon Tropis Pabuk serta Pengaruhnya terhadap Tinggi Gelombang di perairan Kepulauan Riau. *Tunas Geografi*, 8(2), 111-122.