

Analisis Karakteristik Hujan Penyebab Banjir Bandang di Wilayah Indonesia

Alka Dinda Shafa Nabila¹, Adam Pamudji Rahardjo^{1*}, Rachmad Jayadi¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: adam.pamudji.rahardjo@ugm.ac.id

INTISARI

Banjir bandang merupakan bencana hidrometeorologis yang ditandai dengan respons hidrologi sangat cepat dan sering menimbulkan korban jiwa serta kerugian besar. Indonesia sebagai negara beriklim tropis memiliki kerentanan tinggi terhadap kejadian ini, seperti yang terjadi di Sub-DAS Sempor, Sub-DAS Cimanuk Hulu, Sub-DAS Lematang, Sub-DAS Masamba, dan Sub-DAS Sumber Agung dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik hujan pemicu banjir bandang di lima wilayah tersebut melalui kajian pola distribusi, durasi, dan agihan hujan sebelum dan saat kejadian. Data yang digunakan berupa curah hujan satelit GPM-IMERG 30 menit yang kemudian diolah menjadi pola distribusi dan kurva agihan kumulatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa hujan pemicu banjir bandang umumnya berdurasi 3–5 jam dengan distribusi yang tidak merata dan intensitas tinggi pada blok waktu tertentu. Pola distribusi rata-rata memperlihatkan 50% curah hujan terjadi pada 45% awal durasi, sedangkan kurva agihan hujan menunjukkan perbedaan jelas antara sebelum (hujan terdistribusi merata) dan saat banjir bandang (curah hujan yang lebih tinggi dengan waktu yang lebih singkat). Temuan ini menegaskan bahwa banjir bandang tidak hanya dipengaruhi total curah hujan, tetapi terutama oleh intensitas dan distribusi singkat yang terkonsentrasi, sehingga informasi pola hujan penting bagi mitigasi risiko dan sistem peringatan dini.

Kata kunci: Banjir Bandang, Distribusi Hujan, Pola Agihan, Durasi Hujan, Intensitas Hujan

1 PENDAHULUAN

Banjir bandang adalah peristiwa berbahaya yang ditandai dengan waktu respons yang singkat (Penna et al., 2013). Banjir bandang menciptakan efek yang merusak pada kehidupan, infrastruktur, dan manusia (Abdelkader et al., 2021; Ghomash et al., 2022; Othman et al., 2023). Kejadian bencana banjir bandang meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, sehingga menyebabkan jumlah korban yang luar biasa secara global (Yao et al., 2016; Jonkman, 2005). Sekitar 90% kematian global akibat banjir bandang terjadi di Asia dengan hampir 200% kejadian diperkirakan akan meningkat pada tahun 2050 (Shahabi et al., 2021). Tingkat keparahan banjir bandang dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk jenis tanah, kemiringan, penggunaan lahan/tutupan lahan, dll. (Chen et al., 2020). Banjir bandang dapat terjadi di daerah tangkapan air kecil hingga daerah tangkapan air sedang. Durasi curah hujan yang menyebabkan banjir bandang berkisar dari sekitar 10 menit di daerah tangkapan air kecil hingga beberapa jam di daerah tangkapan air yang lebih besar (Corral et al., 2019). Banjir bandang dapat terjadi di daerah tangkapan air yang kecil dengan laju infiltrasi rendah dengan daerah lereng yang terjal atau waktu tanggap drainase yang singkat (Doswell, 2015).

Indonesia terletak di wilayah beriklim tropis dengan intensitas curah hujan pada musim hujan dan intensitas curah hujan yang rendah pada musim lainnya sering menyebabkan terjadinya bencana banjir bandang di beberapa wilayah negara ini termasuk di wilayah D.I. Yogyakarta, Garut, Malang, Makassar, Sumatera dan lainnya. Curah hujan tahunan rata-rata di Indonesia sekitar 2.350 mm. Distribusi curah hujan tahunan di pulau Jawa berkisar antara 750 mm hingga 7.500 mm dan sekitar 2.750 mm di wilayah Gunung Merapi (Asian Development Bank, 2016). Beberapa kejadian banjir bandang besar di Indonesia mengilustrasikan bagaimana karakteristik hujan ekstrem berinteraksi dengan kondisi lokal DAS. Di Kota Batu (Sub-DAS Sumber Agung), terjadi banjir bandang pada 04 November 2021 menyebabkan aliran deras meluap dan menghantam permukiman di lima desa (Putra et al., 2022). Di Kabupaten Garut, Jawa Barat, banjir bandang Sungai Cimanuk pada 21 Juli 2016 mengakibatkan puluhan korban jiwa dan ribuan rumah rusak. Banjir ini disebabkan oleh curah hujan tinggi yang memicu aliran permukaan besar, diperparah dengan alih fungsi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman, serta kerusakan daerah resapan air. Begitu pun di wilayah Lahat (Sub-DAS Lematang) yang terjadi banjir bandang pada 30 Desember 2019 serta di Sulawesi Selatan (Sub-DAS Masamba) pada 13 Juli 2020 yang menyebabkan kerugian material, korban jiwa, dan kerusakan infrastruktur skala besar. Kasus lain yang sangat disorot adalah banjir bandang di Sungai Sempor, lereng Gunung Merapi, Yogyakarta, pada 21 Februari 2020. Kejadian ini menewaskan 10 siswa SMA yang sedang melakukan kegiatan susur sungai. Kejadian ini menunjukkan bahwa intensitas hujan ekstrem dalam waktu kurang dari satu jam mampu menghasilkan limpasan (aliran) cepat dan berbahaya (Sathya, 2021).

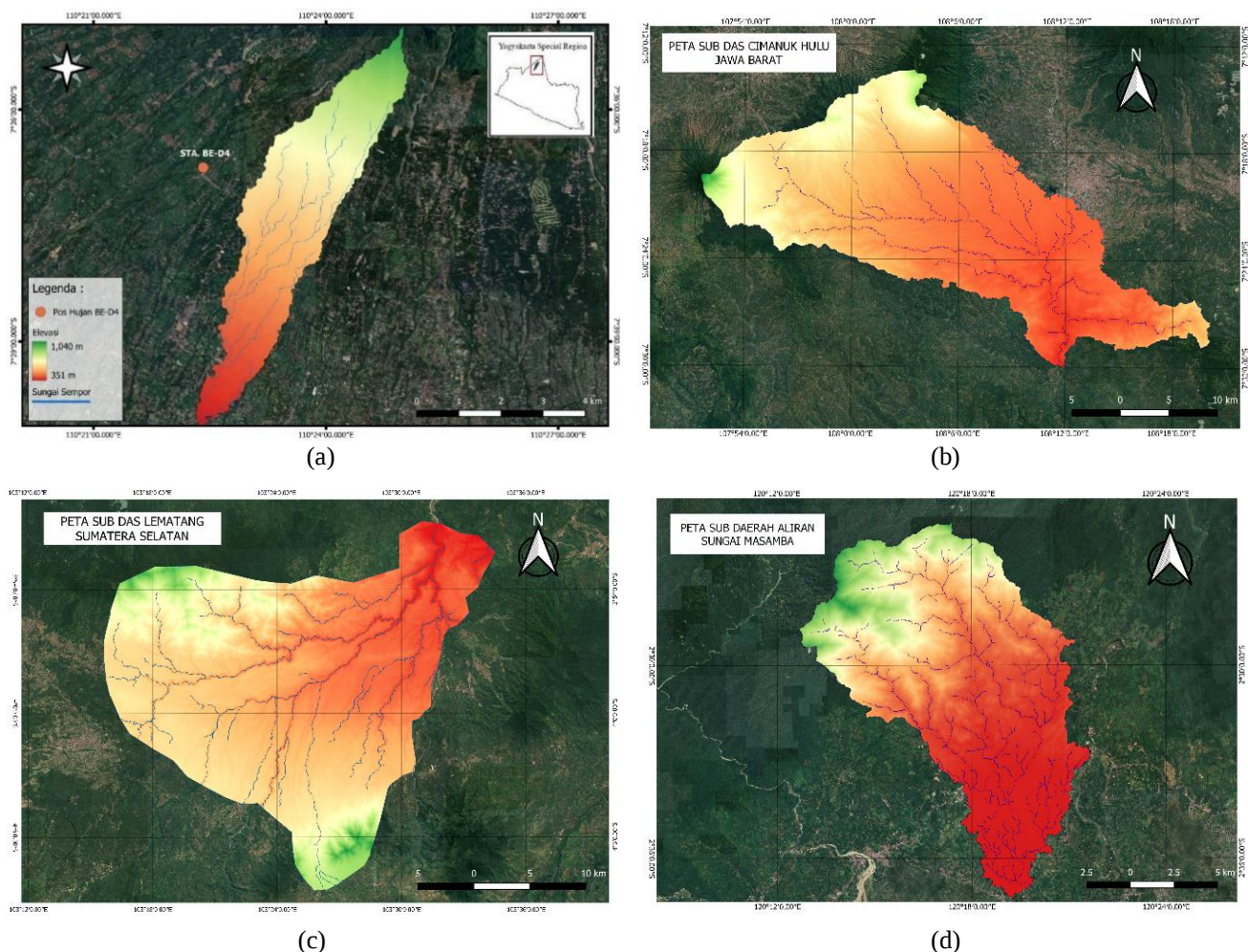
Frekuensi kejadian banjir bandang yang terjadi pada suatu kawasan bisa saja terjadi kapan pun yang disebabkan oleh tingginya intensitas hujan yang terjadi (Xiaoyan et al., 2018). Salah satu kegiatan mitigasi yaitu menganalisis karakteristik hujan penyebab banjir bandang. Untuk mengetahui karakteristik hujan durasi pendek di suatu daerah dilakukan analisis sebaran terhadap data hujan ekstrem yang tersedia (Dharma P, 2015). Informasi karakteristik hujan dapat digunakan untuk analisis kejadian banjir bandang, salah satunya yaitu mengetahui distribusi hujan, intensitas dan durasi hujan penyebab banjir bandang. Dalam transformasi hujan aliran untuk perkiraan banjir rancangan dengan metode hidrograf satuan, distribusi hujan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap ketelitian hasil rancangannya. Distribusi dapat diperkirakan berdasarkan data hujan durasi pendek (Lydia & Mutia, 2015).

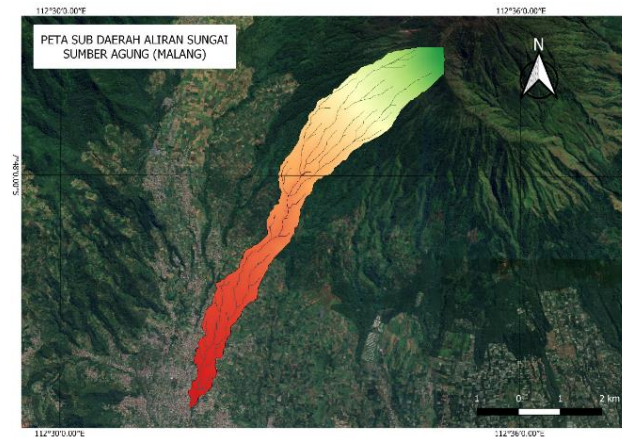
Berdasarkan pengalaman kejadian banjir bandang yang telah terjadi di beberapa wilayah Indonesia, strategi mitigasi banjir bandang harus dilakukan untuk mengurangi dampak pada masyarakat sekitar jika terjadi lagi di masa mendatang, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hujan yang menyebabkan banjir bandang di lima wilayah di Indonesia, yaitu Yogyakarta (Sub-DAS Sempor), Malang–Batu (DAS Brantas), Garut (DAS Cimanuk), Lahat (DAS Lematang Hulu), dan Masamba (Sub DAS Masamba). Dengan memahami karakteristik hujan seperti intensitas, durasi, dan pola distribusi hujan yang memicu banjir bandang di masing-masing wilayah. Hasil studi ini diharapkan menjadi dasar ilmiah untuk pengelolaan DAS, pengurangan risiko bencana, serta pengembangan sistem peringatan dini yang lebih efektif dan berbasis data.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian ini terletak di lima wilayah Indonesia yaitu Yogyakarta (Sub-DAS Sempor), Malang–Batu (DAS Brantas), Garut (DAS Cimanuk), Lahat (DAS Lematang Hulu), dan Masamba (Sub DAS Masamba). Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu curah hujan satelit GPM-IMERG 30 menit dan peta Rupa Bumi Indonesia yang diperoleh dari website Indonesia Geospasial. Berikut peta Sub-DAS Penelitian terdapat pada Gambar 1.





(e)

(a) Sub-DAS Sempor, (b) Sub-DAS Cimanuk Hulu, (c) Sub-DAS Lematang
(d) Sub-DAS Masamba, (e) Sub-DAS sumber Agung

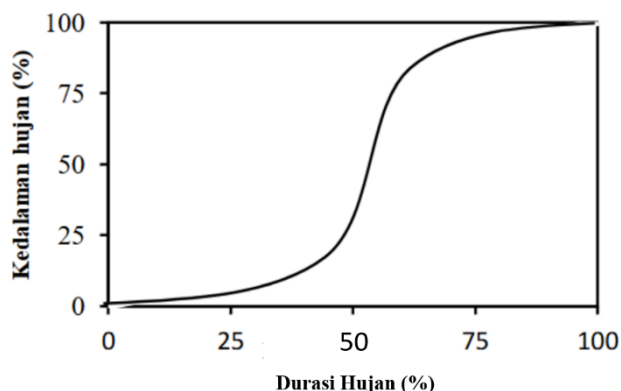
Gambar 1. Peta DAS Lokasi Penelitian.

2.2 Analisis Data Curah Hujan

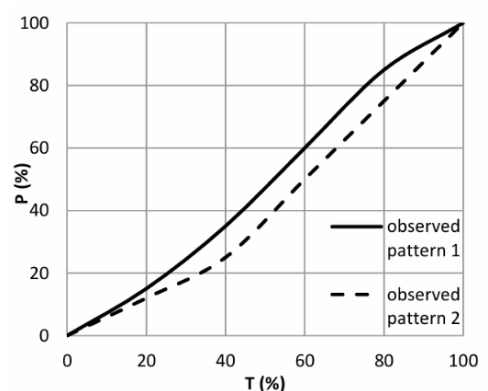
Data hujan 30 menit dapat diperoleh dari hasil rekaman Alat Ukur Hujan Otomatis (AUHO) / Automatic Rainfall Recorder (ARR). Jaringan pengukur hujan tersebut merupakan sumber utama untuk pengukuran titik curah hujan yang akurat (Katsanos et al., 2016). Namun demikian, pengukuran hujan berbasis permukaan tidak selalu memadai baik dari sisi jumlah maupun sebarannya terutama untuk daerah dengan topografi yang kompleks. Seiring dengan perkembangan teknologi, kendala ketersediaan data curah hujan dapat diatasi dengan menggunakan perkiraan curah hujan berbasis satelit (Omondi et al., 2021). Pada penelitian ini menggunakan Data Hujan Satelit GPM-IMERG. Di beberapa lokasi di Indonesia, GPM-IMERG memberikan performa prediksi hujan/deteksi kejadian hujan yang lebih baik (Sulistiyono, 2023). Data hujan satelit GPM-IMERG 30 menit agar dapat diolah maka dilakukan pengubahan bentuk format (.csc) diubah kedalam bentuk (.csv) sehingga diperoleh dalam bentuk nilai dan dikelompokkan seri data hujan berdasarkan besar intensitas hujan, suatu rentetan kejadian hujan dapat dikatakan satu kejadian hujan apabila rentetan hujan tersebut tidak berhenti atau dibatasi kejadian tanpa hujan minimal 1 jam dan diperlukan serta hujan diatas 20 mm per kejadian hujan karena termasuk kelompok hujan deras.

2.3 Analisis Pola Agihan Hujan (Distribusi Hujan)

Pola Agihan Hujan menggambarkan hubungan laju hujan kumulatif sebagai fungsi waktu. Durasi hujan (absis) dan kedalaman hujan (ordinat) dapat dinyatakan dalam persentasi dari kedua nilai tersebut seperti dapat dilihat dalam Gambar 2 berikut ini (Lydia & Mutia, 2015).



Gambar 2. Distribusi Hujan Kumulatif (Sukoso, 2004).



Gambar 3. Contoh Distribusi Hujan Kumulatif (Sukoso, 2004).

Distribusi hujan ditentukan berdasarkan data hujan otomatis atau dapat juga dilakukan dengan menggunakan model distribusi hujan tertentu misalnya model distribusi hujan seragam, segitiga, *Alternating Block Method* (ABM). Distribusi Hujan terukur didasarkan pada pengamatan kejadian hujan yang pernah tercatat oleh alat ukur hujan

otomatik. Pengamatan data hujan dapat dipergunakan untuk mengetahui lama hujan dan polanya untuk suatu kala ulang tertentu, maka perlu ditetapkan jangkau (*range*) kedalaman hujan tersebut. Selanjutnya seluruh data masing-masing jangkau (*range*) tersebut dikumpulkan menurut lama hujannya, kemudian dirata-ratakan untuk ditetapkan sebagai lama hujan yang mewakili masing-masing jangkau (*range*) tersebut (Harto, 2000). Proses transformasi dapat dilakukan, maka diperlukan informasi mengenai besarnya persentase hujan yang terdistribusi di tiap jamnya. Untuk itu seluruh data hujan yang telah terkumpul, didistribusi kejadiannya mulai dari jam pertama sampai jam terakhir ditransformasikan ke dalam bentuk persentase. Seluruh persentase distribusi hujan tersebut kemudian dibuat kurva atas dasar nilai mean sebagai kurva distribusi hujan terukur-1 (*observed patern-1*) dan atas dasar nilai median sebagai kurva distribusi hujan terukur-2 (*observed patern-2*) (Sukoso, 2004).

Hubungan antara intensitas curah hujan dengan durasi waktu digambarkan dalam bentuk *hyetograph* dan atau grafik distribusi yang menggambarkan kedalaman atau intensitas curah hujan dengan bertambahnya waktu sebagai absis dan kedalaman atau intensitas curah hujan sebagai ordinat (Sok, 2019).

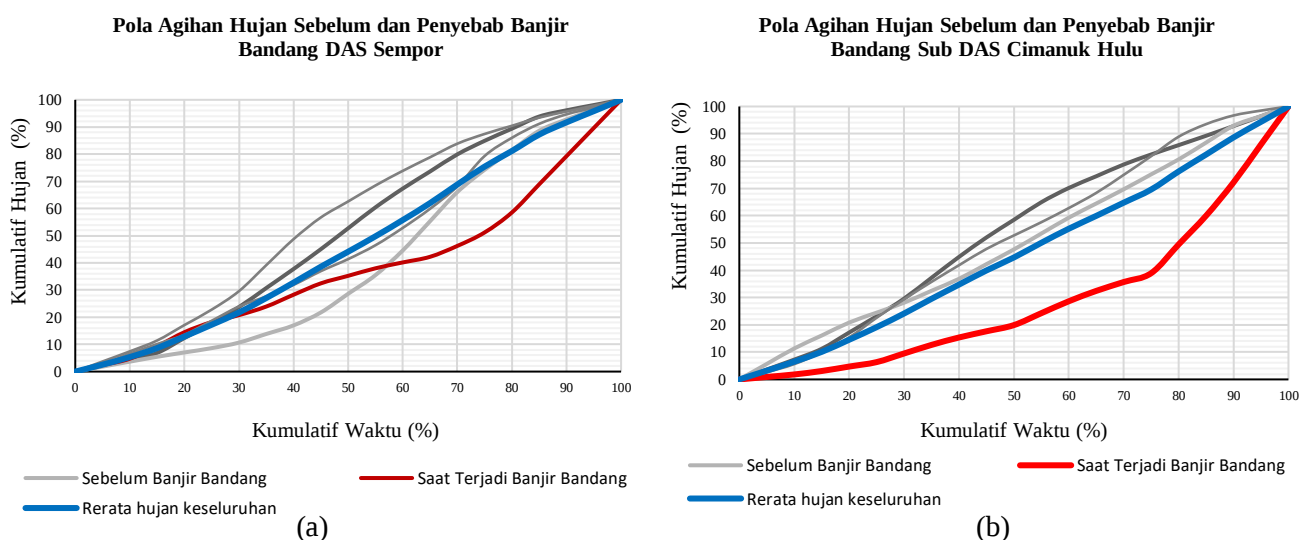
2.4 Tahapan Penelitian

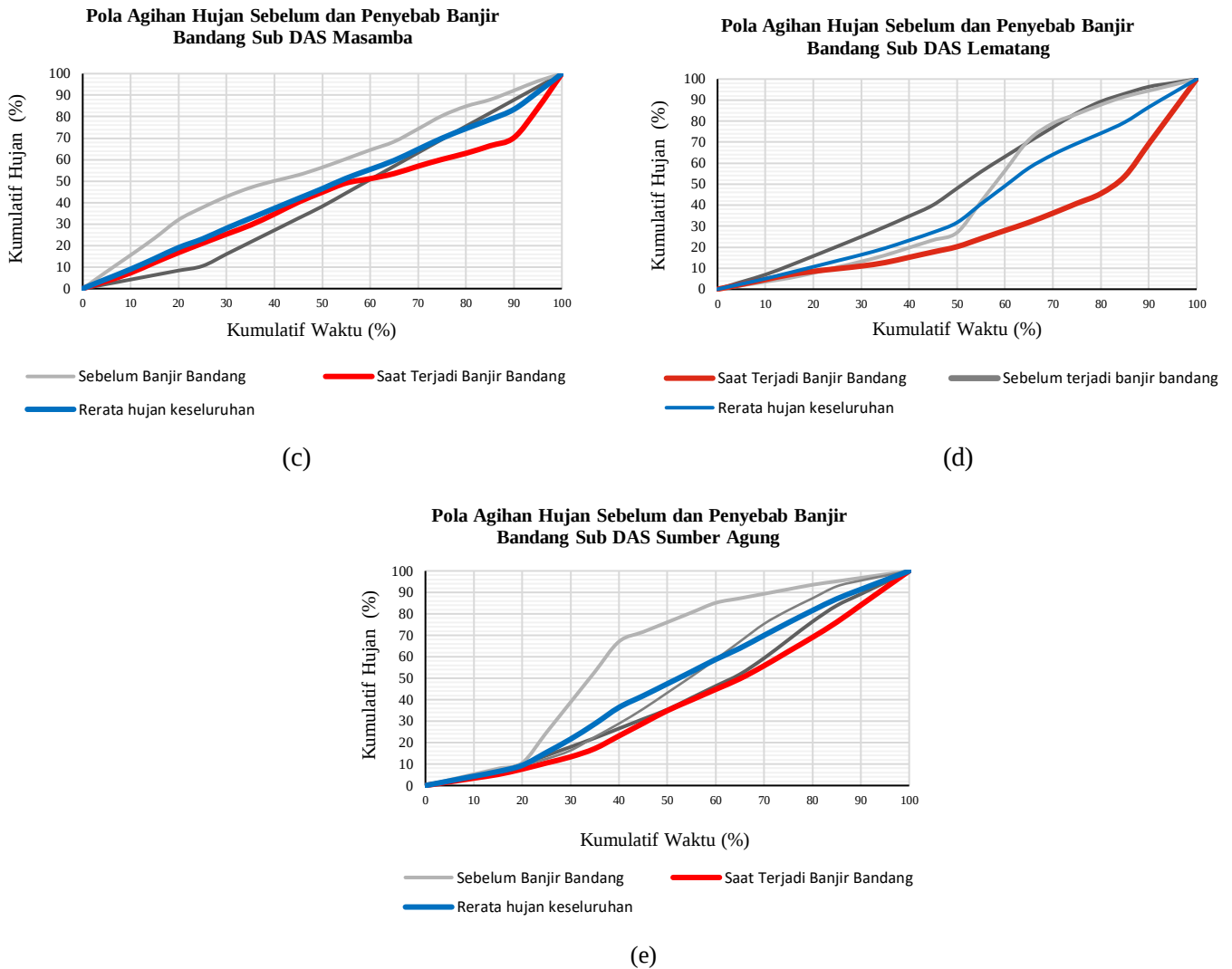
Intisari tidak Langkah-langkah yang ditempuh untuk dapat memperoleh tujuan akhir dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Melakukan studi pustaka mengenai literatur yang berkaitan dengan karakteristik hujan, yang meliputi analisis durasi hujan dominan, serta pola distribusi hujan. Literatur tersebut berupa *text book*, internet, jurnal, serta penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini,
2. Melakukan pengelolaan peta DAS,
3. Melakukan pengumpulan data curah hujan satelit GPM-IMERG 30 menit pada wilayah lokasi penelitian,
4. Melakukan pengelolaan data hujan satelit dari format data (.csc) ke format (.cvs),
5. Melakukan pengelompokan seri data hujan berdasarkan besar intensitas hujan. Pada penelitian ini diambil kejadian hujan dengan intensitas hujan >20 mm,
6. Melakukan analisis hujan dominan dari kejadian hujan,
7. Menentukan durasi hujan sebagai absis dan kedalaman hujan sebagai ordinat untuk setiap kejadian hujan,
8. Menentukan nilai kumulatif durasi dan kumulatif kedalaman hujan dalam bentuk persentase tersebut,
9. Dari seluruh nilai kumulatif tersebut lalu dirata-ratakan,
10. Melakukan *plotting* nilai absis dan ordinat tersebut dalam bentuk grafik.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pola agihan hujan dapat berguna untuk mengetahui karakteristik hujan pada suatu wilayah yang dapat digunakan untuk mitigasi dari suatu bencana yang diakibatkan oleh hujan. Pada penelitian ini data kejadian hujan yang intensitasnya >20 mm dibuat pola agihan hujan yaitu kurva hubungan antara persentase waktu dan persentase kumulatif hujan yang terjadi. Untuk mendapatkan pola agihan hujan, dilakukan analisis untuk mendapatkan absis (persentase kumulatif waktu) dan ordinat (persentase kumulatif hujan). Berikut hasil Kurva pola agihan hujan dan pola distribusi hujan dari kelima wilayah dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

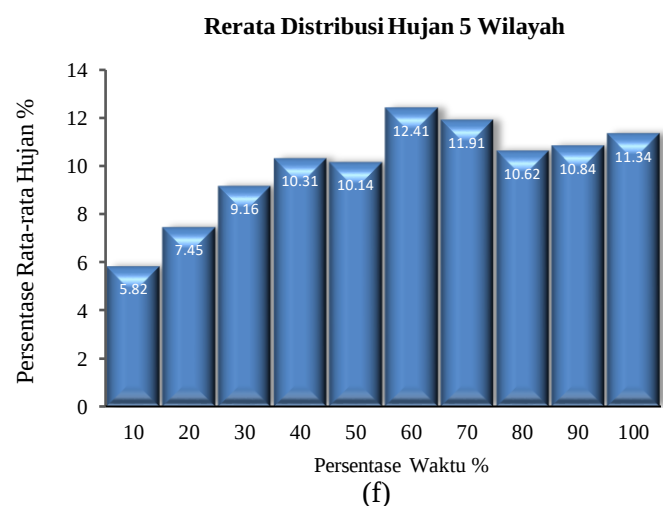
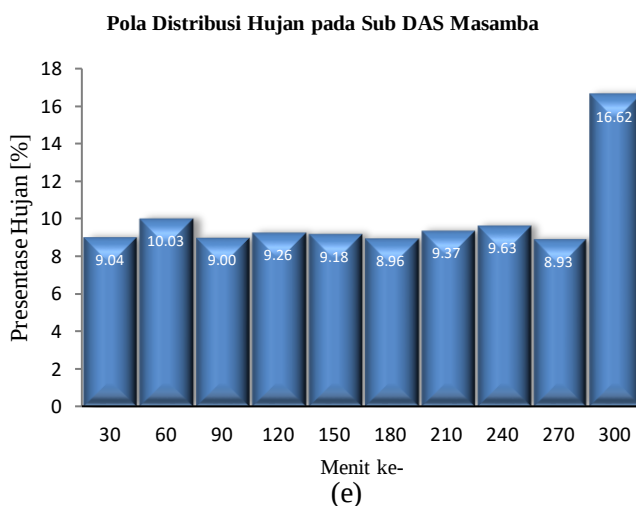
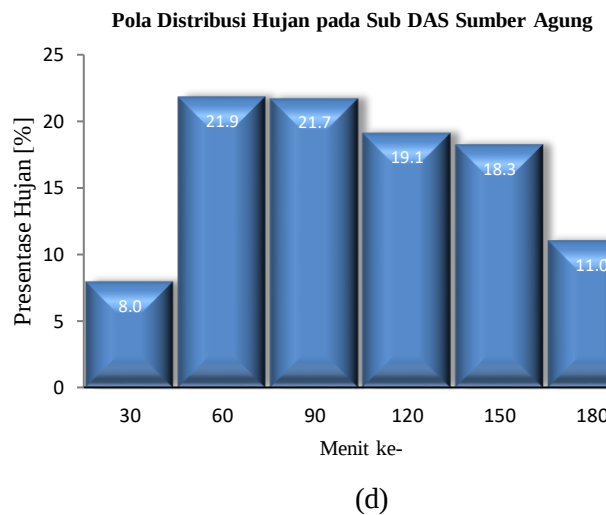
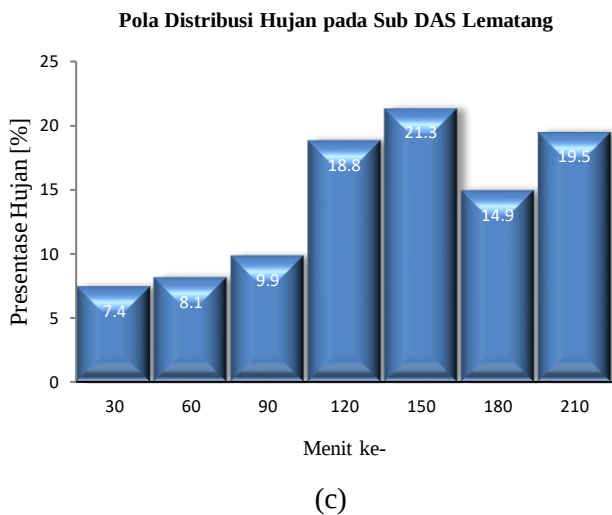
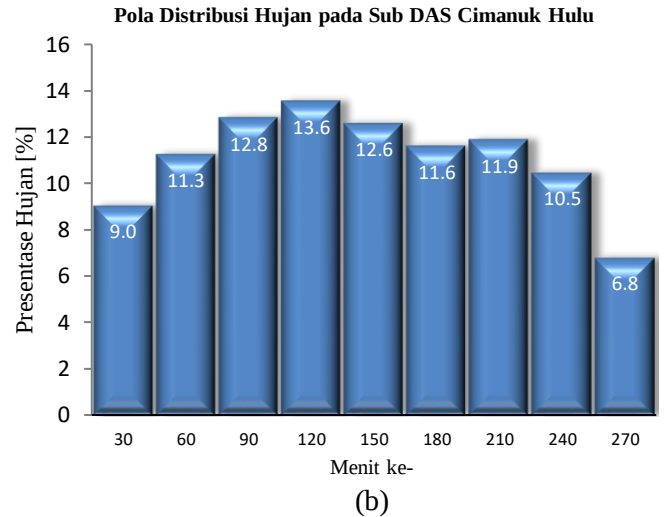
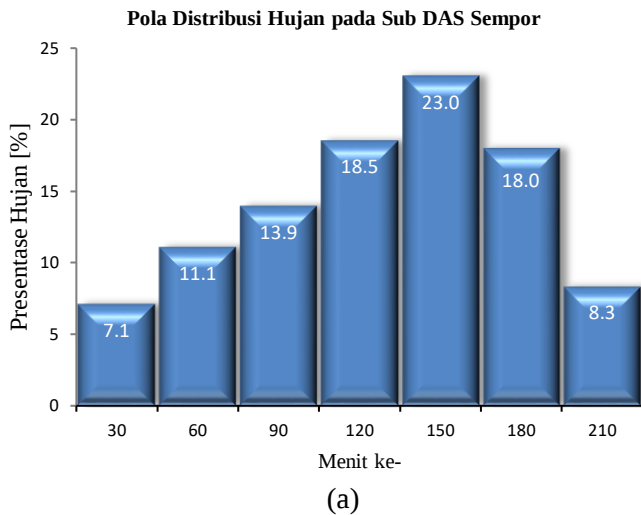




Gambar 4 . Kurva Pola Agihan Hujan Kelima Lokasi.

Hasil analisis kurva agihan hujan memperlihatkan perbedaan yang jelas antara kejadian sebelum banjir bandang dan saat terjadinya banjir bandang pada lima wilayah penelitian. Pada kejadian sebelum banjir bandang, kurva agihan hujan cenderung lebih landai, yang menandakan hujan terdistribusi relatif merata sepanjang durasi. Sebaliknya, pada kejadian saat banjir bandang, kurva agihan hujan tampak lebih curam di awal atau pertengahan durasi, menunjukkan konsentrasi curah hujan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat. Perbedaan karakter ini penting, sebab menunjukkan bahwa banjir bandang bukan hanya dipengaruhi oleh lamanya hujan, tetapi juga oleh bagaimana hujan tersebut terdistribusi dalam durasi singkat tertentu. Hujan dengan total curah yang sama dapat menghasilkan dampak yang berbeda, apabila terdistribusi merata (seperti pada kejadian sebelum banjir), respon hidrologi masih dapat diimbangi oleh infiltrasi dan kapasitas simpan DAS tetapi apabila terdistribusi secara terkonsentrasi (seperti pada saat banjir), maka terbentuk limpasan permukaan cepat yang menghasilkan debit puncak berbahaya.

Pola distribusi hujan diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Dari hasil analisis yang telah dilakukan telah didapat persentase kedalaman hujan, persentase tersebut yang kemudian akan digambarkan histogramnya. Berikut adalah pola distribusi hujan pada kejadian banjir bandang dari kelima wilayah tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 . Kurva Pola Distribusi Hujan Kejadian Banjir Bandang

Hasil analisis distribusi hujan pada lima wilayah penelitian menunjukkan bahwa pola distribusi dan durasi hujan pemicu banjir bandang sangat bervariasi, namun sama-sama menegaskan pentingnya intensitas tinggi dan distribusi tidak merata dalam membentuk banjir bandang. Pada Sub-DAS Sempor (Yogyakarta), distribusi hujan menunjukkan konsentrasi pada pertengahan durasi. Dari total durasi sekitar 210 menit, lebih dari separuh curah hujan terkumpul antara menit ke-120 hingga menit ke-180, dengan puncak sebesar 23% pada menit ke-150. Pola ini menandakan

hujan intensif berdurasi singkat yang langsung menghasilkan respon limpasan cepat (Doswell, 2015). Pada Sub-DAS Cimanuk Hulu (Garut), distribusi hujan terlihat lebih merata sepanjang 270 menit durasi, dengan kontribusi terbesar hanya 13,6% di menit ke-120, sementara interval lain stabil di kisaran 10–12%. Hal ini menunjukkan bahwa banjir bandang di Garut lebih dipicu oleh akumulasi hujan panjang dibandingkan oleh puncak intensitas singkat.

Sub-DAS Masamba (Sulawesi Selatan) memiliki durasi hujan terpanjang (300 menit). Distribusi hujan relatif stabil di awal–tengah, sekitar 9–10% per interval, namun meningkat tajam di akhir kejadian dengan puncak 16,6% pada menit ke-300. Pola ini menunjukkan akumulasi hujan panjang dengan kejutan di akhir durasi (Shahabi et al., 2021). Pada Sub-DAS Lematang Hulu (Lahat), durasi hujan 210 menit dengan konsentrasi pada pertengahan–akhir kejadian. Puncak hujan 21,3% terjadi di menit ke-150, disusul 18,8% pada menit ke-120 dan 19,5% pada menit ke-210, menandakan intensitas tinggi bertumpuk di pertengahan hingga akhir durasi (Harto, 2000). Sementara itu, Sumber Agung (Batu–Malang) memiliki durasi lebih singkat (180 menit) tetapi distribusi hujan terkonsentrasi di awal–pertengahan. Puncak hujan 21,9% terjadi pada menit ke-60, 21,7% pada menit ke-90, dan 19,1% pada menit ke-120, sehingga hampir dua pertiga curah hujan sudah jatuh di separuh awal kejadian (Corral et al., 2019).

Jika dibandingkan secara keseluruhan, rata-rata distribusi hujan di lima wilayah menunjukkan bahwa 50% curah hujan tercapai pada 45% awal durasi, dengan puncak rata-rata distribusi sebesar 12,41% pada 60% waktu kejadian. Hal ini menegaskan bahwa hujan ekstrem penyebab banjir bandang di Indonesia cenderung memiliki distribusi tidak merata, dengan dominasi intensitas pada awal, pertengahan, atau akhir sesuai karakteristik DAS (Sukoso, 2004). Dari sisi durasi, Sub-DAS Sempor, Sub-DAS Lematang, dan Sub-DAS Sumber Agung dipicu hujan 3–3,5 jam dengan konsentrasi pertengahan waktu; Masamba durasi terpanjang (5 jam) dengan puncak akhir; sedangkan Cimanuk distribusinya relatif merata dengan durasi 4,5 jam.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pola distribusi dan durasi hujan pada lima wilayah penelitian, dapat disimpulkan bahwa hujan pemicu banjir bandang umumnya berdurasi antara 3–5 jam dengan pola distribusi yang tidak merata. Setiap DAS memiliki karakteristik distribusi yang berbeda: Sub-DAS Sempor dan Sub-DAS Sumber Agung menunjukkan konsentrasi hujan pada awal hingga pertengahan durasi; Sub-DAS Lematang terkonsentrasi pada pertengahan hingga akhir; Sub-DAS Masamba relatif merata di awal hingga tengah namun meningkat tajam pada akhir; sedangkan Sub-DAS Cimanuk cenderung memiliki distribusi yang lebih merata sepanjang durasi. Perbedaan ini menegaskan bahwa banjir bandang dapat dipicu baik oleh hujan singkat berintensitas tinggi maupun oleh hujan berdurasi panjang dengan akumulasi curah hujan yang besar. Faktor utama yang konsisten adalah adanya satu atau lebih blok hujan dominan yang berperan dalam mempercepat terbentuknya debit puncak.

REFERENSI

- Harto, S. (2000). “Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian.” *Nafiri Offset*, Yogyakarta.
- Sukoso, E. (2004). “Perbandingan Tingkat Ketelitian Pemakaian Persamaan Hujan Jam-Jaman dan Agihan Jam-Jaman Terukur terhadap Hidrograf Debit Banjir Rancangan”. *Universitas Gadjah Mada*.
- Jonkman, S.N. (2005). “Global perspectives on loss of human life caused by floods.” *Nat. Hazards* 34, 151–175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
- Penna, D., Borga, M., Zoccatelli, D. (2013). “Analysis of Flash-Flood Runoff Response, with Examples from Major European Events.” *Treatise Geomorphol.* Vol. 1-14 1–14, 95–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00153-6>
- Doswell, C. (2015). “Hydrology, Floods and Droughts | Flooding.” *Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Second Edi.* ed. <https://doi.org/doi:10.1016/b978-0-12-382225-3.00151-1>
- Dharma Prayuda, D. (2015). “Analisis Karakteristik Intensitas Hujan di Wilayah Lereng Gunung Merapi.” Juni 1, 1–43.
- Lydia, E.N., Mutia, E. (2015). “Penentuan Pola Agihan Hujan Tanpa Pemisahan.” *J. Umum Tek. Terap.* 2, 48–56.
- Katsanos, Dimitrios, Retalis, A., and Michaelides, M. (2016). “Validation of a High-Resolution Precipitation Database (CHIRPS) over Cyprus for a 30 Year Period.” *Atmospheric* 10.1016/j.atmosres.2015.05.015.

Yao, Q., Xie, J., Guo, L., Zhang, X., Liu, R. (2016). "Analysis and Evaluation of Flash Flood Disasters: A Case of Lingbao County of Henan Province in China." *Procedia Eng.* 154, 835–843. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.444>

Asian Development Bank. (2016). "Indonesia Country Water Assessment." *The Philippines*.

Corral, C., Berenguer, M., Sempere-Torres, D., Poletti, L., Silvestro, F., Rebora, N. (2019). "Comparison of two early warning systems for regional flash flood hazard forecasting". *J. Hydrol.* 572, 603–619. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.026>

Sok, R. (2019). "Typical Rainfall Distribution Pattern of Flood Event Caused by Tropical Cyclone at Bima City, West Nusa Tenggara, Indonesia." *Journal of the Civil Engineering Forum* 5(1):1. doi: 10.22146/jcef.34604.

Chen, Y., Wang, Y., Zhang, Y., Luan, Q., Chen, X. (2020). Flash floods, land-use change, and risk dynamics in mountainous tourist areas: A case study of the Yesanpo Scenic Area, Beijing, China. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 50, 101873. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101873>

Abdelkader, M.M., Al-Amoud, A.I., El Alfy, M., El-Feky, A., Saber, M.. (2021). "Assessment of flash flood hazard based on morphometric aspects and rainfall-runoff modeling in Wadi Nisah, central Saudi Arabia." *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 23, 100562. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100562>

Omondi, Kennedy, C., Rientjes, T.H.M., Booij, M.J., and Nelson, A.D., (2021). "Satellite Rainfall Bias Assessment for Crop Growth Simulation – A Case Study of Maize Growth in Kenya." *Agricultural Water Management* 258(May). doi: 10.1016/j.agwat.2021.107204.

Sathya, K. (2021). "Flash Flood Disaster Reconstruction for Estimating the Available Warning Time, the Case in Sempor River on 21st of February 2020, Mt. Merapi Slope, Yogyakarta Special Region." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Sci. 930 012080.

Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S., Pham, B.T., Mansouripour, F., Geertsema, M., Clague, J.J., Bui, D.T. (2021). "Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm." *Geosci. Front.* 12, 101100. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.10.007>

Ghomash, S.K. Bin, Bachmann, D., Caviedes-Voullième, D., Hinz, C. (2022). "Impact of Rainfall Movement on Flash Flood Response: A Synthetic Study of a Semi-Arid Mountainous Catchment." *Water (Switzerland)* 14, 1–25. <https://doi.org/10.3390/w14121844>

Putra, D., Sofwany, B., Zulfinanda, H., Kamaruddin, I. (2022). "Flash Flood (Δ) Risk and Damage Assessment In Batu, East Java." *Jurnal Tekno Sains*. Vol 12, No. 1, Hal 72-84.

Othman, A., El-Saoud, W.A., Habeebullah, T., Shaaban, F., Abotalib, A.Z. (2023). "Risk assessment of flash flood and soil erosion impacts on electrical infrastructures in overcrowded mountainous urban areas under climate change." *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 236, 109302. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109302>

Sulistiyono, W., Fadli, M. (2023). "Verifikasi Produk Estimasi Curah Hujan Gsmep, Gpm-Imerg, dan Himawari-8 Pada Wilayah Serang, Pekanbaru, Dan Ambon". *Optika: Jurnal Pendidikan Fisika* Vol. 7(2).