

Evaluasi Pengaruh Siklon Tropis terhadap Curah Hujan Penyebab Banjir Bandang

Ndaru Prasetyaningrum*, Adam Pamudji Rahardjo¹, Joko Sujono¹

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

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

INTISARI

Siklon Tropis merupakan fenomena cuaca ekstrim yang dapat meningkatkan intensitas curah hujan di wilayah-wilayah terdampak, walaupun Indonesia tidak berada pada daerah lintasan Indonesia dapat terkena dampak Siklon tropis. Studi ini mengevaluasi pengaruh Siklon tropis terhadap curah hujan dengan menggunakan data harian dari tiga lokasi pos hujan pada daerah yang pernah mengalami banjir yang diakibatkan siklon: Stasiun Geofisika Sleman (DIY), Stasiun Klimatologi Jawa Timur, dan Stasiun Meteorologi Gewayantana (NTT). Hasil analisis didapatkan bahwa Siklon tropis yang melintas di Selatan Indonesia memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan curah hujan harian maksimum tahunan, terutama pada daerah DIY dan NTT. Studi ini juga menganalisis hujan rancangan menggunakan beberapa metode distribusi (Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III), dan hasil yang didapatkan yaitu bahwa data yang dipengaruhi siklon menghasilkan nilai hujan rancangan lebih tinggi dibandingkan dengan data yang tidak dipengaruhi siklon. Kesimpulan analisis memiliki implikasi yang penting dalam desain bangunan air dan infrastruktur mitigasi banjir dengan mempertimbangkan dampak Siklon Tropis dalam curah hujan ekstrim.

Kata kunci: Siklon tropis, Curah Hujan, Hujan Rancangan.

1 PENDAHULUAN

Siklon tropis merupakan bentuk fenomena cuaca ekstrim, yang terjadi diawali adanya depresi tropis atau pusat tekanan rendah yang intensif di atas lautan sehingga memicu proses konveksi dan pembentukan awan secara intensif (Haryani & Zubaidah, 2012). Radius rata-rata siklon tropis mencapai 150 hingga 200 km. Namun karena ada efek coriolis, yang disebut Gaya Coriolis, dapat dan meningkat ke arah kutub (Australian Bureau of Meteorology 2006). Umumnya pembentukan siklon tropis ini efektif pada daerah lintang di atas 10° lintang utara maupun lintang Selatan (Haryani & Zubaidah, 2012). Indonesia tidak terletak pada daerah pembentukan, Namun dampak dari Siklon tropis bisa mencapai pada sebagian wilayah-wilayah di Indonesia.

Syaifullah (2012) menyatakan Siklon tropis di sebelah selatan Indonesia. Untuk siklon-siklon tropis di wilayah dekat Indonesia dengan data histori diketahui bahwa di sebelah Selatan. Siklon tropis terbanyak terjadi pada bulan Februari yaitu 23% kejadian dalam sebulan. Bulan Maret menyusul 22%, Januari 21%, Desember 14% dan April 11%. Namun demikian pada bulan Juni, Juli, Agustus dan September merupakan bulan-bulan yang hampir tidak ada kejadian Siklon tropis sama sekali dalam 42 tahun terakhir (Djazim Syaifullah et al., 2012)

Pada pengamatan secara global frekuensi siklon tropis menunjukkan tren yang kurang jelas, namun pada pemodelan global beberapa dekade mensimulasikan adanya perubahan signifikan peningkatan Siklon tropis (Raymond et al., 2014). Peningkatan Siklon tropis yang mendatang akan diperkirakan menyebabkan frekuensi maupun intensitas Siklon tropis (Sobel et al., 2021). Model iklim menunjukkan bahwa di masa depan mungkin akan terjadi pergeseran ke arah Siklon tropis yang lebih sedikit, namun lebih kuat. Mungkin akan ada curah hujan yang lebih besar di daerah yang lebih dekat dengan badai daripada yang diamati sebelumnya untuk sistem yang serupa (Walsh et al., 2016). Dalam studi ini akan mengevaluasi intensitas hujan yang dipengaruhi siklon dengan melihat perbedaan intensitas yang terpengaruh dan tidak terpengaruh oleh Siklon tropis. Dengan menggunakan pendekatan analisis frekuensi menggunakan data hujan yang diperoleh dari BMKG. Studi ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam mendesain bangunan air yang adaptif, sehingga apabila ada Siklon tropis diharapkan bangunan air dapat berfungsi secara optimal.

2 METODE

2.1 Lokasi

Lokasi dilakukan pada daerah yang pernah mengalami banjir bandang akibat terpengaruh oleh Siklon tropis terkhusus pada wilayah Indonesia bagian selatan. Pada 3 lokasi stasiun hujan yaitu DIY, Malang Jawa Timur dan Flores NTT. Hujan ekstrim yang terjadi mengakibatkan terjadinya banjir pada tanggal 28 November 2017 di beberapa titik di Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada tahun 2017 tepatnya di bulan November Malang Jawa Timur terjadi hujan ekstrim saat ketika terdapat siklon melintas di Selatan Indonesia. Pada tanggal 5 April 2021 dini hari BMKG merilis Siklon tropis Seroja melintasi Selatan NTT, Siklon tropis yang menyebabkan hujan ekstrim di kabupaten Flores timur. Ketiga lokasi tersebut pernah mengalami banjir bandang pada saat terdapat siklon yang berada di Selatan Indonesia.

2.2 Data yang digunakan

1. Data curah hujan harian dari instansi BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) diambil melalui website database BMKG (<https://dataonline.bmkg.go.id/dataonline>).

Nama Pos	Latitude	Longitude	Periode Pengambilan
Stasiun Geofisika Sleman	-7.82000	110.30000	1 Januari 2005 – 31 Desember 2024
Stasiun Klimatologi Jawa Timur	-7.90080	112.59790	1 Januari 2005 – 31 Desember 2024
Stasiun Meteorologi Gawayantana	-8.27520	122.99860	1 Januari 2005 – 31 Desember 2024

2. Data kejadian Siklon tropis yang berada di sekitar selatan Indonesia. Data tersebut didapatkan dari website IBTrACS (<https://ncics.org/ibtracs/>).

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Analisis Curah hujan harian maksimum tahunan

Analisis curah hujan harian maksimum merupakan analisis statistik yang dilakukan terhadap rekaman data curah hujan harian. Data curah hujan harian adalah data tingginya curah hujan (dalam mm), dengan curah hujan harian maksimum tahunan dari pengamatan pada suatu stasiun tertentu.

2.3.2 Analisis distribusi Frekuensi

Dalam bidang hidrologi, analisis distribusi frekuensi digunakan untuk memodelkan frekuensi kejadian hidrologi seperti curah hujan, debit sungai, atau tinggi muka air. Pada studi ini menggunakan distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III.

2.3.2.1 Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel karena digunakan untuk mengestimasi nilai ekstrim seperti debit sungai maksimum atau curah hujan maksimum, distribusi ini dikenal sebagai distribusi ekstrem. Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

$$x_T = \bar{x} + k.Sd \quad (1)$$

dimana \bar{x} adalah hujan rata-rata (mm), Sd adalah simpangan baku hujan (mm), x_T adalah hujan pada kala ulang ke-T tahunan (5th, 10th ..., dst), k merupakan faktor frekuensi Gumbel.

Faktor frekuensi Gumbel dicari menggunakan persamaan berikut:

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (2)$$

dimana k adalah faktor frekuensi gumbel, Y_t adalah nilai reduksi dari periode ulang tertentu, Y_n adalah nilai reduksi dari rata-rata, dan S_n merupakan nilai reduksi dari simpangan baku.

2.3.2.2 Distribusi Normal

Distribusi Normal adalah distribusi probabilitas yang simetris terhadap sumbu vertikal. Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

$$x_T = \bar{x} + k.Sd \tag{3}$$

\bar{x} adalah hujan rata-rata (mm), Sd merupakan simpangan baku hujan (mm), x_T adalah hujan pada kala ulang ke-T tahunan (5th, 10th ..., dst), k adalah faktor frekuensi

2.3.2.3 Distribusi Log Normal

Dalam analisis hidrologi, distribusi probabilitas yang dikenal sebagai distribusi Log Normal digunakan untuk menghitung nilai data yang memiliki variasi yang besar. Distribusi ini biasanya digunakan pada data dengan nilai terkecil di atas nol (positif). Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

$$\log x_T = \overline{\log x} + k.S_{\log x} \tag{4}$$

dengan x_T adalah hujan pada kala ulang ke-T tahunan (5th, 10th ..., dst), $\overline{\log x}$ merupakan rata-rata hujan logaritmik, k adalah faktor frekuensi, dan $S_{\log x}$ merupakan simpangan baku hujan logaritmik.

2.3.2.4 Distribusi Log Pearson III

Dalam analisis hidrologi, distribusi log-Pearson III adalah jenis distribusi probabilitas yang sering digunakan. Ini dapat digunakan pada data yang memiliki nilai minimum nol atau bahkan negatif. Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

$$\log x_T = \overline{\log x} + k.S_{\log x} \tag{5}$$

x_T adalah hujan pada kala ulang ke-T tahunan (5th, 10th ..., dst), $\overline{\log x}$ adalah rata-rata hujan logaritmik, k adalah faktor frekuensi, dan $S_{\log x}$ merupakan simpangan baku hujan logaritmik.

2.3.3 Uji Distribusi Frekuensi

Uji distribusi pada distribusi frekuensi hujan adalah metode statistik yang digunakan untuk menentukan apakah distribusi probabilitas sesuai atau sesuai dengan data frekuensi hujan yang diamati.

1. Chi-Square

Uji Chi-Square dapat digunakan untuk menilai kesesuaian distribusi terhadap data teoritis ke arah vertikal (Limantara, 2018). Pengujian dilakukan dengan menghitung nilai χ^2 , yang diperoleh dari perbedaan antara nilai yang diamati dan nilai yang diestimasi dengan menggunakan distribusi probabilitas yang spesifik.

$$\chi^2_{kritis} > \sum \frac{(O_i - E_i)}{E_i^2} \tag{6}$$

dengan O_i adalah frekuensi hujan yang diamati pada kelas ke-i, E_i adalah frekuensi hujan yang diharapkan pada kelas ke-i, χ^2 merupakan nilai statistik uji Chi-Square

2. Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-kolmogorov digunakan untuk menilai kesesuaian distribusi terhadap penyimpangan data ke arah horizontal (Limantara, 2018). Didasarkan pada perhitungan nilai Δ , atau nilai statistik yang menunjukkan seberapa jauh kurva teoritis distribusi probabilitas berbeda dari kurva empiris data yang diamati.

$$\Delta_{kritis} > maks |P_e - P_t| \tag{7}$$

Δ adalah nilai statistik uji Smirnov-Kolmogorov, P_e adalah nilai empiris distribusi kumulatif pada titik x, P_t adalah nilai teoritis distribusi kumulatif pada titik x

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

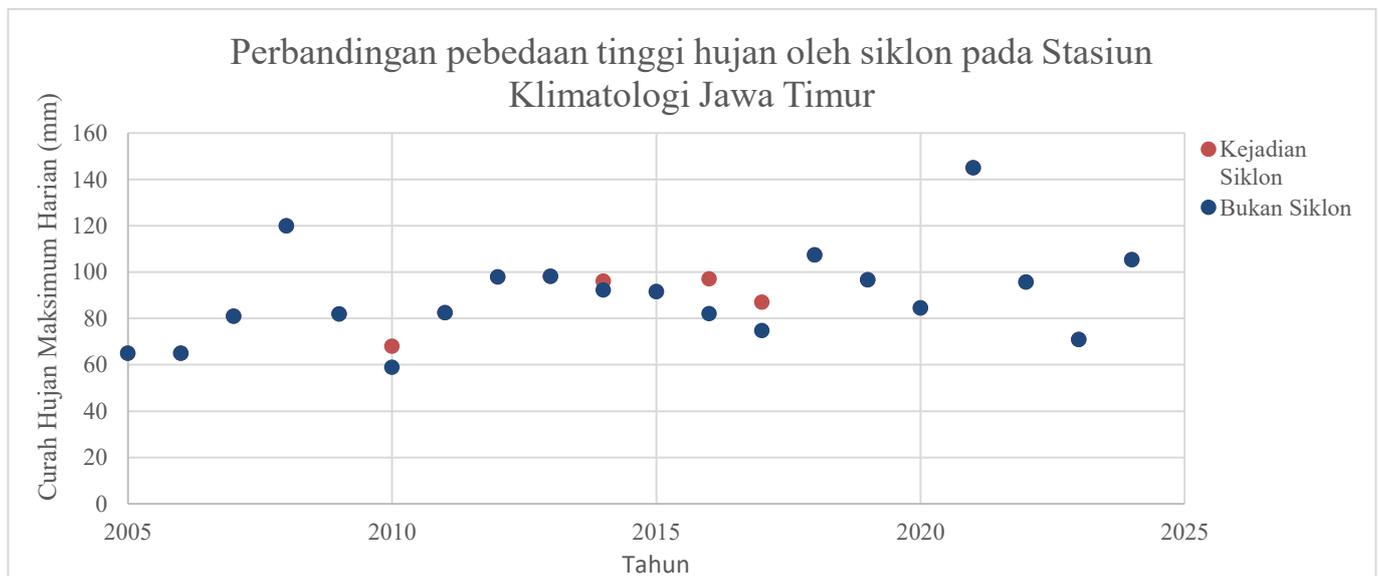
Data hujan harian yang dipakai dalam analisis ini mencakup rentang waktu 20 tahun dari tahun 2005 hingga 2024 yang berasal dari Provinsi DIY, Jawa Timur dan Nusa Tenggara Timur. Masing-masing Provinsi diwakili oleh 1 stasiun hujan, lokasi stasiun diambil terdekat dari daerah historis kejadian banjir bandang yang terpengaruh Siklon tropis yaitu pada Stasiun hujan Geofisika Sleman, Stasiun Hujan Klimatologi Jawa Timur, dan Stasiun hujan Meteorologi Gewayantana.

Sebelum analisis curah hujan rancangan, perlu diketahui kejadian Siklon tropis yang pernah mempengaruhi stasiun-stasiun hujan terpilih dengan melihat kejadian Siklon tropis dari website IBTrACS (<https://ncics.org/ibtracs/>) dari tahun 2005 hingga 2024 di wilayah Selatan Indonesia. Berdasarkan hasil rangkuman kejadian Siklon tropis di wilayah Selatan Indonesia terdapat 58 Siklon tropis yang pernah mendekati ke daerah-daerah studi. Siklon tropis tersebut beberapa mempengaruhi dalam curah hujan harian maksimum tahunan.

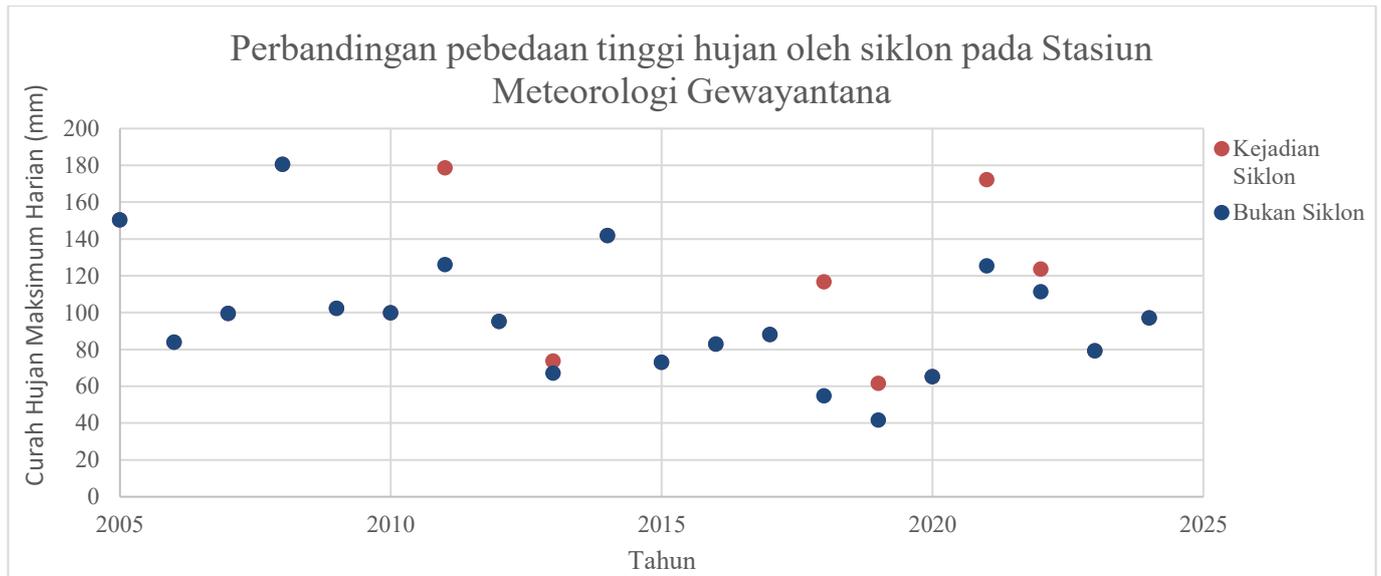
Pada analisis perbedaan curah hujan yang dipengaruhi Siklon tropis. Siklon tropis memberikan pengaruh untuk stasiun-stasiun hujan. Siklon tropis memberikan peningkatan intensitas hujan pada stasiun hujan yang terpengaruh oleh Siklon tropis. Dapat dilihat pada Gambar 1 pada tahun 2017 Siklon tropis sangat mempengaruhi curah hujan yang berada di DIY Sleman.



Gambar 1 . Grafik perbedaan tinggi hujan terpengaruh Siklon tropis pada Stasiun Geofisika Sleman



Gambar 2 . Grafik perbedaan tinggi hujan terpengaruh Siklon tropis pada Stasiun Klimatologi Jawa Timur



Gambar 3 Grafik perbedaan tinggi hujan terpengaruh Siklon tropis pada Stasiun Meteorologi Gewayantana

Dari Gambar 1 pada tahun 2012,2013,2017,2019,2022 terdapat Siklon tropis yang melintas Selatan DIY yang menyebabkan curah hujan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hujan yang tidak dipengaruhi oleh siklon dari pengamatan pos hujan Stasiun Geofisika Sleman. Tahun 2017 tahun dimana siklon sangat mempengaruhi intensitas hujan signifikan, jika tanpa adanya pengaruh siklon hujan harian maksimum tahunan sebesar 88,8 mm menjadi 364,1 mm karena adanya dampak Siklon tropis yang berpengaruh pada pos hujan Stasiun Geofisika Sleman.

Dari Gambar 2 pada tahun 2010,2014,2016,2017 terdapat Siklon tropis yang melintas Selatan Jawa Timur yang menyebabkan curah hujan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hujan yang tidak dipengaruhi oleh siklon dari pengamatan pos hujan Stasiun Klimatologi Jawa Timur. Namun pada pos hujan Klimatologi Jawa Timur perbedaan curah hujan yang dipengaruhi dan tidak dipengaruhi Siklon tidak signifikan pada pos hujan Stasiun Geofisika Sleman dan Meteorologi Gewayantana.

Dari Gambar 3 pada tahun 2011,2013,2018,2019,2021 dan 2022 terdapat Siklon tropis yang melintas Selatan NTT yang menyebabkan curah hujan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan hujan yang tidak dipengaruhi oleh siklon dari pengamatan pos hujan Stasiun Meteorologi Gewayantana. Tahun 2021 tahun dimana siklon sangat mempengaruhi intensitas hujan signifikan, jika tanpa adanya pengaruh siklon hujan harian maksimum tahunan sebesar 125,4 mm menjadi 172,2 mm karena adanya dampak Siklon tropis yang berpengaruh pada pos hujan Stasiun Meteorologi Gewayantana.

Pada beberapa kejadian Siklon menunjukkan perbedaan curah hujan yang cukup signifikan. Namun pada pos hujan Klimatologi Jawa Timur tidak menunjukkan semua kejadian Siklon menunjukkan perbedaan curah hujan yang tinggi, akan tetapi setiap terdapat siklon yang berdampak memberikan perbedaan curah hujan walaupun perbedaannya sedikit. Selanjutnya dilanjutkan mengenai analisis hujan rancangan, apakah setelah dianalisis hujan rancangan akan memberikan perbedaan atau tidak.

Tabel 1 Tinggi hujan terpengaruh dan tidak terpengaruh Siklon tropis

Data tidak terpengaruh Siklon				Data Terpengaruh Siklon			
Tahun	St. Sleman	St. Jawa Timur	St. Gewayantana	Tahun	St. Sleman	St. Jawa Timur	St. Gewayantana
2005	98	65	150.4	2005	98	65	150.4
2006	131.5	65	83.9	2006	131.5	65	83.9
2007	117.8	81	99.6	2007	117.8	81	99.6
2008	102	120	180.5	2008	102	120	180.5
2009	85	82	102.3	2009	85	82	102.3
2010	131	59	99.9	2010	131	68	99.9
2011	81	82.5	126.1	2011	81	82.5	178.6
2012	102.5	98	95.3	2012	118	98	95.3

Data tidak terpengaruh Siklon				Data Terpengaruh Siklon			
Tahun	St. Sleman	St. Jawa Timur	St. Gewayantana	Tahun	St. Sleman	St. Jawa Timur	St. Gewayantana
2013	66.4	98.2	67.1	2013	131.3	98.2	73.7
2014	85.3	92.3	141.9	2014	85.3	96.1	141.9
2015	73.9	91.6	73	2015	73.9	91.6	73
2016	123	82.1	82.9	2016	123	97.1	82.9
2017	88.8	74.8	88.1	2017	364.1	87	88.1
2018	85	107.4	54.8	2018	85	107.4	116.8
2019	82.3	96.7	41.6	2019	170.6	96.7	61.6
2020	105.6	84.6	65.2	2020	105.6	84.6	65.2
2021	110	145	125.4	2021	110	145	172.2
2022	67.6	95.7	111.4	2022	87.5	95.7	123.6
2023	85	70.9	79.2	2023	85	70.9	79.2
2024	120.4	105.4	97.1	2024	120.4	105.4	97.1

Sumber: BMKG (2025)

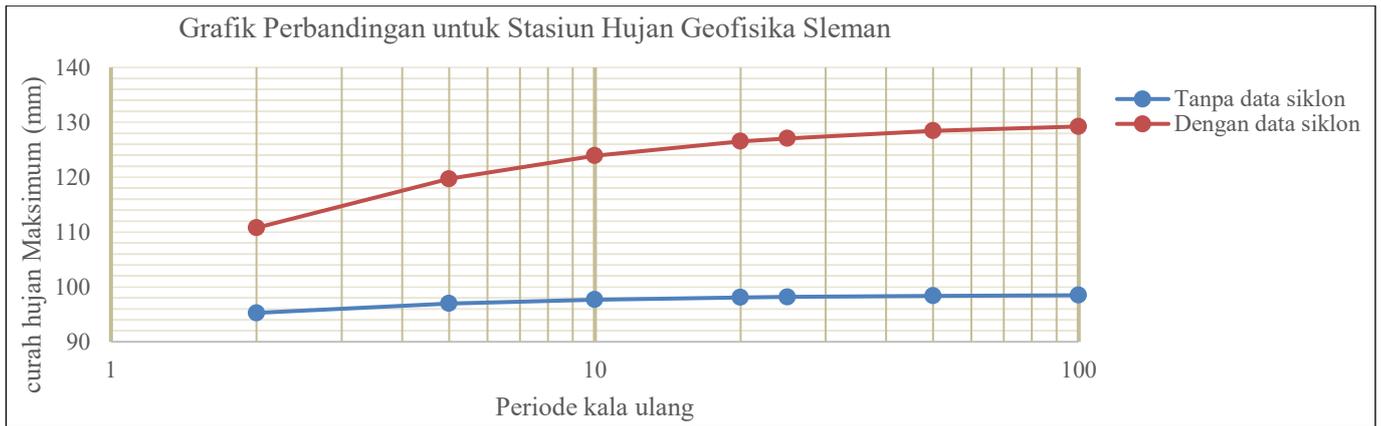
Pada tabel 1 terdapat curah hujan maksimum tahunan yang terpengaruh dan tidak terpengaruh oleh Siklon Tropis, pada cell berwarna kuning merupakan tinggi hujan saat Siklon dan mempengaruhi curah hujan maksimum tahunan pada masing-masing pos hujan. Dari kedua curah hujan tersebut dianalisis frekuensi dengan 4 distribusi yaitu Distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III, kemudian dilakukan pengujian distribusi dengan Uji Distribusi Chi Square dan Uji Distribusi Smirnov Kolmogorov.

Hasil hujan rancangan dari Distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III berbeda. Namun dalam Uji Distribusi Chi Square dan Uji Distribusi Smirnov Kolmogorov beberapa distribusi tidak memenuhi syarat tersebut. Yang memenuhi kedua Uji distribusi tersebut adalah Distribusi Log Pearson III. Log Pearson III dipilih untuk nilai hujan rancangan dan akan dibandingkan nilai hujan rancangan yang dengan data Siklon tropis dan yang tidak dengan data Siklon tropis.

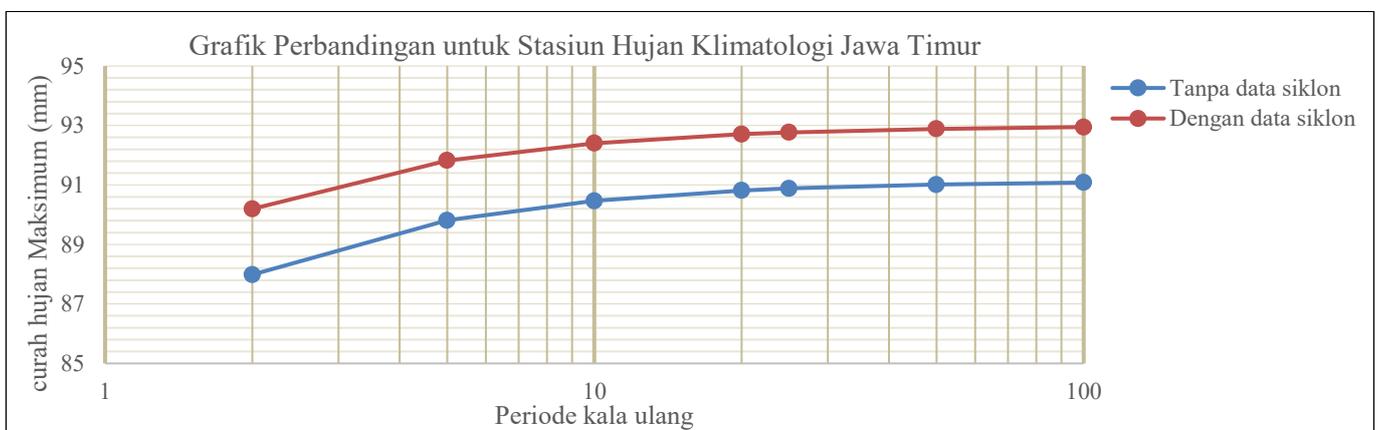
Tabel 2 Hasil Perhitungan Curah hujan Rancangan

Kala Ulang	Log Pearson III					
	St. Sleman		St. Jawa Timur		St. Gewayantana	
	Dengan data Siklon	Tanpa data siklon	Dengan data Siklon	Tanpa data siklon	Dengan data Siklon	Tanpa data siklon
2	110.78	95.27	90.2	87.99	102.34	93.07
5	119.69	96.99	91.82	89.81	106.71	97.19
10	123.9	97.68	92.4	90.47	109.27	99.28
20	126.53	98.08	92.71	90.81	111.72	101.08
25	127.07	98.16	92.77	90.88	112.22	101.44
50	128.46	98.37	92.88	91.01	114.26	102.81
100	129.23	98.48	92.95	91.08	116.19	104.01

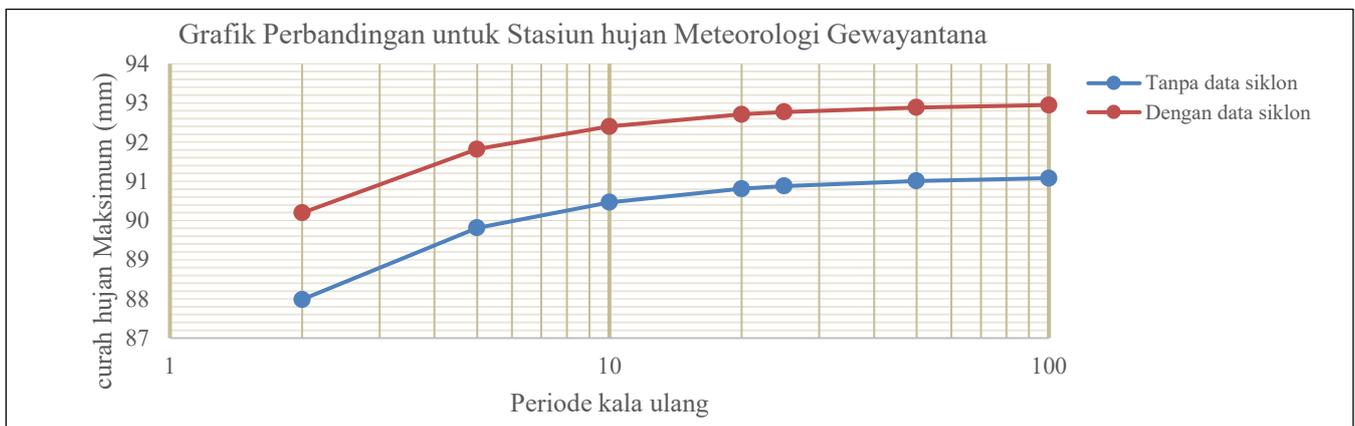
Dari tabel 2 hasil perhitungan adanya perbedaan dan peningkatan, Siklon mempengaruhi nilai hujan rancangan.



Gambar 4 Grafik perbandingan Hujan Rancangan yang terpengaruh oleh Siklon tropis dan tidak terpengaruh Siklon tropis untuk Stasiun hujan Geofisika Sleman



Gambar 5 Grafik perbandingan Hujan Rancangan yang terpengaruh oleh Siklon tropis dan tidak terpengaruh Siklon tropis untuk Stasiun hujan Klimatologi Jawa Timur



Gambar 6 Grafik perbandingan Hujan Rancangan yang terpengaruh oleh Siklon tropis dan tidak terpengaruh Siklon tropis untuk Stasiun hujan Meteorologi Gweyantana

Dari hasil perbandingan yang dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6. Menunjukkan bahwa perbedaan curah hujan rancangan. Perbedaan tersebut dapat mempengaruhi rencana desain yang digunakan dalam berbagai kala ulang. Dengan mempertimbangkan Siklon tropis dalam mempengaruhi curah hujan maka perlu dipertimbangkan bangunan-bangunan air yang menggunakan desain tertentu dapat mengantisipasi curah hujan terpengaruh Siklon yang akan datang.

4 KESIMPULAN

Hasil analisis terhadap data hujan harian selama 20 tahun(2005-2024) dari DIY, Malang Jawa Timur dan Flores NTT menunjukan bahwa siklon tropis yang melintas di Selatan Indonesia dapat meningkatkan intensitas curah hujan yang pada daerah yang terdampak. Terdapat perbedaan intensitas curah hujan pada ketiga pos hujan, Stasiun Geofisika Sleman (DIY) mengalami perubahan signifikan curah hujan saat dipengaruhi oleh siklon, Stasiun Klimatologi Jawa Timur mengalami perubahan curah hujan namun tidak signifikan pada pos hujan lain, Stasiun Meteorologi Gawayantana (NTT) menunjukan perbedaan curah hujan signifikan pada beberapa tahun tertentu.

REFERENSI

- Djazim Syaifullah, M., Hujan Buatan -BPPT, U., Thamrin no, J. M., & Pusat Intisari, J. (n.d.). *SIKLON TROPIS, KARAKTERISTIK DAN PENGARUHNYA DI WILAYAH INDONESIA PADA TAHUN 2012*.
- Haryani, N. S., & Zubaidah, A. (2012). Dynamics of Tropical Cyclones in Southeast Asia Using Remote Sensing. *Widya*, 29(324), 54–58.
- Limantara, I. L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi: Edisi Revisi*. Penerbit Andi.
- Raymond, D. J., Gjorgjievska, S., Sessions, S., & Fuchs, Ž. (2014). Tropical cyclogenesis and mid-level vorticity. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 64(1), 11–25. <https://doi.org/10.22499/2.6401.003>
- Sobel, A. H., Wing, A. A., Camargo, S. J., Patricola, C. M., Vecchi, G. A., Lee, C. Y., & Tippet, M. K. (2021). Tropical Cyclone Frequency. In *Earth's Future* (Vol. 9, Issue 12). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1029/2021EF002275>
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset.
- Walsh, K. J. E., McBride, J. L., Klotzbach, P. J., Balachandran, S., Camargo, S. J., Holland, G., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Lee, T., Sobel, A., & Sugi, M. (2016). Tropical cyclones and climate change. *WIREs Climate Change*, 7(1), 65–89. <https://doi.org/10.1002/wcc.371>