

PREDIKSI SUHU UDARA DI NUSA TENGGARA TIMUR MENGGUNAKAN *EXTREME VALUE THEORY*

Safira Nuraini Putri¹, A'yunin Sofro^{2*}

¹ Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

² Program Studi Aktuaria, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

*e-mail : ayuninsofro@unesa.ac.id

DOI: 10.14710/j.gauss.14.1.149-156

Article Info:

Received: 2025-01-14

Accepted: 2025-06-21

Available Online: 2025-06-25

Keywords:

Suhu; Prediksi; Extreme Value Theory; Maximum Likelihood Estimation; Moment of Method

Abstract: Forest and land fires are currently rife in Indonesia. This event is one type of ecological disaster caused by environmental and non-environmental activities. One of the impacts of forest and land fires is the loss of forest land in Indonesia. Based on data from 2024, the National Disaster Management Agency noted that East Nusa Tenggara is the province with the largest area of forest fires in Indonesia, which is 93572.19 hectares. To prevent this from continuing, it is necessary to predict weather data related to forest and land fires, namely air temperature. Air temperature can be analyzed using Extreme Value Theory to get the return level in the 2025-2028 return period. The Maximum Likelihood Estimation method was chosen because it has the advantage of estimating parameters accurately and effectively, especially in complex distributions such as the Generalized Extreme Value Distribution. The data used is the maximum air temperature in East Nusa Tenggara in 2020-2024. The results showed that the prediction of air temperature carried out by MLE has a fluctuating and accurate value until it reaches 36.40894°C in 2028.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis dengan dua musim, yaitu musim panas dan musim hujan. Iklim tropis ini identik dengan perubahan suhu, cuaca, maupun arah angin yang cukup ekstrem (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024). Adanya cuaca ekstrem seperti kekeringan, suhu udara yang tinggi, kelembapan udara yang rendah, serta angin kencang yang saat ini sering terjadi dapat menimbulkan bencana yang membahayakan. Terdapat beberapa jenis bencana, salah satunya adalah bencana ekologis. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (Wacana, 2014), bencana ekologis diartikan sebagai fenomena alam yang disebabkan oleh perubahan tatanan ekologi yang disebabkan oleh makhluk hidup dan kondisi alam. Salah satu contoh bencana ekologis yang saat ini marak terjadi adalah karhutla. Karhutla atau kebakaran hutan dan lahan merupakan peristiwa yang berdampak pada rusaknya hutan dan lahan karena disebabkan oleh api (BNPB, 2022). Karhutla akan menimbulkan berbagai kerugian, baik secara ekonomi maupun lingkungan. Cuaca ekstrem seperti suhu udara yang tinggi serta didukung oleh aktivitas manusia seperti pembukaan lahan dengan pembakaran dapat meningkatkan potensi karhutla terjadi.



Gambar 1. Grafik 10 Provinsi dengan Luas Kebakaran Hutan Terbesar di Indonesia

Diagram pada gambar 1 menampilkan 10 provinsi di Indonesia dengan luas kebakaran hutan terbesar yang terjadi sepanjang tahun 2024 (BNPB, 2024a). Dari diagram diatas dapat diketahui bahwa Provinsi Nusa Tenggara Timur merupakan provinsi dengan luas kebakaran hutan terbesar, yaitu 93572,19 hektar. Hal ini sejalan dengan Provinsi Nusa Tenggara Timur yang merupakan provinsi darurat karhutla (Bendi & Kaesmetan, 2024). Karhutla yang terjadi di Nusa Tenggara Timur didukung oleh suhu udara tinggi yang saat ini terjadi di Indonesia (Aditya, 2024). Tercatat sepanjang tahun 2024, suhu udara paling tinggi yang pernah terjadi di Nusa Tenggara Timur adalah 37,1°C.

Sebagai bentuk pencegahan terhadap peristiwa karhutla yang sering terjadi, dibutuhkan sebuah analisis data ekstrem yang dalam hal ini adalah suhu udara. Secara umum, karhutla memiliki karakteristik distribusi *heavy tail* (ekor berat), karena memiliki kejadian yang sangat besar. Salah satu penyebab dalam kejadian tersebut adalah suhu udara yang sangat tinggi. Oleh karena itu, suhu udara dapat dianalisis menggunakan *Extreme Value Theory*. EVT pada umumnya akan mengikuti Distribusi *Generalized Extreme Value* dan *Generalized Pareto Distribution*. Penelitian terdahulu tentang kasus suhu udara ekstrem dilakukan oleh Habibulloh & Sofro (2023) yang menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* untuk mengestimasi parameter distribusi GEV, kemudian hasilnya digunakan untuk perhitungan *return level*. Ada pula penelitian yang dilakukan oleh Ahmad et al., (2022) yang menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* untuk memprediksi data cuaca ekstrem di masa depan.

Berdasarkan kasus di atas, akan dilakukan analisis pada suhu udara ekstrem di Nusa Tenggara Timur sebagai daerah dengan luas kebakaran hutan paling tinggi di Indonesia, untuk mengetahui pola perilaku kejadian ekstrem suhu udara yang dapat digunakan sebagai langkah awal pencegahan terhadap peristiwa karhutla. Oleh karena itu, akan dilakukan estimasi parameter distribusi GEV menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* yang kemudian dihitung *return level* pada beberapa *return period*. Setelah itu, akan dilakukan evaluasi metode *Maximum Likelihood Estimation* untuk mengetahui kinerja metode tersebut dalam mengestimasi parameter distribusi GEV.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Extreme value theory atau biasa dikenal teori nilai ekstrem merupakan teori yang membahas tentang nilai-nilai ekstrem suatu peristiwa. EVT sangat erat kaitannya dengan fenomena alam seperti curah hujan, banjir, kecepatan angin, polusi udara, dan korosi (Kotz & Nadarajah, 2011). Namun tidak jarang pula EVT digunakan pada data eskترم yang

berhubungan dengan kegiatan ekonomi. Menurut Omev et al. (Omev et al., 2009) hal mendasar yang menjadi pembeda EVT dengan yang lain adalah tujuannya, yaitu menggambarkan perilaku tidak biasa dan jarang diamati dari fenomena stokastik. Terdapat dua pendekatan fundamental dalam EVT, yaitu metode *block maxima* (BM) dan metode *peaks-over-threshold* (POT). Pada metode *block maxima*, data yang akan diteliti dibagi menjadi beberapa periode pengamatan (blok) dengan panjang yang sama, sedangkan metode POT, akan dipilih nilai ambang batas tertentu (*threshold*) kemudian melihat berapa jumlah data yang telah melebihi *threshold* tersebut (Ferreira & De Haan, 2015). Pada metode POT keseluruhan data yang akan diteliti digunakan, sedangkan pada metode BM hanya menggunakan data maksimum. Metode BM akan mengikuti distribusi GEV (*Generalized Extreme Value*), sedangkan metode POT akan mengikuti distribusi GPD (*Generalized Pareto Distribution*).

Block maxima merupakan metode yang sering digunakan pada EVT untuk jenis data yang memiliki pengamatan berulang, seperti bulanan, tahunan, atau musiman (Zwonik, 2020). Menurut Ferreira & De Haan (Ferreira & De Haan, 2015), *block maxima* memanfaatkan data dengan membagi data menjadi kelompok-kelompok pengamatan (blok) dengan panjang yang sama serta membatasi pengamatan pada data maksimum. Selanjutnya blok-blok ini diamati untuk menentukan nilai maksimum untuk mendapatkan nilai ekstrem dari blok tersebut. Setelah itu, lakukan pembuatan deret *maxima* dari setiap nilai maksimum yang telah diperoleh. Deret *maxima* yang telah terbentuk akan dianalisis menggunakan pendekatan statistik, yaitu Distribusi *Generalized Extreme Value*.

Distribusi GEV merupakan distribusi pendekatan *block maxima*. Metode *block maxima* menerapkan teorema Fisher-Tippet (Minkah, 2016). Pada teorema tersebut dikatakan bahwa data nilai ekstrem yang diperoleh dari metode *block maxima* akan mengikuti distribusi *Generalized Extreme Value*. Jika terdapat konstanta $a_n > 0$ dan b_n sedemikian sehingga

$$\Pr \left\{ \frac{M_n - b_n}{a_n} \leq x \right\} \rightarrow F(x)$$

dimana $n \rightarrow \infty$ dan F adalah fungsi non-degenerasi. Dengan keterangan: M_n = nilai maksimum dari n pengamatan, n = jumlah data dalam satu blok (1, 2, ...), a_n = skala normalisasi, b_n = lokasi normalisasi, dan $F(x)$ = fungsi Distribusi *Generalized Extreme Value*

Terdapat tiga tipe distribusi GEV, yaitu distribusi Gumbel terjadi pada kondisi $\xi = 0$, distribusi Frechet terjadi pada kondisi $\xi > 0$, dan distribusi Weibull terjadi pada kondisi $\xi < 0$ (Coles, 2001). Ketiga bentuk distribusi ini memiliki perilaku berbeda, yang disesuaikan dengan perilaku bentuk ekor (*tail*). Dalam hal ini, parameter bentuk $\xi = 0$ dikatakan "*medium tail*", parameter bentuk $\xi > 0$ dikatakan "*long tail*", dan parameter bentuk $\xi < 0$ dikatakan "*short tail*". Berdasarkan hal di atas dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai ξ akan membuat bentuk ekor semakin berat. Selanjutnya Coles (2001) melakukan reformulasi terhadap ketiga bentuk distribusi di atas. Reformulasi dilakukan dengan menggabungkan ketiga tipe distribusi menjadi bentuk yang dikenal sebagai *cumulative distribution function*.

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, & -\infty < x < \infty, \xi \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}, & -\infty < x < \infty, \xi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Kemudian, *probability density function* (pdf) adalah sebagai berikut.

$$f(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \left\{ 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}^{-\frac{1}{\xi} - 1} \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, & \xi \neq 0, \\ \frac{1}{\sigma} \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \exp \left\{ - \exp \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\}, & -\infty < x < \infty, \xi = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Estimasi parameter distribusi GEV pada penelitian ini menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation*. *Maximum Likelihood Estimation* merupakan metode yang digunakan untuk mengestimasi parameter distribusi GEV, yaitu parameter *location* (μ), parameter *scale* (σ), dan parameter *shape* (ξ). Menurut Eka Kirana & Sofro (2024), fungsi *likelihood* merupakan sebuah fungsi probabilitas gabungan $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ yang dibentuk dari PDF distribusi GEV, dimana penggunaannya akan dimaksimalkan melalui metode *Maximum Likelihood Estimation*. Adapun persamaan *likelihood* ditunjukkan dalam Persamaan (3)

$$L(\mu, \sigma, \xi | x) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \mu, \sigma, \xi) \\ = \left(\frac{1}{\sigma} \right)^n \prod_{i=1}^n \left(\left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1}{\xi} + 1\right)} \right) \exp \left(- \sum_{i=1}^n \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right) \quad (3)$$

Untuk mempermudah perhitungan, akan digunakan fungsi *log-likelihood*, yaitu dengan membuat logaritma natural dari persamaan di atas sehingga menjadi persamaan berikut ini.

$$l(\mu, \sigma, \xi | x) = \ln L(\mu, \sigma, \xi | x)$$

$$l(\mu, \sigma, \xi | x) = -n \ln \sigma - \left(\frac{1}{\xi} + 1 \right) \sum_{i=1}^n \ln \left(1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right) - \sum_{i=1}^n \left(1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (4)$$

Setelah membuat fungsi *log-likelihood*, dapat dibuat turunan pertama dari persamaan *log-likelihood* tersebut menggunakan metode numerik *Newton Raphson*.

Setelah melakukan estimasi parameter, dapat dilakukan perhitungan *return level*. *Return level* atau tingkat pengembalian diartikan sebagai nilai maksimum yang diprediksi akan terjadi di masa depan. *Return level* erat kaitannya dengan *return period*. *Return period* adalah pengembalian waktu dari *return level* yang diprediksi. Menurut Coles (2001), *return level* didapatkan dari menginverskan Persamaan (1)

$$x_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \{-\ln(1 - p)\}^{-\xi} \right], & \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \ln\{-\ln(1 - p)\}, & \xi = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Dengan $F(x_p) = 1 - p$, x_p adalah *return level*, sedangkan $p = \frac{1}{k}$ adalah *return period*, dengan k menunjukkan jumlah blok yang terbentuk.

Setelah melakukan estimasi parameter distribusi GEV dan menghitung *return level*, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi kinerja *Maximum Likelihood Estimation*. Evaluasi kinerja ini akan menggunakan evaluasi metrik yaitu *Root Mean Square Error* dan *Mean Absolute Error*. RMSE adalah metode evaluasi yang digunakan untuk mengetahui seberapa baik model tersebut dalam memprediksi data dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad (6)$$

Dengan x_i : nilai aktual, \hat{x}_i : nilai prediksi, dan n : jumlah total observasi. Sedangkan MAE adalah evaluasi model yang digunakan untuk mengukur kesalahan prediksi dan nilai aktual dari nilai absolut kesalahan dengan rumus sebagai berikut.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \hat{x}_i| \quad (7)$$

Dengan x_i : nilai aktual, \hat{x}_i : nilai prediksi, dan n : jumlah total observasi. Nilai prediksi pada kedua metrik diambil dari nilai estimasi parameter distribusi GEV yang kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan (1). Semakin rendah nilai RMSE dan MAE menunjukkan bahwa prediksi model semakin mendekati nilai aktual, yang artinya estimasi parameter distribusi GEV yang dilakukan oleh pendekatan tersebut memiliki keakuratan yang baik.

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Variabel penelitian adalah suhu udara ($^{\circ}C$). Data yang digunakan adalah data suhu udara maksimum dari Januari 2020 hingga Desember 2024 untuk memprediksi suhu udara di Nusa Tenggara Timur yang akan digunakan untuk memproyeksi data ekstrem di masa yang akan datang, tepatnya pada tahun 2025, 2026, 2027, dan 2028. Data yang digunakan diambil dari Stasiun Meteorologi Tardamu yang terletak di Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur.

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

- 1) Identifikasi data suhu udara harian melalui statistika deskriptif
- 2) Menentukan nilai ekstrem dari data suhu udara menggunakan metode *block maxima*
- 3) Setelah nilai ekstrem didapatkan, lakukan estimasi parameter distribusi GEV menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation*
- 4) Lakukan perhitungan *return level* pada periode pengembalian waktu tahun 2025, 2026, 2027, dan 2028.
- 5) Lakukan evaluasi kinerja metode menggunakan *Root Mean Square Error* dan *Mean Absolute Error*. Lakukan analisis dari hasil yang didapatkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan hasil statistika deskriptif data harian suhu udara di Nusa Tenggara Timur dalam kurun waktu 2020-2024.

Tabel 1. Statistika Deskriptif Data Suhu Udara Harian di Nusa Tenggara Timur

<i>Mean</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Med.</i>	<i>Std. dev.</i>
32,38	27,20	37,10	32,40	1,2720

Statistika deskriptif data harian suhu udara menampilkan nilai *mean*, nilai minimum, nilai maksimum, nilai median, dan standar deviasi. Dapat diketahui bahwa suhu udara paling maksimum di Nusa Tenggara Timur dalam kurun waktu 2020-2024 adalah $37,10^{\circ}C$, sedangkan suhu udara terendah adalah $27,20^{\circ}C$. Hasil statistika deskriptif ini mengindikasikan bahwa data harian suhu udara memiliki rata-rata yang relatif rendah dan standar deviasi yang cukup kecil, sehingga persebaran data cukup merata dan mendekati rata-rata suhu udara.

Setelah melakukan identifikasi data harian suhu udara, akan dilakukan pengambilan nilai ekstrem data suhu udara menggunakan metode *block maxima*. Menurut Ferreira & De Haan (2015), *block maxima* memanfaatkan data dengan membagi data menjadi kelompok

(blok) tertentu dengan panjang yang sama dan membatasi pengamatan pada data maksimum. Pembagian blok data akan didasarkan pada periode bulan. Hal ini disebabkan oleh suhu udara dalam satu bulan memiliki suhu dengan nilai paling maksimum, sehingga nilai tersebut diproyeksikan sebagai nilai ekstrem suhu udara setiap bulannya. Dalam satu tahun terdapat 12 blok, sehingga dalam kurun waktu 5 tahun (2020-2024) terdapat $12 \times 5 = 60$ blok. Dari 60 blok yang telah terbentuk akan diambil satu nilai yang paling ekstrem. Penulisan data ekstrem dapat ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 2. Hasil *Block Maxima*

Blok	Suhu	Blok	Suhu	Blok	Suhu
1	33,5	21	34,2	41	33
2	33,7	22	35,6	42	33,2
3	34,2	23	34,7	43	31,8
4	35,2	24	34,4	44	32,9
5	34,4	25	33,4	45	34
6	32,2	26	33,2	46	35,6
7	32,2	27	34,4	47	35,8
8	34,4	28	34,6	48	35
9	34,8	29	34,2	49	35,6
10	35,2	30	34,1	50	35,3
11	33	31	32	51	33,6
12	33,3	32	33,4	52	34
13	33	33	34	53	34,3
14	32,5	34	34,6	54	33,8
15	32,6	35	34	55	33,6
16	33,2	36	33,4	56	33,6
17	33,7	37	32,8	57	34,4
18	32,9	38	32,5	58	36,6
19	32,9	39	33,8	59	37,1
20	32	40	33,4	60	33,6

Selanjutnya akan dilakukan estimasi parameter distribusi GEV menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* menggunakan persamaan (4). Berikut ini disajikan hasil estimasi ketiga parameter.

Tabel 3. Hasil Estimasi Parameter Distribusi GEV

<i>Location</i> (μ)	<i>Scale</i> (σ)	<i>Shape</i> (ξ)
33,4577966	0,9666215	-0,1267455

Dari hasil estimasi, diketahui bahwa estimasi parameter *location* (μ) sebesar 33,4577966 yang menunjukkan pusat distribusi suhu udara ekstrem berada pada suhu 33,4577966°C. Selanjutnya parameter *scale* (σ) sebesar 0,9666215 yang menunjukkan variasi suhu udara tidak terlalu banyak, dan parameter *shape* (ξ) sebesar -0,1267455 yang menunjukkan bahwa distribusi tersebut memiliki bentuk ekor pendek (*short tail*) yang mengikuti Distribusi Weibull. Oleh karena itu, suhu udara ekstrem akan sangat kecil

kemungkinannya karena pada jenis ekor tersebut memiliki batas atas suhu udara ekstrem sendiri.

Setelah mendapatkan nilai estimasi parameter, dapat dilakukan perhitungan *return level* untuk periode tahun 2025, 2026, 2027, dan 2028 menggunakan persamaan (5).

Tabel 4. *Return Level* pada Tahun 2025-2028

Tahun	<i>Return Level</i> (°C)
2025	35,48773
2026	35,97269
2027	36,23314
2028	36,40894

Tabel di atas menunjukkan hasil *return level* dari estimasi yang dilakukan oleh metode MLE berfluktuasi dari 35,48773°C hingga mencapai 36,40894°C pada tahun 2028. Tingginya *return level* ini dapat menjadi acuan bagi Provinsi Nusa Tenggara Timur untuk melakukan pencegahan terhadap bencana karhutla yang terjadi di wilayah tersebut. Setelah melakukan perhitungan *return level*, dapat dilakukan evaluasi kinerja metode menggunakan *Root Mean Square Error* dan *Mean Absolute Error* yang disesuaikan pada persamaan (6) dan (7).

Tabel 5. Hasil RMSE dan MAE

<i>Root Mean Square Error</i>	<i>Mean Absolute Error</i>
0,234036	0,2315868

Berdasarkan perhitungan evaluasi kinerja yang dilakukan oleh RMSE dan MAE, diketahui bahwa MLE memberikan model yang cukup akurat dalam merepresentasikan distribusi suhu ekstrem di Nusa Tenggara Timur. Nilai yang rendah tersebut menunjukkan prediksi model yang dilakukan mendekati nilai aktual data. Sehingga, dapat dikatakan bahwa prediksi suhu ekstrem yang dilakukan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* memberikan hasil yang akurat.

5. KESIMPULAN

Pada penelitian prediksi suhu udara menggunakan *Extreme Value Theory* yang dilakukan oleh *Maximum Likelihood Estimation* ini memberikan hasil *return level* yang berfluktuasi, yaitu 35,48773°C pada tahun 2025, 35,97269°C pada tahun 2026, 36,23314°C pada tahun 2027, dan 36,40894°C pada tahun 2028. Evaluasi kinerja metode yang dilakukan oleh *Root Mean Square Error* dan *Mean Absolute Error* memberikan hasil bahwa prediksi yang dilakukan oleh *Maximum Likelihood Estimation* merupakan prediksi yang akurat sehingga dapat dijadikan sebagai acuan perencanaan mitigasi bencana karhutla di Nusa Tenggara Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R. (2024). *Analisis Suhu Panas dan Potensi Cuaca Signifikan di Sebagian Wilayah di Indonesia Sepekan ke Depan*. <https://www.bmkg.go.id/siaran-pers/analisis-suhu-panas-dan-potensi-cuaca-signifikan-di-sebagian-wilayah-indonesia-sepekan-ke-depan>
- Ahmad, T., Ahmad, I., Arshad, I. A., & Bianco, N. (2022). A comprehensive study on the Bayesian modelling of extreme rainfall: A case study from Pakistan. *International Journal of Climatology*, 42(1), 208–224. <https://doi.org/10.1002/joc.7240>

- Bendi, M. I., & Kaesmetan, Y. R. (2024). Informasi Peringatan Dini Potensi Kekeringan Meteorologis Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Sistem Informasi (JIKOMSI)*, 7(1), 46–54. <https://doi.org/10.55338/jikomsi.v7i1.2346>
- BNPB. (2022). *Definisi Bencana*. <https://bnpb.go.id/definisi-bencana>
- BNPB. (2024a). *Informasi Bencana*. <https://bnpb.go.id/informasi-bencana>
- BNPB. (2024b). *Potensi ancaman bencana*. <https://dev.bnpb.go.id/potensi-ancaman-bencana>
- Coles, S. (2001). *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer-Verlag London Berlin Heidelberg.
- Eka Kirana, A., & Sofro, A. (2024). PREDIKSI KELEMBABAN DAN CURAH HUJAN MAKSIMUM DI KABUPATEN MALANG MENGGUNAKAN BIVARIATE EXTREME VALUE LOGISTIC. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(03).
- Ferreira, B. Y. A., & De Haan, L. (2015). On the block maxima method in extreme value theory: PWM estimators. *Annals of Statistics*, 43(1), 276–298. <https://doi.org/10.1214/14-AOS1280>
- Habibulloh, W., & Sofro, A. (2023). Prediksi Suhu Udara Di Jawa Tengah Menggunakan Extreme Value Theory. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(3), 489–495. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v11n3.p489-495>
- Kotz, S., & Nadarajah, S. (2011). *Extreme Value Distributions Theory and Applications*. In *International Encyclopedia of Statistical Science*. Imperial College Press.
- Minkah, R. (2016). An application of extreme value theory to the management of a hydroelectric dam. *SpringerPlus*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-1719-2>
- Nazmi, N., Saipol, H. F. S., Yusof, F., Mazlan, S. A., Rahman, M. A. A., Nordin, N. A., Johari, N., & Aziz, S. A. A. (2020). Parameter Estimation of Extreme Rainfall Distribution in Johor using Bayesian Markov Chain Monte Carlo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 479(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/479/1/012019>
- Omey, E., Mallor, F., & Eulalia Nualart. (2009). An introduction to statistical modelling of extreme values. Application to calculate extreme wind speeds. *Hub Research Paper*, November, 45.
- Vivekanandan, N. (2020). Selection of Best Fit of Extreme Value Family of Distributions for Frequency Analysis of River Flow Data. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 7(5), 13–18.
- Wacana, P. (2014). Bencana Ekologis Sebagai Dampak Perubahan Iklim Global dan Upaya Peredaman Risiko Bencana. *Badan Penanggulangan Bencana Daerah*. <https://bpbdbulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/bencana-ekologi-sebagai-dampak-perubahan-iklim-global-dan-upaya-peredaman-risiko-bencana-1>
- Zwonik, C. P. (2020). *Northeastern United States using the Method of Block Maxima Assessing Trends in Future Precipitation Extremes in the Northeastern United States using the Method of Block Maxima*.