

Prediksi Curah Hujan Menggunakan Metode *Holt-Winters* di Kabupaten Sumbawa

Romi Aprianto^{1*}, Akbar Tawaqqal², dan Permata Ayu Dwi Puspitasari³

¹ Pendidikan Fisika, Universitas Samawa Sumbawa

² Teknis Industri, Universitas Mataram

³ Sekolah Dasar Islam Terpadu Darus Sunnah Sumbawa

*E-mail: romiaprianto.sumbawa@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini memprediksi curah hujan bulanan (November 2024 – Oktober 2025) di Kabupaten Sumbawa menggunakan metode Holt-Winters. Data curah hujan dari November 2000 – Oktober 2024 menunjukkan pola musiman yang stabil, sehingga model aditif dipilih. Uji stasioneritas ADF dan KPSS mengonfirmasi bahwa data memenuhi syarat pemodelan aditif. Hasil evaluasi menunjukkan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 45.88 mm dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 63.07 mm, yang mengindikasikan akurasi prediksi yang baik. Model ini memprediksi curah hujan tertinggi pada Desember hingga Maret dan terendah pada Juni hingga September. Informasi ini relevan untuk perencanaan mitigasi banjir dan manajemen air selama musim kemarau. Model memiliki keterbatasan dalam menangani variabilitas iklim eksternal sehingga perlu dilakukan integrasi variabel tambahan untuk meningkatkan akurasi dan adaptabilitas terhadap perubahan iklim yang lebih kompleks.

Kata kunci: Curah Hujan, Holt-Winters, Prediksi Musiman, Mitigasi Banjir, Kekeringan

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terletak di kawasan tropis, sangat rentan terhadap berbagai bencana alam, salah satunya adalah bencana hidrometeorologi seperti banjir dan longsor (Haryanto dkk., 2020; Ramadhan dkk., 2022). Bencana-bencana ini sering kali dipicu oleh curah hujan yang ekstrem dalam waktu singkat (Tichavský dkk., 2019; Tichavský, 2023). Untuk mengurangi risiko kerugian yang diakibatkan oleh bencana tersebut, diperlukan upaya mitigasi yang efektif. Salah satu langkah penting dalam mitigasi bencana adalah melakukan prediksi terhadap curah hujan atau tingkat presipitasi (Aprianto dkk., 2024). Dengan adanya prediksi yang akurat, pemerintah dan masyarakat dapat mengambil langkah-langkah antisipasi yang tepat, seperti membangun sistem peringatan dini, melakukan evakuasi, dan mempersiapkan logistik (Tamaji dkk., 2022). Kabupaten Sumbawa, sebagai salah satu daerah di Indonesia yang memiliki potensi bencana hidrometeorologi, sangat membutuhkan informasi yang akurat mengenai prediksi curah hujan. Data curah hujan yang telah tercatat selama beberapa tahun terakhir menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup signifikan. Fluktuasi ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti perubahan iklim, aktivitas manusia, dan faktor geografis (Dore, 2005; Wu dkk., 2017). Untuk memahami pola fluktuasi curah hujan di Kabupaten Sumbawa dan memprediksi kejadian di masa mendatang, diperlukan metode analisis yang tepat.

Metode *Holt-Winters* merupakan salah satu metode peramalan yang populer dan sering digunakan dalam analisis deret waktu (Swapnarekha dkk., 2021). Metode ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dalam memprediksi data yang memiliki pola musiman dan tren. Beberapa alasan pemilihan metode *Holt-Winters* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) kemampuan menangkap pola musiman, curah hujan merupakan fenomena yang bersifat musiman (Brito dkk., 2021; Shao dkk., 2023). Metode *Holt-Winters* dapat dengan baik menangkap pola musiman yang terdapat dalam data curah hujan, sehingga hasil prediksi yang dihasilkan lebih akurat; (b) kemampuan menangkap tren, selain pola musiman, data curah hujan juga seringkali menunjukkan adanya tren, baik itu tren meningkat maupun menurun (Dewi & Listiowarni, 2020). Metode *Holt-Winters* dapat mengakomodasi adanya tren dalam data, sehingga hasil prediksi menjadi lebih relevan; (c) tingkat akurasi yang tinggi, berdasarkan berbagai penelitian sebelumnya, metode *Holt-Winters* telah terbukti memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam memprediksi data deret waktu, termasuk data curah

hujan (Tratar & Strmčnik, 2016; Sulaiman & Juarna, 2021); (d) relatif sederhana, meskipun memiliki kemampuan yang baik dalam menangkap pola yang kompleks, metode *Holt-Winters* relatif mudah untuk dipahami dan diimplementasikan, baik secara manual maupun menggunakan perangkat lunak statistik (Ristiyasari & Ahdika, 2024).

Prediksi curah hujan telah menjadi fokus berbagai penelitian dengan beragam pendekatan metodologis. Penelitian yang dilakukan oleh Sinay dkk (2017) mengkaji peramalan curah hujan bulanan di Kota Ambon menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing*. Data yang digunakan adalah curah hujan bulanan dari Januari 2005 hingga Desember 2016. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *Holt-Winters* berdasarkan metode musiman perkalian adalah yang paling sesuai untuk meramalkan curah hujan di Kota Ambon. Hutapea & Siahaan (2023) juga mengkaji peramalan curah hujan di Kabupaten Padang Lawas Utara menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model aditif memiliki nilai MAPE yang paling rendah, sehingga dapat digunakan untuk meramalkan curah hujan dengan akurasi yang baik. Penelitian lainnya dilakukan oleh Aini dkk (2022) meramalkan rata-rata curah hujan bulanan di Pasuruan menggunakan metode *Holt-Winters Exponential Smoothing*. Data yang digunakan adalah curah hujan bulanan dari tahun 2015 hingga 2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model *multiplicative* cukup baik dalam melakukan prediksi rata-rata curah hujan di Pasuruan. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Dhamodharavadhani & Rathipriya (2019) yang meramalkan curah hujan menggunakan metode *Holt-Winters* menunjukkan bahwa metode tersebut menghasilkan hasil prediksi yang lebih akurat. Wiguna dkk (2023) juga melakukan penelitian peramalan curah hujan menggunakan metode *Holt-Winters*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode *Holt-Winters* cukup baik dalam memprediksi curah hujan. Penelitian lain jga pernah dilakukan oleh Pertiwi (2020) menunjukkan bahwa metode *exponential smooting (Holt-Winters)* cukup baik dalam memprediksi curah hujan untuk periode 12 bulan berikutnya. Aspek lain yang menarik diungkap dalam penelitian Kumar dkk (2024) adalah kemampuan metode *Holt-Winters* dalam menangani *outlier* dan perubahan pola musiman yang tidak regular. Hal ini sangat relevan mengingat perubahan iklim global telah menyebabkan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem yang dapat mempengaruhi pola curah hujan normal. Berdasarkan kajian literatur di atas, dapat disimpulkan bahwa metode *Holt-Winters* memiliki potensi yang besar dalam prediksi curah hujan, terutama di wilayah dengan karakteristik iklim monsun seperti wilayah Sumbawa. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya dalam menangani komponen musiman dan tren, serta efisiensi dalam implementasi.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Sumbawa menggunakan metode *Holt-Winters*. Secara spesifik, penelitian ini bertujuan untuk: (a) menganalisis pola musiman dan tren curah hujan di Kabupaten Sumbawa; (b) mengembangkan model prediksi curah hujan menggunakan metode *Holt-Winters*; dan (c) mengevaluasi kinerja model prediksi yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya mitigasi bencana hidrometeorologi di Kabupaten Sumbawa.

METODE/EKSPERIMEN

Penelitian ini termasuk dalam penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan prediktif. Penelitian ini menggunakan data numerik dan melakukan analisis statistik untuk memahami pola musiman dalam data curah hujan di Kabupaten Sumbawa.

Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historis curah hujan bulanan di Kabupaten Sumbawa dari bulan November 2000 sampai Oktober 2024 (Tabel 1). Data historis curah hujan tersebut diunduh dari halaman <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Tahapan prediksi curah hujan bulanan dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python.

Tabel 1. Data historis curah hujan bulanan di Kabupaten Sumbawa

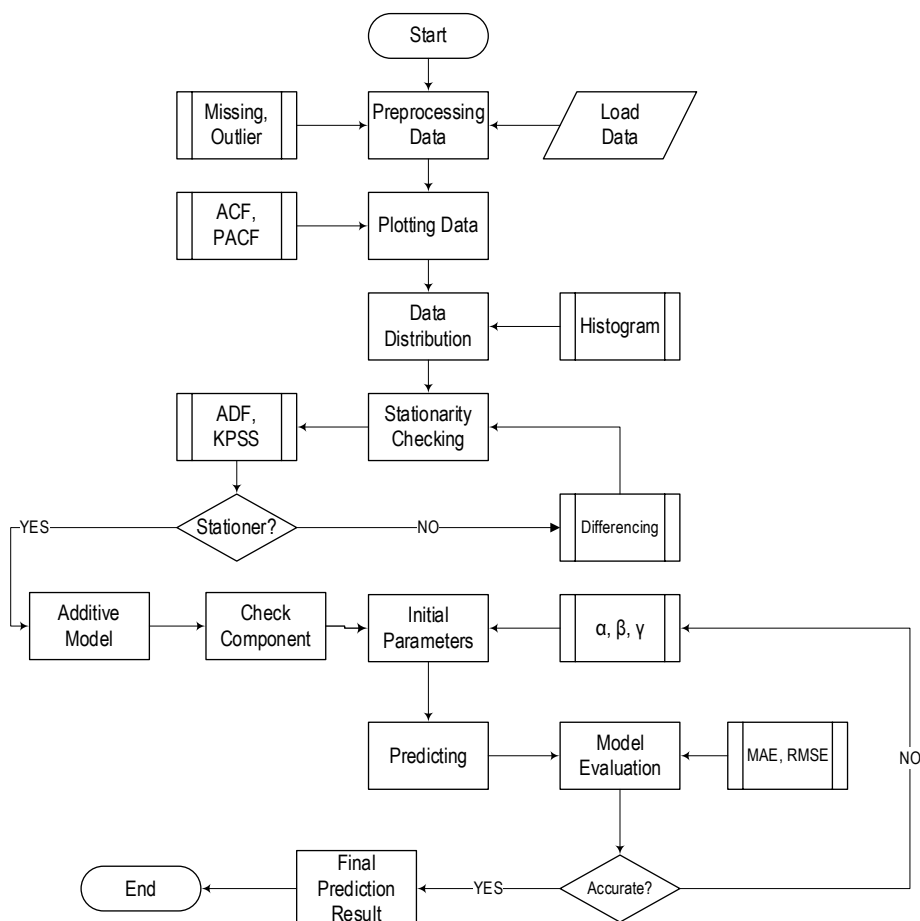
Tahun	Curah Hujan (mm)											
	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt
2000 - 2001	242,58	116,02	152,93	195,12	147,66	110,74	5,27	63,28	0,00	0,00	0,00	47,46
2001 - 2002	179,30	121,29	179,30	316,41	258,40	116,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2002 - 2003	73,83	311,13	274,22	342,77	137,11	110,74	15,82	0,00	0,00	0,00	0,00	21,09
2003 - 2004	126,56	200,39	152,93	232,03	116,02	0,00	105,47	0,00	0,00	0,00	0,00	5,27
2004 - 2005	174,02	205,66	84,38	126,56	174,02	163,48	0,00	26,37	0,00	5,27	0,00	63,28
2005 - 2006	100,20	179,30	216,21	237,30	195,12	158,20	63,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006 - 2007	15,82	279,49	52,73	152,93	337,50	121,29	15,82	15,82	0,00	0,00	0,00	10,55
2007 - 2008	110,74	284,77	216,21	232,03	174,02	52,73	10,55	47,46	0,00	0,00	5,27	63,28
2008 - 2009	142,38	279,49	195,12	242,58	89,65	84,38	36,91	0,00	10,55	0,00	10,55	15,82
2009 - 2010	58,01	116,02	406,05	131,84	94,92	47,46	126,56	0,00	116,02	10,55	216,21	94,92
2010 - 2011	210,94	342,77	253,12	189,84	163,48	226,76	147,66	0,00	0,00	0,00	0,00	5,27
2011 - 2012	179,30	174,02	290,04	89,65	369,14	42,19	73,83	0,00	0,00	0,00	0,00	10,55
2012 - 2013	73,83	221,48	406,05	337,50	100,20	89,65	116,02	110,74	10,55	0,00	0,00	10,55
2013 - 2014	116,02	284,77	237,30	105,47	79,10	100,20	21,09	5,27	21,09	0,00	0,00	0,00
2014 - 2015	126,56	237,30	142,38	163,48	189,84	195,12	47,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015 - 2016	42,19	195,12	268,95	406,05	147,66	79,10	52,73	105,47	47,46	0,00	131,84	137,11
2016 - 2017	168,75	358,59	348,05	337,50	242,58	174,02	26,37	36,91	5,27	0,00	0,00	94,92
2017 - 2018	311,13	226,76	332,23	174,02	179,30	15,82	0,00	15,82	0,00	52,73	10,55	0,00
2018 - 2019	168,75	174,02	363,87	210,94	284,77	116,02	10,55	0,00	0,00	0,00	5,27	5,27
2019 - 2020	36,91	126,56	237,30	200,39	247,85	42,19	105,47	0,00	0,00	0,00	0,00	58,01
2020 - 2021	142,38	316,41	300,59	342,77	174,02	95,01	21,97	61,23	8,70	11,91	72,10	110,18
2021 - 2022	318,78	283,03	272,49	197,95	183,58	96,56	47,88	59,97	14,95	12,07	29,79	193,85
2022 - 2023	215,56	245,84	183,54	286,65	158,28	119,71	14,05	16,90	75,10	24,40	11,57	9,78
2023 - 2024	89,15	195,88	179,74	193,65	244,77	140,94	6,90	13,21	64,68	16,48	29,57	23,58

Tahapan Prediksi Curah Hujan

Prediksi curah hujan dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Langkah pertama yang dilakukan adalah prapemrosesan data, yaitu proses pengecekan dan pembersihan data curah hujan untuk memastikan dan mengatasi adanya *missing data* atau data *outlier*. Setelah *missing data* dan data *outlier* diatasi, selanjutnya data di-plot untuk melihat pola, tren, dan musiman dari data. *Plotting* yang digunakan adalah *plot ACF (Autocorrelation Function)* dan *PACF (Partial Autocorrelation Function)*. *Plot ACF* dan *PACF* membantu mengidentifikasi pola musiman dan *lag* pada data. *ACF* menunjukkan derajat korelasi antar *lag*, yang bisa mengonfirmasi adanya pola musiman pada interval tertentu. Jika terdapat lonjakan yang signifikan pada lag ke-12 pada plot *ACF*, ini memperkuat bahwa data memiliki komponen musiman tahunan. Selanjutnya adalah melihat distribusi data, tujuannya untuk dijadikan dasar dalam menentukan metode statistik yang tepat untuk digunakan dalam analisis dan pemodelan. Distribusi data dibuat dalam bentuk histogram. Langkah selanjutnya adalah dilakukan tes stasioneritas, tujuannya adalah untuk memastikan bahwa data curah hujan adalah stasioner. Jika data tidak stasioner, maka dilakukan *differencing* untuk mentransformasikan data menjadi stasioner. Uji stasioneritas dilakukan dengan statistik *Augmented Dickey-Fuller (ADF)*, dimana jika nilai *p-value* < 0,05, maka data dianggap stasioner, dan *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)*, dimana jika *p-value* > 0,05, maka data dianggap stasioner.

Tahap selanjutnya adalah pemilihan model, yaitu model aditif. Model aditif dipilih karena data curah hujan menunjukkan pola yang stabil dalam tren dan musiman tanpa perubahan besar. Dengan model aditif, perubahan musiman diperlakukan sebagai penjumlahan terhadap level dan trend, sesuai untuk data yang tidak seluruhnya positif atau data yang bersifat linier. Berikutnya adalah cek komponen,

yaitu komponen tren, level, dan seasonal. Komponen level merepresentasikan nilai dasar atau rata-rata umum dari data curah hujan bulanan yang diperbarui secara bertahap oleh model terhadap waktu dan menjadi titik acuan utama dalam perhitungan prediksi. Komponen tren menunjukkan kecenderungan jangka panjang dalam data, apakah curah hujan rata-rata meningkat, menurun, atau stabil. Komponen seasonal merepresentasikan variasi musiman atau pola yang berulang setiap tahun. Ini menunjukkan bulan-bulan mana yang biasanya mengalami peningkatan atau penurunan curah hujan.



Gambar 1. Diagram alir prediksi curah hujan

Tahapan berikutnya adalah penentuan parameter *smoothing*, yaitu α , β , dan γ . α mengontrol seberapa cepat model memperbarui nilai level atau rata-rata dasar dari data seiring berjalannya waktu. β mengendalikan seberapa cepat komponen tren diperbarui dalam model, yaitu bagaimana model merespons perubahan dalam arah data jangka panjang. γ mengontrol seberapa cepat model memperbarui komponen seasonal atau musiman. Selanjutnya adalah prediksi curah hujan bulanan dari bulan Nopember 2024 sampai Oktober 2025. Evaluasi model dilakukan untuk melihat kualitas dari model prediksi. Evaluasi dilakukan menggunakan MAE (*Mean Absolute Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Apabila hasil evaluasi model belum akurat, parameter *smoothing* harus dimodifikasi. Apabila hasil evaluasi sudah akurat, hasil prediksi selanjutnya dianalisis dan diinterpretasi.

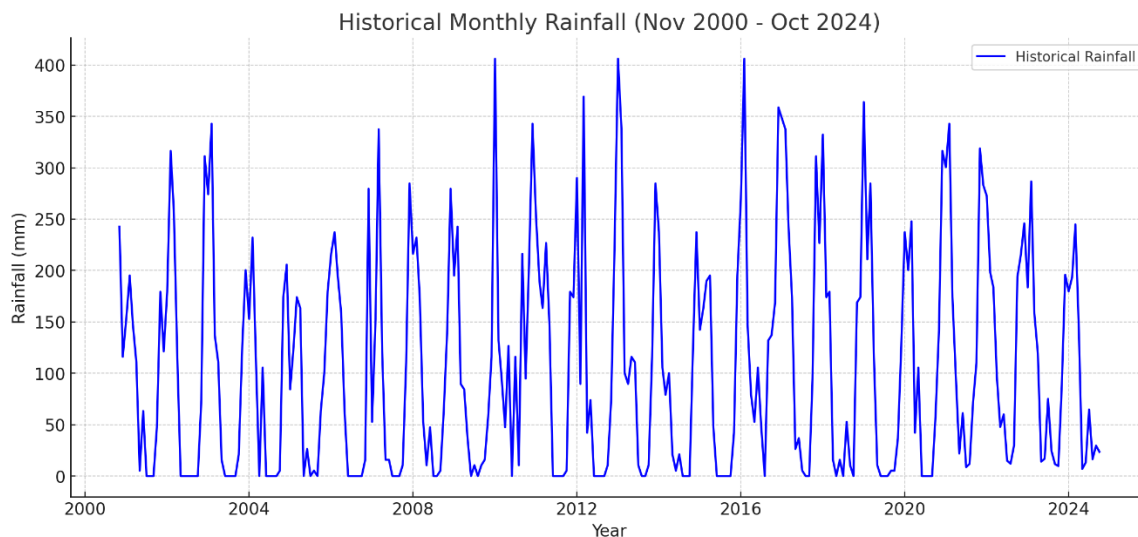
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Prapemrosesan data

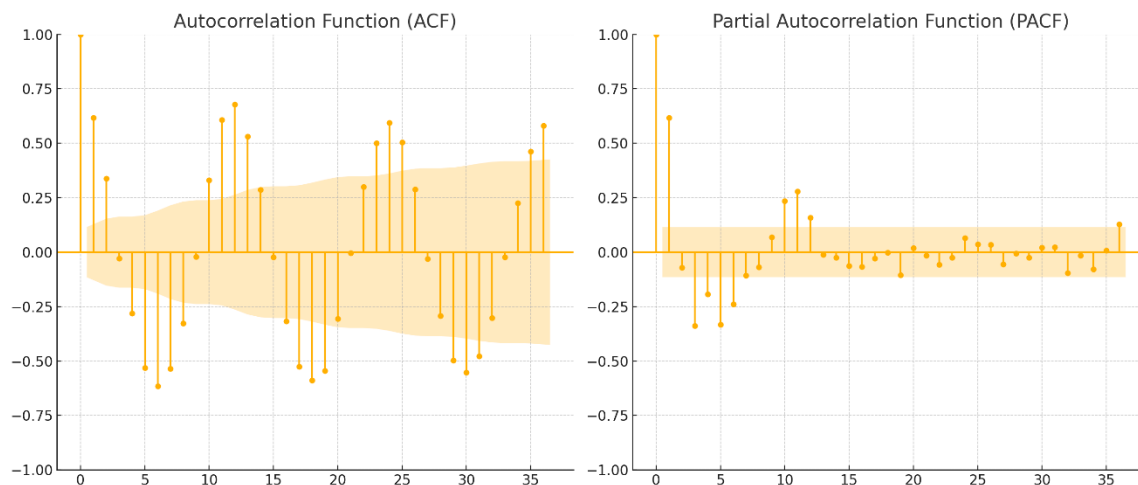
Berdasarkan hasil pengecekan diketahui bahwa tidak terdapat *missing data* pada data historis

curah hujan bulanan yang digunakan. Data *outlier* juga tidak ditemukan dalam data curah hujan tersebut berdasarkan ambang batas Z-score > 3, artinya Z-score seluruh data curah hujan bulanan berada dibawah 3. Dengan demikian data curah hujan bulanan ini bersih dari *missing data* dan nilai ekstrem yang signifikan. Pola curah hujan dari November 2000 sampai Oktober 2024 seperti pada Gambar 2 menunjukkan adanya peningkatan dan penurunan curah hujan pada waktu-waktu tertentu tiap tahun. Pola ini menunjukkan adanya fluktuasi musiman yang berulang.



Gambar 2. Pola curah hujan di Kabupaten Sumbawa (November 2000 – Oktober 2024)

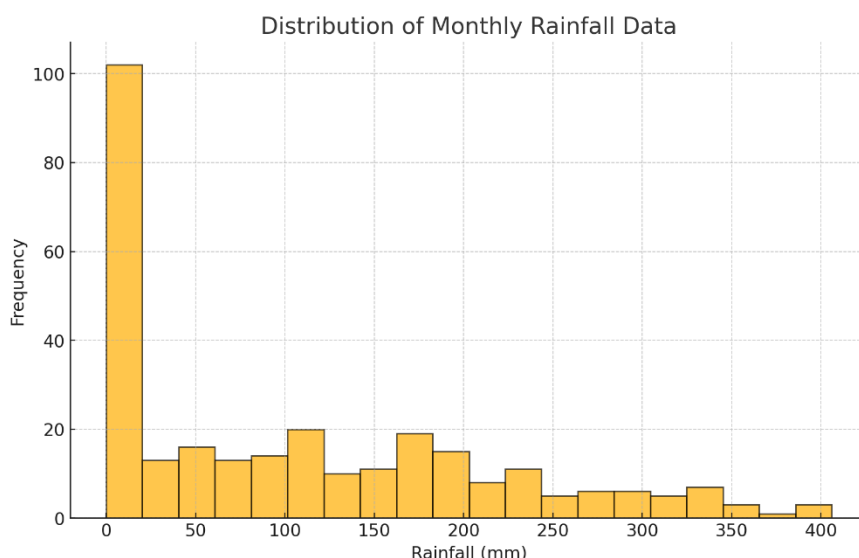
2. Plotting data (ACF dan PACF)



Gambar 3. Plot ACF dan PACF

Berdasarkan *plot* ACF pada Gambar 3 terdapat puncak signifikan pada beberapa *lag*, terutama pada interval sekitar *lag* 12. Ini menunjukkan adanya pola musiman tahunan, di mana curah hujan cenderung berulang pada bulan yang sama setiap tahun. *Plot* PACF menunjukkan beberapa *lag* dengan korelasi parsial yang signifikan, terutama pada *lag* awal. Puncak pada *lag* 12 pada PACF juga menunjukkan adanya pola musiman tahunan. Hasil *plot* ACF dan PACF ini menunjukkan bahwa penggunaan model yang dapat menangani komponen musiman, yaitu Holt-Winters layak untuk digunakan.

3. Distribusi data



Gambar 4. Distribusi data curah hujan bulanan

Histogram pada Gambar 4 menunjukkan bahwa distribusi curah hujan bulanan cenderung mendekati bentuk *positively skewed* atau *right-skewed*, artinya sebagian besar data berkumpul pada nilai curah hujan yang lebih rendah, dengan sedikit nilai yang berada di kisaran yang lebih tinggi.

4. Uji Stasioneritas

Hasil uji ADF yang dilakukan, diperoleh nilai statistik ADF sebesar -3.195 dengan *p-value* sebesar 0.020, yang lebih kecil dari tingkat signifikansi 0.05. Dengan *p-value* di bawah 0.05, data dianggap stasioner pada tingkat signifikansi 5%. Artinya, data curah hujan bulanan ini tidak memiliki tren naik atau turun yang tidak terkendali dan dapat digunakan dalam model Holt-Winters yang mengandalkan pola musiman stabil. Sedangkan hasil uji KPSS, diperoleh nilai statistik KPSS sebesar 0.102 dengan *p-value* > 0.1, yang lebih besar dari tingkat signifikansi 0.05. Dengan *p-value* di atas 0.05, data dianggap stasioner. Berdasarkan uji ADF dan KPSS mengindikasikan bahwa data curah hujan bulanan ini bersifat stasioner, sehingga cocok untuk diproses dengan model berbasis pola musiman seperti metode Holt-Winters.

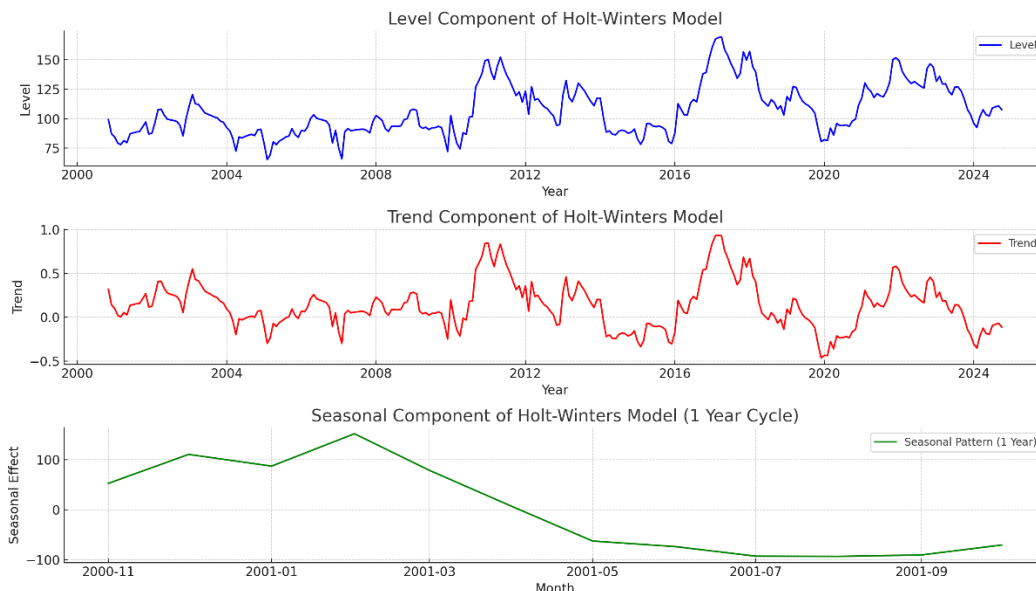
5. Pemilihan Model

Model aditif dipilih dalam penelitian ini karena beberapa alasan, (i) data historis curah hujan bulanan yang digunakan terdapat data yang tidak positif (0), sehingga model multiplikatif yang mensyaratkan semua data harus positif (>0) tidak bisa digunakan; (ii) data curah hujan menunjukkan pola yang stabil dalam tren dan musiman tanpa perubahan besar dalam skala fluktuasi musiman.

6. Cek Komponen (Tren, Level, dan Seasonal)

Gambar 5 menunjukkan tiga komponen utama dalam model Holt-Winters, yaitu Level, Tren, dan Seasonal. Komponen level memberikan titik acuan dasar yang stabil, trend menunjukkan tidak adanya perubahan jangka panjang yang signifikan, dan seasonal menunjukkan pola musiman yang kuat dengan siklus yang berulang setiap tahun. Dalam grafik, komponen level terlihat mengalami sedikit fluktuasi, yang menunjukkan bahwa curah hujan bulanan secara keseluruhan tetap berada dalam rentang tertentu tanpa lonjakan signifikan yang konstan. Variasi level yang stabil ini menunjukkan bahwa meskipun ada pola musiman yang mempengaruhi curah hujan, nilai rata-rata tahunannya relatif konsisten dari waktu ke waktu. Komponen tren bergerak dengan fluktuasi kecil namun stabil, yang menunjukkan bahwa tidak ada lonjakan atau penurunan jangka panjang yang signifikan dalam curah hujan bulanan. Komponen Seasonal menunjukkan fluktuasi bulanan yang sangat jelas, dengan beberapa bulan secara konsisten mengalami curah hujan lebih tinggi

dibandingkan yang lain.



Gambar 5. Komponen level, trend, dan sesaonal dalam model Holt-Winters

7. *Parameter Smoothing*

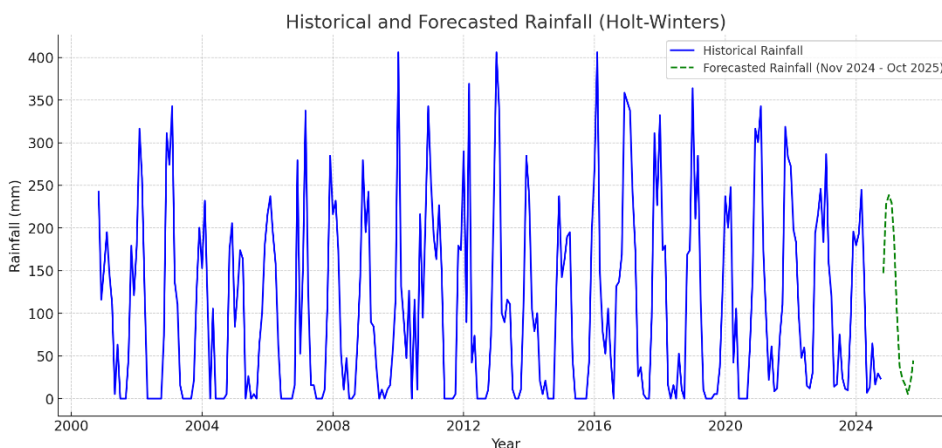
Nilai α yang digunakan dalam model ini setelah dilakukan optimasi adalah sebesar 0.122, nilai β sebesar 0.015, dan nilai γ adalah sebesar 0.073. Nilai *parameter smoothing* α , β , dan γ yang rendah menunjukkan bahwa model ini memprioritaskan stabilitas dalam level, tren, dan pola musiman. Model tidak terlalu responsif terhadap fluktuasi jangka pendek atau perubahan mendadak dalam data, yang sesuai dengan karakteristik data curah hujan yang cenderung memiliki pola musiman tetap

8. *Evaluasi Model*

Hasil evaluasi model Holt-Winters diperoleh nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 45.88 mm dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 63.07 mm. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) tidak dapat dihitung dengan valid karena terdapat nilai nol dalam data curah hujan, yang menyebabkan MAPE menjadi tidak terdefinisi atau terlalu tinggi pada beberapa bulan. MAE dan RMSE yang cukup rendah menunjukkan bahwa model berhasil menangkap pola musiman curah hujan bulanan dengan akurasi yang cukup baik. Perbedaan antara MAE dan RMSE menunjukkan adanya beberapa bulan dengan deviasi prediksi yang lebih besar, yang wajar dalam data curah hujan yang cenderung bervariasi.

9. *Hasil Prediksi*

Gambar 6 dan Tabel 2 menunjukkan hasil prediksi curah hujan (garis hijau) dari Nopember 2024 sampai Oktober 2025.



Gambar 6. Hasil prediksi curah

Tabel 2. Hasil prediksi curah hujan

Bulan	Prediksi Curah Hujan (mm)
November 2024	147.19
Desember 2024	227.86
Januari 2025	238.47
Februari 2025	229.57
Maret 2025	186.64
April 2025	99.94
Mei 2025	37.90
Juni 2025	23.21
Juli 2025	16.39
Agustus 2025	5.31
September 2025	19.81
Oktober 2025	44.67

Garis prediksi (Gambar 6) mengikuti pola musiman dan tren yang telah terbentuk dalam data historis, sehingga memberikan gambaran bagaimana curah hujan di tahun depan kemungkinan akan berfluktuasi mengikuti pola yang sama. Tabel 2 menunjukkan bahwa periode bulan Desember hingga Maret diprediksi akan memiliki curah hujan yang tinggi, menunjukkan musim hujan dengan potensi intensitas yang tinggi. Sebaliknya, bulan Juni hingga September menunjukkan prediksi curah hujan yang sangat rendah, yang kemungkinan besar menunjukkan musim kemarau.

Pembahasan

1. Efektivitas Model *Holt-Winters* dalam Menangkap Pola Musiman

Berdasarkan hasil pemodelan, model *Holt-Winters* aditif menunjukkan bahwa pola musiman curah hujan bulanan di Sumbawa sangat konsisten, dengan siklus 12 bulan yang berulang setiap tahunnya. Curah hujan cenderung meningkat di bulan-bulan musim hujan (Desember hingga Maret) dan menurun selama musim kemarau (Juni hingga September). Hal ini sesuai dengan karakteristik iklim tropis Indonesia yang umumnya memiliki musim hujan dan kemarau yang teratur. Pemilihan model aditif didukung oleh hasil uji ADF dan KPSS, yang menunjukkan bahwa data curah hujan ini bersifat stasioner. Karakteristik data yang menunjukkan pola musiman konstan tanpa adanya peningkatan atau perubahan intensitas yang signifikan dari tahun ke tahun mendukung penggunaan model aditif, karena model ini efektif untuk data dengan fluktuasi musiman yang stabil. Model aditif memungkinkan penambahan komponen musiman ke data dasar tanpa memperbesar variasi secara eksponensial, yang sesuai dengan distribusi data curah hujan di Sumbawa. Metode Holt-Winters memiliki beberapa kelemahan dalam memprediksi curah hujan bulanan, terutama ketika menghadapi data dengan fluktuasi ekstrem atau pola yang tidak stabil. Model ini bekerja optimal untuk data musiman dan trend yang konsisten, sehingga jika terdapat pola yang tidak teratur, seperti anomali cuaca atau kejadian iklim ekstrem (misalnya El Niño atau La Niña), akurasi prediksinya dapat menurun. Selain itu, metode ini sangat sensitif terhadap parameter smoothing, sehingga kesalahan dalam menentukan nilai parameter alpha, beta, atau gamma dapat menghasilkan prediksi yang kurang akurat. Keterbatasan lainnya adalah ketidakmampuannya untuk menangkap pola nonlinear yang kompleks, yang sering muncul dalam data curah hujan akibat interaksi berbagai faktor lingkungan.

2. Evaluasi Akurasi dan Reliabilitas Model

Nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 45.88 mm dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 63.07 mm menunjukkan bahwa model ini memiliki akurasi prediksi yang cukup baik. MAE yang relatif rendah menunjukkan bahwa perbedaan antara nilai aktual dan prediksi tidak signifikan, sedangkan RMSE yang sedikit lebih tinggi mengindikasikan adanya beberapa *outlier* atau nilai curah hujan yang tinggi pada bulan-bulan tertentu yang menyebabkan *error* lebih besar. Namun,

hasil ini masih dianggap akurat untuk model berbasis musiman.

Hasil distribusi yang *cenderung skewed (right-skewed)* mengindikasikan bahwa sebagian besar bulan memiliki curah hujan rendah hingga sedang, sementara bulan-bulan dengan curah hujan sangat tinggi (*outlier*) menjadi bagian yang jarang namun penting untuk diprediksi. Hal ini memberikan reliabilitas model dalam memahami pola umum sekaligus mampu mengantisipasi periode dengan intensitas curah hujan tinggi.

3. Pentingnya Prediksi Curah Hujan dalam Mitigasi Bencana

Berdasarkan prediksi model, periode Desember hingga Maret merupakan masa puncak curah hujan, yang menunjukkan peningkatan risiko banjir. Informasi ini sangat berharga bagi pemerintah daerah dan lembaga terkait untuk melakukan mitigasi banjir, seperti memperbaiki dan membersihkan saluran drainase, membangun tanggul atau kolam penampungan, dan mengedukasi masyarakat tentang kesiapsiagaan bencana. Puncak curah hujan di bulan-bulan ini juga menunjukkan pentingnya pemantauan berkala dan antisipasi terhadap perubahan yang mungkin muncul akibat fenomena cuaca ekstrem.

Prediksi yang menunjukkan penurunan curah hujan pada bulan Juni hingga September memperkuat pentingnya mitigasi kekeringan di Sumbawa. Ketersediaan data ini memungkinkan otoritas di Kabupaten Sumbawa untuk merencanakan manajemen air yang lebih baik dengan memaksimalkan penggunaan waduk dan sistem irigasi selama musim kemarau. Selain itu, sosialisasi kepada masyarakat mengenai penghematan air dan persiapan terhadap musim kemarau dapat membantu mengurangi dampak kekeringan, terutama di sektor pertanian yang sangat bergantung pada ketersediaan air.

PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa model *Holt-Winters* aditif efektif dalam memprediksi pola curah hujan bulanan di Kabupaten Sumbawa, dengan kemampuan yang baik dalam menangkap pola musiman tahunan yang stabil. Berdasarkan data historis curah hujan dari tahun 2000 hingga 2024, model ini berhasil menunjukkan prediksi yang akurat dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 45.88 mm dan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 63.07 mm. Hasil prediksi curah hujan mengindikasikan bahwa puncak curah hujan terjadi pada bulan Desember hingga Maret, sedangkan curah hujan menurun signifikan pada bulan Juni hingga September. Pola ini konsisten dengan kondisi musiman wilayah Sumbawa dan dapat mendukung perencanaan mitigasi yang berbasis data. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mempertimbangkan variabel eksternal seperti suhu atau fenomena iklim global (*El Niño* dan *La Niña*) yang dapat memengaruhi pola curah hujan. Integrasi variabel eksternal ini diharapkan dapat meningkatkan ketepatan prediksi serta memberikan peringatan dini yang lebih akurat dalam menghadapi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, A., Intan, P., & Ulinnuha, N. (2021). Predikisi Rata-Rata Curah Hujan Bulanan di Pasuruan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing. *JRST: Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 5(2), 117–122. <https://doi.org/10.30595/jrst.v5i2.9702>
- Aprianto, R., Puspitasari, P., Fitriyanto, S., & Tawaqqal, A. (2024). Analisis Potensi Bencana Banjir Berdasarkan Hasil Prediksi Curah Hujan di Kabupaten Sumbawa. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 16(2), 124–133. <https://doi.org/10.30599/jti.v16i2.3436>
- Brito, G., Villaverde, A., Quan, A., & Pérez, A. (2021). Comparison between SARIMA and Holt–Winters models for forecasting monthly streamflow in the western region of Cuba. 3(671), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04667-5>

- Dewi, N., & Listiowarni, I. (2020). Implementasi Holt-Winters Exponential Smoothing untuk Peramalan Harga Bahan Pangan di Kabupaten Pamekasan. *Digital Zone: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11(2), 219–231.
<https://doi.org/10.31849/digitalzone.v11i2.4797>
- Dhamodharavadhani, S., & Rathipriya, R. (2019). Region-wise rainfall prediction using mapreduce-based exponential smoothing techniques. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 750.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-1882-5_21
- Dore, M. (2005). Climate change and changes in global precipitation patterns: what do we know? *Environment International*, 31(8), 1167–1181.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.03.004>
- Haryanto, B., Lestari, F., & Nurlambang, T. (2020). Extreme events, disasters, and health impacts in Indonesia. *Extreme Weather Events and Human Health*. Springer, Cham, 227–245.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-23773-8_16
- Hutapea, T., & Siahaan, A. (2023). Peramalan Curah Hujan Menggunakan Metode Holt-Winters Exponential Smoothing Di Kabupaten Padang Lawas Utara. *Journal of Student Research (JSR)*, 1(2), 378–393.
<https://doi.org/10.55606/jsr.v1i2.1046>
- Kumar, L., Khedlekar, S., & Khedlekar, U. (2024). A comparative assessment of holt winter exponential smoothing and autoregressive integrated moving average for inventory optimization in supply chains. *Supply Chain Analytics*, 8(100084), 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.sca.2024.100084>
- Pertiwi, D. (2020). Applied exponential smoothing Holt-Winter method for predict rainfall in Mataram City. *Journal of Intelligent Computing and Health Informatics (JICHI)*, 1(2), 46–49.
<https://doi.org/10.26714/jichi.v1i2.6330>
- Ramadhan, R., Marzuki, M., Suryanto, W., Sholihun, S., Yusnaini, H., Muharsyah, R., & Hanif, M. (2022). Trends in rainfall and hydrometeorological disasters in new capital city of Indonesia from long-term satellite-based precipitation products. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 28(100827).
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100827>
- Ristiyasari, D., & Ahdika, A. (2024). Peramalan Indeks Harga Konsumen Di Kota Bandar Lampung Tahun 2023 Menggunakan Pemodelan Double Exponential Smoothing: Peramalan Indeks Harga . . . *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 2(1), 145–152.
<https://doi.org/10.20885/esds.vol2.iss.1.art14>
- Shao, Q., Aldhafeeri, A., Qiu, S., & Khuder, S. (2023). A multiplicative Holt–Winters model and autoregressive moving-average for hyponatremia mortality rates. *Healthcare Analytics*, 4(100262), 1–7.
<https://doi.org/10.1016/j.health.2023.100262>
- Sinay, L., Pentury, T., & Anakotta, D. (2017). Peramalan curah hujan di kota ambon menggunakan metode holt-winters exponential smoothing. *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 11(2), 101–108.
<https://doi.org/10.30598/barekengvol11iss2pp101-108>
- Sulaiman, A., & Juarna, A. (2021). Peramalan Tingkat Pengangguran Di Indonesia Menggunakan Metode Time Series Dengan Model Arima Dan Holt-Winters. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 26(1), 13–28.
<https://doi.org/10.35760/ik.2021.v26i1.3512>
- Swapnarekha, H., Behera, H., Nayak, J., Naik, B., & Kumar, P. (2021). Multiplicative Holts Winter model for trend analysis and forecasting of COVID-19 spread in India. *SN Computer Science*, 2(416), 1–15.
<https://doi.org/10.1007/s42979-021-00808-0>
- Tamaji, T., Utama, Y., & Sidharta, J. (2022). Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Metode Backpropagation untuk Prediksi Curah Hujan. *TELEKONTRAN*, 10(1), 30–37.
<https://doi.org/10.34010/telekontran.v10i1.7409>

- Tichavský, R. (2023). Understanding hydrometeorological triggers of natural hazards through dendrogeomorphology: Methods, limitations, and challenges. *Earth-Science Reviews*, 244(104546).
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104546>
- Tichavský, R., Ballesteros-Cánovas, J., Šilhán, K., Tolasz, R., & Stoffel, M. (2019). Dry spells and extreme precipitation are the main trigger of landslides in Central Europe. *Scientific Reports*, 9(14560), 1–10.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-51148-2>
- Tratar, L., & Strmčnik, E. (2016). The comparison of Holt–Winters method and Multiple regression method: A case study. *Energy*, 109(15), 266–276.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.115>
- Wiguna, I., Utami, N., Parwita, W., Udayana, I., & Sudipa, I. (2023). Rainfall forecasting using the Holt-Winters exponential smoothing method. *Jurnal Info Sains : Informatika Dan Sains*, 13(01), 15–23.
<https://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/InfoSains/article/view/2656>
- Wu, L., Wang, S., Bai, X., Luo, W., Tian, Y., Zeng, C., Luo, G., & He, S. (2017). Quantitative assessment of the impacts of climate change and human activities on runoff change in a typical karst watershed, SW China. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1449–1465.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.288>