

Penerapan Metode *Double Moving Average* Dalam Peramalan Jumlah Kendaraan Aktif Di Bali

Ni Kadek Ayu Chintia Dewi^{a,*}, I Nyoman Budayana^b, Sariyasa^c

^{a,b,c}Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Indonesia

*email: ayuchintiadewi2008@email.com

Abstrak. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh peningkatan jumlah kendaraan di Provinsi Bali yang menimbulkan berbagai permasalahan dalam perencanaan transportasi dan pengembangan infrastruktur sehingga diperlukan peramalan yang akurat sebagai dasar pengambilan kebijakan. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan jumlah kendaraan aktif di Bali dengan menggunakan metode *Double Moving Average* (DMA). Data yang digunakan berupa data tahunan jumlah kendaraan yang aktif membayar pajak pada periode 2011–2024 yang bersumber dari Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali. Data pada periode pandemi COVID-19 menunjukkan fluktuasi yang tidak mengikuti tren historis sehingga diterapkan *linear interpolation* sebagai tahap praproses untuk menstabilkan pola data sebelum dilakukan analisis peramalan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan *linear interpolation* sebagai tahap praproses sebelum metode *Double Moving Average* serta pada pengujian komparatif beberapa variasi ordo DMA, yaitu 2×2 , 3×3 , 4×4 , dan 5×5 untuk menentukan model peramalan yang paling sesuai dengan karakteristik data kendaraan aktif. Evaluasi akurasi model dilakukan menggunakan *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Double Moving Average* ordo 4×4 pada data hasil *linear interpolation* menghasilkan tingkat kesalahan peramalan paling rendah dengan nilai MAPE sebesar 2,59%. Hasil peramalan jumlah kendaraan aktif di Bali untuk periode 2025–2027 menunjukkan kecenderungan peningkatan dan dapat dijadikan sebagai dasar pendukung dalam perencanaan transportasi dan pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan di Provinsi Bali.

Kata Kunci: *Double Moving Average* (DMA), Peramalan Deret Waktu, Analisis Data Kendaraan

PENDAHULUAN

Provinsi Bali merupakan salah satu pusat aktivitas pariwisata dan ekonomi di Indonesia dengan tingkat mobilitas masyarakat yang tinggi. Pulau Bali dikenal sebagai sentra pariwisata utama di Indonesia yang memiliki peran strategis dalam mendukung perekonomian daerah maupun perekonomian nasional (Wesnawa, 2022). Perkembangan sektor pariwisata, urbanisasi, serta peningkatan aktivitas ekonomi telah mendorong kebutuhan transportasi yang semakin besar dan berimplikasi langsung terhadap pertumbuhan jumlah kendaraan. Peningkatan jumlah kendaraan tersebut memberikan kontribusi positif terhadap perekonomian daerah melalui peningkatan konektivitas dan mobilitas, namun secara simultan juga memunculkan berbagai permasalahan transportasi, antara lain peningkatan kepadatan lalu lintas, penurunan efisiensi perjalanan, serta tekanan terhadap kualitas lingkungan. Apabila kondisi ini tidak diantisipasi melalui perencanaan transportasi yang berbasis analisis kuantitatif, maka peningkatan jumlah kendaraan berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan antara kapasitas infrastruktur dan kebutuhan mobilitas masyarakat di masa mendatang. Oleh karena itu, ketersediaan informasi

peramalan jumlah kendaraan yang akurat dan andal menjadi kebutuhan yang bersifat mendesak dalam mendukung perumusan kebijakan transportasi yang berkelanjutan.

Dalam kajian matematika terapan, permasalahan tersebut dapat dimodelkan sebagai permasalahan peramalan data deret waktu. Metode deret waktu memanfaatkan pola data masa lalu untuk memprediksi kejadian di masa mendatang (Aditya et al., 2023). Pendekatan ini banyak digunakan dalam analisis data karena kemampuannya dalam mengeksplorasi informasi historis guna meramalkan nilai pada periode berikutnya (Anitya et al., 2023). Selain itu, peramalan berperan sebagai fondasi awal dalam proses pengambilan keputusan dan penyusunan rencana strategis (Antari et al., 2014). Dengan demikian, karakteristik data historis menjadi faktor krusial yang sangat memengaruhi tingkat akurasi hasil peramalan.

Perencanaan transportasi yang efektif memerlukan hasil peramalan yang mampu merefleksikan kondisi aktual serta mengantisipasi perkembangan jumlah kendaraan di masa depan. Transportasi merupakan sektor penunjang pembangunan yang menyediakan jasa esensial bagi distribusi barang dan mobilitas masyarakat (Latifah et al., 2015). Oleh karena itu, proyeksi jumlah kendaraan yang tepat diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam merancang kebijakan pengembangan infrastruktur dan pengelolaan lalu lintas secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Namun demikian, kondisi aktual data jumlah kendaraan menunjukkan adanya fluktuasi yang tidak mengikuti tren historis akibat pengaruh faktor eksternal, khususnya pandemi COVID-19. Fluktuasi tersebut menyebabkan pola data pada periode tertentu menyimpang dari karakteristik historisnya sehingga penggunaan data asli secara langsung berpotensi menurunkan akurasi model peramalan (Prasetyo et al., 2024). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara kebutuhan akan peramalan yang andal dan keterbatasan kualitas data yang tersedia. Oleh karena itu, tahap prapemrosesan data menjadi sangat penting untuk memastikan kualitas dan konsistensi data sebelum dimasukkan ke dalam model peramalan (Lodhi et al., 2024). Salah satu pendekatan prapemrosesan yang dapat diterapkan adalah *linear interpolation* yaitu metode dasar yang digunakan untuk mengestimasi nilai data pada periode tertentu berdasarkan dua titik data terdekat secara linier (Lamabelawa, 2018). Penerapan metode ini diharapkan mampu meminimalkan pengaruh fluktuasi ekstrem pada data sehingga pola deret waktu yang dihasilkan menjadi lebih stabil dan representatif untuk proses peramalan.

Dalam kajian transportasi, pembahasan mengenai perkembangan jumlah kendaraan tidak dapat dilepaskan dari isu kepadatan lalu lintas yang melibatkan berbagai jenis kendaraan. Kepadatan lalu lintas umumnya dinyatakan dalam satuan ekuivalen penumpang, di mana berbagai jenis kendaraan dikonversikan ke dalam satu satuan yang sama (Vironika et al., 2014). Kendaraan dengan ukuran dan bobot yang lebih besar seperti bus dan truk, diketahui memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap tingkat kepadatan lalu lintas. Meskipun demikian, penelitian ini tidak difokuskan pada analisis kepadatan lalu lintas melainkan pada jumlah kendaraan aktif sebagai indikator awal untuk menggambarkan perkembangan jumlah kendaraan di suatu wilayah.

Jumlah kendaraan aktif dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kendaraan yang tercatat aktif membayar pajak pada periode pengamatan. Meskipun data tersebut tidak secara langsung merepresentasikan intensitas penggunaan kendaraan di jalan raya, informasi ini tetap relevan sebagai indikator pertumbuhan jumlah kendaraan yang berpotensi memengaruhi sistem transportasi di masa mendatang. Oleh karena itu, analisis jumlah kendaraan aktif memiliki

peran strategis dalam mendukung perencanaan transportasi jangka menengah dan jangka panjang.

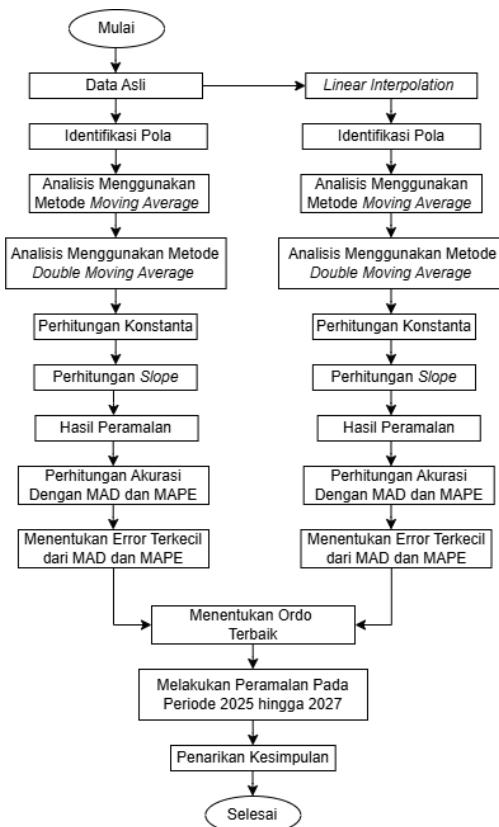
Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pemilihan model peramalan yang sesuai dengan karakteristik data. Metode *Double Moving Average* (DMA) merupakan pengembangan dari metode *moving average* yang efektif digunakan pada data yang memiliki kecenderungan tren dan mampu menghasilkan estimasi yang lebih stabil dibandingkan *moving average* sederhana. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan *linear interpolation* sebagai tahap praproses data sebelum metode *Double Moving Average* serta pada analisis komparatif beberapa variasi ordo DMA untuk menentukan model peramalan yang paling optimal berdasarkan karakteristik data jumlah kendaraan aktif.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan metode *Double Moving Average* dengan membandingkan hasil peramalan menggunakan data asli dan data hasil *linear interpolation* dalam meramalkan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penerapan *linear interpolation* terhadap tingkat akurasi peramalan yang diukur menggunakan indikator *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian matematika terapan dalam bidang peramalan deret waktu serta menjadi dasar pendukung bagi pemerintah daerah dalam perencanaan transportasi dan pengembangan infrastruktur di Provinsi Bali pada masa mendatang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis deret waktu yang berlandaskan pada filsafat positivisme (Sugiyono, 2013). Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisis pola historis data serta melakukan peramalan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali berdasarkan kecenderungan data pada periode sebelumnya. Subjek penelitian ini adalah data tahunan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali selama periode 2011–2024. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali sebagai instansi resmi yang berwenang dalam pengelolaan dan pencatatan data kendaraan. Penelitian ini tidak melibatkan subjek individu, melainkan menggunakan data agregat yang bersifat administratif sehingga seluruh proses analisis dilakukan secara objektif dan sistematis. Pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi yaitu dengan menghimpun arsip data resmi yang tersedia pada Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali. Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.

Prosedur penelitian disusun secara terstruktur untuk menjamin keakuratan dan konsistensi hasil yang diperoleh. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, prapemrosesan data (*preprocessing*), penerapan metode peramalan *Double Moving Average*, serta evaluasi kinerja model peramalan. Tahap prapemrosesan dilakukan untuk menstabilkan pola deret waktu sebelum proses peramalan. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan indikator *Mean Absolute Deviation* (MAD) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk menentukan model peramalan yang paling optimal. Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam bentuk diagram alur pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

1. Tahap awal penelitian dilakukan dengan menganalisis pola data historis untuk mengidentifikasi kecenderungan tren dan fluktuasi data. Hasil analisis menunjukkan adanya fluktuasi yang cukup signifikan pada periode 2019–2023 yang berpotensi mengganggu kestabilan pola deret waktu. Oleh karena itu, sebelum proses peramalan dilakukan data pada periode tersebut diproses menggunakan metode *linear interpolation* sebagai tahap *preprocessing*. Secara matematis, *linear interpolation* dirumuskan dalam Persamaan (1) (Siregar, et al., 2021).

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{(x_1 - x_0)} (x - x_0) \quad (1)$$

Dimana:

$f(x)$ = nilai fungsi pada titik x yang ingin dicari (tahun *outlier*)

$f(x_0)$ = nilai fungsi pada titik sebelum x (tahun *outlier*)

$f(x_1)$ = nilai fungsi pada titik setelah x (tahun *outlier*)

x = tahun *outlier* yang akan diinterpolasi

x_0 = tahun sebelum *outlier*

x_1 = tahun setelah *outlier*

2. Setelah tahap *preprocessing* data, proses peramalan dilakukan dengan menerapkan metode *Double Moving Average* (DMA) yang sesuai untuk data dengan kecenderungan tren. Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data aktual dan data hasil *linear*

interpolation. Data aktual merupakan data asli jumlah kendaraan aktif yang digunakan sebagai dasar evaluasi sedangkan data hasil *linear interpolation* diperoleh dari proses penyesuaian data pada periode yang mengalami fluktuasi ekstrem. Penggunaan dua jenis data tersebut bertujuan untuk membandingkan kinerja metode *Double Moving Average* (DMA) pada data aktual dan data yang telah distabilkan melalui *preprocessing linear interpolation* sehingga dapat diketahui pengaruh *linear interpolation* terhadap tingkat akurasi peramalan yang dihasilkan.

3. Metode *Double Moving Average* (DMA) adalah teknik prediksi yang menerapkan dua tahap pengolahan rata-rata bergerak secara berurutan (Sinaga & Irawati, 2018). Tahap pertama menghitung rata-rata bergerak berdasarkan data historis untuk memperoleh nilai rata-rata awal, kemudian tahap kedua menghitung rata-rata bergerak dari hasil perhitungan tahap pertama guna menangkap kecenderungan tren pada data (Makridakis et al., 1983). Rata-rata bergerak pertama dan kedua masing-masing dihitung menggunakan Persamaan (2) dan (3):

$$S'_t = \frac{x_t + x_{t-1} + x_{t-2} + \dots + x_{t-N+1}}{N} \quad (2)$$

$$S''_t = \frac{s'_t + s'_{t-1} + s'_{t-2} + \dots + s'_{t-N+1}}{N} \quad (3)$$

Selanjutnya, Nilai konstanta level (a_t) dan koefisien tren (b_t) ditentukan menggunakan Persamaan (4) dan (5):

$$a_t = 2S'_t - S''_t \quad (4)$$

$$b_t = \frac{2}{N-1} (S'_t - S''_t) \quad (5)$$

Nilai peramalan pada periode $ke-t + m$ dihitung menggunakan Persamaan (6):

$$F_{t+m} = a_t + b_t m \quad (6)$$

Dimana:

x_t = nilai data aktual pada periode ke- t

S'_t = nilai rata-rata bergerak tunggal pada waktu t

S''_t = nilai rata-rata bergerak ganda pada waktu t

N = jumlah data

a_t = hasil rerata yang disesuaikan pada periode t

b_t = trend pada waktu t

m = rentang waktu ke depan

F_{t+m} = nilai hasil peramalan

4. Untuk memperoleh model peramalan terbaik, penelitian ini menggunakan beberapa variasi ordo *Double Moving Average* (DMA) yaitu 2×2 , 3×3 , 4×4 , dan 5×5 .
5. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan dua indikator kesalahan yaitu *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Mean Absolute Deviation* (MAD). MAPE diterapkan guna menilai deviasi peramalan dalam bentuk persentase sedangkan MAD digunakan untuk mengukur rata-rata kesalahan mutlak tanpa memperhatikan arah kesalahan sehingga memberikan gambaran mengenai besar penyimpangan hasil peramalan terhadap data aktual (Cahyani et al., 2018). Persamaan MAPE dan MAD masing-masing ditunjukkan pada Persamaan (7) dan (8):

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - F_t}{x_t} \right|}{n} \times 100\% \quad (7)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |X_t - F_t|}{n} \quad (8)$$

Dimana:

x_t = nilai sebenarnya pada rentang t

F_t = nilai prediksi pada rentang t

n = total rentang yang diramalkan

Tabel 1. Nilai MAPE Untuk Evaluasi Peramalan

Nilai MAPE	Kriteria
MAPE < 10%	Sangat Baik
10% < MAPE ≤ 20%	Baik
20% < MAPE ≤ 50%	Cukup
MAPE > 50%	Buruk

Evaluasi akurasi hasil peramalan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan indikator *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan *Mean Absolute Deviation* (MAD). MAPE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan relatif antara nilai hasil peramalan dan data aktual sedangkan MAD digunakan untuk mengukur besarnya rata-rata selisih absolut antara nilai hasil peramalan dan nilai aktual. Penggunaan kedua indikator ini bertujuan untuk memperoleh penilaian kinerja model peramalan secara komprehensif, di mana nilai MAPE dan MAD yang semakin kecil menunjukkan tingkat akurasi model yang semakin tinggi (Listiowarni et al., 2020).

Kriteria evaluasi akurasi peramalan dalam penelitian ini mengacu pada klasifikasi nilai MAPE yang dikemukakan oleh Suhendra et al. (2021), sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan klasifikasi tersebut, penelitian ini menetapkan nilai $MAPE \leq 20\%$ sebagai kriteria minimum kelayakan model peramalan. Model peramalan dengan nilai MAPE melebihi batas tersebut dinyatakan tidak memenuhi tingkat akurasi yang diharapkan dan tidak dipertimbangkan sebagai model terbaik. Selanjutnya, indikator MAD digunakan sebagai ukuran pendukung untuk membandingkan performa model-model peramalan yang memenuhi kriteria minimum MAPE, di mana model dengan nilai MAD yang lebih kecil dipilih sebagai model yang paling optimal.

Penetapan kriteria minimum tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa model peramalan yang digunakan memiliki tingkat kesalahan yang relatif rendah dan mampu merepresentasikan pola data aktual secara memadai. Dengan demikian, hasil peramalan yang diperoleh diharapkan memiliki tingkat presisi yang tinggi dan dapat dijadikan dasar yang andal dalam analisis lanjutan maupun pengambilan Keputusan (Megayasa et al., 2022).

Seluruh proses pengolahan data dan perhitungan dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak RStudio untuk menjamin ketelitian hasil analisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data Penelitian

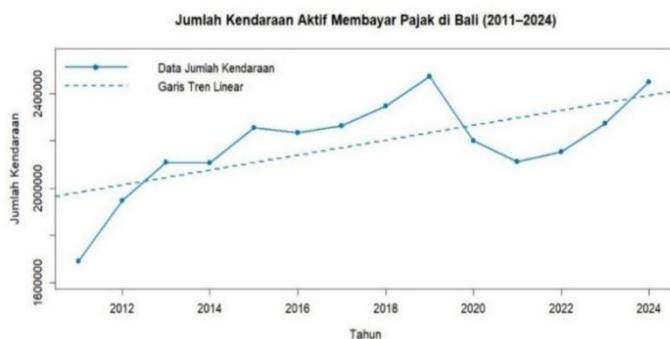
Penelitian ini memanfaatkan data sekunder berupa jumlah kendaraan yang aktif membayar pajak di Provinsi Bali selama periode 2011–2024. Data tersebut terdiri atas 14 data tahunan yang bersumber dari Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali.

Tabel 2. Jumlah Kendaraan Aktif Membayar Pajak Di Provinsi Bali

Tahun	Jumlah Kendaraan
2011	1.692.049
2012	1.946.777
2013	2.109.454
2014	2.105.410
2015	2.254.400
2016	2.234.641
2017	2.263.238
2018	2.346.495
2019	2.473.038
2020	2.201.417
2021	2.110.824
2022	2.153.396
2023	2.273.825
2024	2.448.367

Sumber: Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali

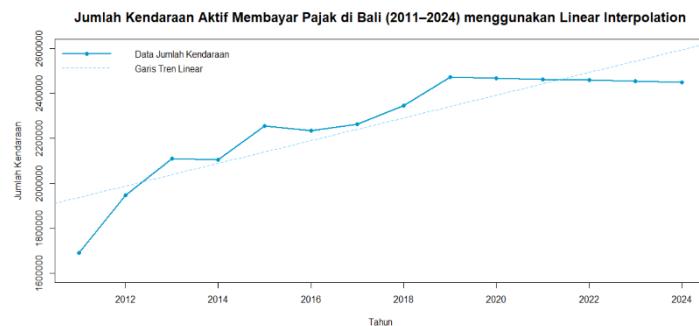
Tabel 2 menyajikan data jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali selama periode 2011–2024. Data tersebut digunakan sebagai tahap awal dalam menentukan metode peramalan yang sesuai dilakukan analisis pola deret waktu jumlah kendaraan aktif selama periode pengamatan untuk mengidentifikasi kecenderungan tren dan fluktuasi yang terjadi selama periode pengamatan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jumlah kendaraan aktif mengalami tren peningkatan pada periode 2011–2019. Namun, pada periode 2020–2023 terjadi penurunan dan fluktuasi yang cukup signifikan akibat dampak pandemi COVID-19.



Gambar 2. Plot Data Jumlah Kendaraan Yang Aktif Di Bali

Gambar 2 menyajikan pola deret waktu jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali selama periode 2011–2024. Terlihat adannya fluktuasi yang tidak wajar pada periode 2020–2023 yang berpotensi mengganggu kestabilan pola deret waktu sehingga dapat menurunkan akurasi hasil peramalan apabila langsung digunakan sebagai data input model. Oleh karena itu, sebelum proses peramalan dilakukan, fluktuasi pada periode tersebut di *preprocessing* menggunakan metode *linear interpolation* untuk menyesuaikan nilai data agar kembali mengikuti

kecenderungan tren historis. Sementara itu, data tahun 2024 digunakan sebagai data aktual karena kondisi telah pulih normal sejak pencabutan dekret darurat kesehatan global COVID-19 pada 21 Juni 2023.



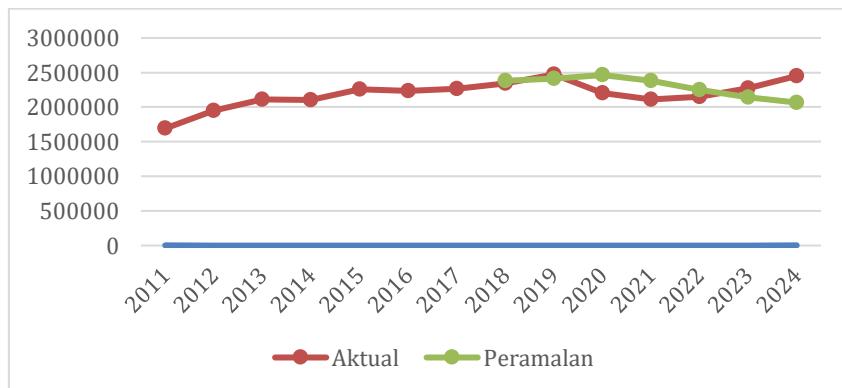
Gambar 3. Plot Data Jumlah Kendaraan Aktif Di Bali Setelah *Linear Interpolation*

Gambar 3 menyajikan pola data jumlah kendaraan aktif di Bali setelah *preprocessing* data menggunakan *linear interpolation*. Berdasarkan hasil visualisasi dan perhitungan, *linear interpolation* terbukti memperbaiki struktur data pada periode 2020–2023 sehingga menghasilkan pola yang lebih realistik dan konsisten. Setelah tahap *preprocessing* data, metode *Double Moving Average* (DMA) diterapkan pada data aktual serta data yang telah melalui proses *linear interpolation*. Penelitian ini menggunakan variasi ordo DMA 2×2 , 3×3 , 4×4 , dan 5×5 untuk mengetahui model dengan kinerja peramalan terbaik. Penerapan berbagai variasi ordo bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan masing-masing model dalam mengikuti pola perkembangan data.

Tabel 3. Peramalan Jumlah Kendaraan Aktif Di Bali Menggunakan DMA 4×4 Pada Data Aktual

Tahun	Jumlah Kendaraan	DMA 4×4						Percentase Error
		$S't$	$S''t$	at	bt	F		
2011	1.692.049							
2012	1.946.777							
2013	2.109.454							
2014	2.105.410	1.963.422						
2015	2.254.400	2.104.010						
2016	2.234.641	2.175.976						
2017	2.263.238	2.214.422	2.114.458	2.314.387	66.643			
2018	2.346.495	2.274.694	2.192.276	2.357.111	54.945	2.381.030	1,5%	
2019	2.473.038	2.329.353	2.248.611	2.410.095	53.828	2.412.057	2,5%	
2020	2.201.417	2.321.047	2.284.879	2.357.215	24.112	2.463.923	11,9%	
2021	2.110.824	2.282.944	2.302.009	2.263.878	-12.710	2.381.327	12,8%	
2022	2.153.396	2.234.669	2.292.003	2.177.334	-38.223	2.251.167	4,5%	
2023	2.273.825	2.184.866	2.255.881	2.113.850	-47.344	2.139.112	5,9%	
2024	2.448.367	2.246.603	2.237.270	2.255.936	6.222	2.066.506	15,6%	

Tabel 3 menampilkan hasil perhitungan peramalan yang diperoleh melalui penerapan metode *Double Moving Average* dengan ordo 4×4 . Pada periode pengamatan awal, hasil perhitungan belum tersedia. Hal ini merupakan karakteristik metode DMA karena proses pemulusan memerlukan jumlah data minimum. Pada ordo 4×4 , *moving average* tahap pertama ($S't$) dihitung menggunakan empat data awal, sedangkan *moving average* tahap kedua ($S''t$) diperoleh dari empat nilai $S't$, sehingga dibutuhkan delapan data aktual sebelum nilai $S''t$ dapat dihitung. Setelah data memenuhi kebutuhan pemulusan, nilai komponen At dan Bt dapat ditentukan dan selanjutnya digunakan untuk menghasilkan nilai peramalan (F_t) yang lebih akurat.



Gambar 4. Evaluasi Kesesuaian Data Aktual Dengan Nilai Prediksi Menggunakan DMA 4×4

Gambar 4 menyajikan evaluasi kesesuaian data aktual dengan nilai prediksi berdasarkan metode DMA 4×4 . Untuk menilai kualitas hasil peramalan, model *Double Moving Average* ordo 4×4 yang telah diterapkan pada data aktual kemudian dievaluasi melalui pengukuran akurasi. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketepatan model dalam menghasilkan prediksi serta menilai kedekatan hasil peramalan terhadap nilai aktual. Rincian perhitungan pengujian akurasi model *Double Moving Average* ordo 4×4 pada data aktual disajikan sebagai berikut.

1. MAD (*Mean Absolut Deviation*) merupakan rerata kesalahan mutlak selama periode tertentu.

$$\text{Rumus hitung: } MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |X_t - F_t|}{n}$$

$$MAD = \frac{1.242.870}{7}$$

$$MAD = 177.553$$

Sehingga diperoleh MAD sebesar 177.553

2. MAPE disebut juga dengan *Mean Absolute Percentage Error* adalah indikator kesalahan peramalan yang dinyatakan dalam persentase dan dihitung dari rata-rata *error* absolut.

$$\text{Rumus hitung: } MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{X_t - F_t}{X_t} \right|}{n} \times 100\%$$

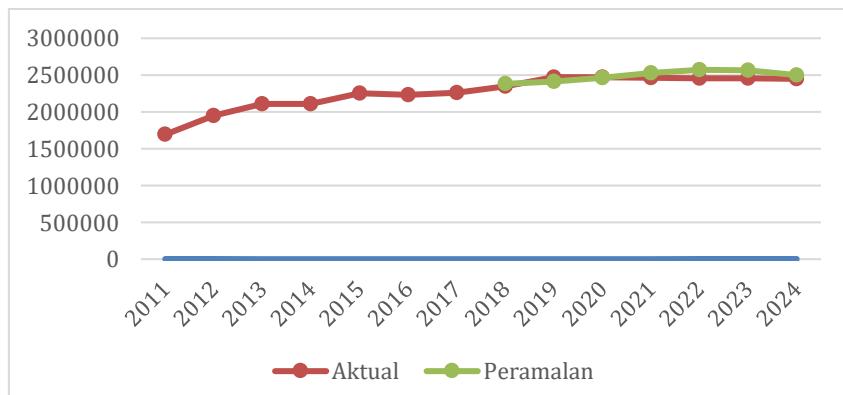
$$MAPE = \frac{0,54739}{7} \times 100\%$$

$MAPE = 7,82\%$
Sehingga diperoleh MAPE sebesar 7,82%

Tabel 4. Peramalan Jumlah Kendaraan Aktif Di Bali Menggunakan DMA 4×4 Pada Data Hasil *Linear Interpolation*.

DMA 4×4							
Tahun	Jumlah Kendaraan	$S't$	$S''t$	at	bt	F	Persentase Error
2011	1.692.049						
2012	1.946.777						
2013	2.109.454						
2014	2.105.410	1.963.422					
2015	2.254.400	2.104.010					
2016	2.234.641	2.175.976					
2017	2.263.238	2.214.422	2.114.458	2.314.387	66.643		
2018	2.346.495	2.274.694	2.192.276	2.357.111	54.945	2.381.030	1,5%
2019	2.473.038	2.329.353	2.248.611	2.410.095	53.828	2.412.057	2,5%
2020	2.468.104	2.387.719	2.301.547	2.473.891	57.448	2.463.923	0,2%
2021	2.463.170	2.437.702	2.357.367	2.518.037	53.557	2.531.339	2,8%
2022	2.458.235	2.465.637	2.405.103	2.526.171	40.356	2.571.593	4,6%
2023	2.453.301	2.460.702	2.437.940	2.483.465	15.175	2.566.527	4,6%
2024	2.448.367	2.455.768	2.454.952	2.456.584	544	2.498.640	2,1%

Tabel 4 menampilkan hasil peramalan jumlah kendaraan aktif pembayar pajak di Provinsi Bali selama periode 2011–2024 yang diperoleh melalui penerapan metode *Double Moving Average* ordo 4×4 pada data yang telah di *interpolation* secara *linear*. Hasil tersebut menunjukkan pola yang stabil dan tingkat akurasi yang sangat baik dalam menganalisis dinamika tren.



Gambar 5. Evaluasi Kesesuaian Data Aktual Dengan Nilai Prediksi Menggunakan DMA 4×4 Pada Data *Linear Interpolation*

Gambar 5 menyajikan evaluasi kesesuaian data aktual dengan nilai prediksi menggunakan DMA 4×4 pada data hasil *linear interpolation*. Rincian perhitungan pengujian akurasi model *Double Moving Average* ordo 4×4 pada data hasil *linear interpolation* disajikan sebagai berikut.

1. MAD (*Mean Absolut Deviation*) merupakan rerata kesalahan mutlak selama periode tertentu.

$$\text{Rumus hitung: } MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |X_t - F_t|}{n}$$

$$MAD = \frac{444.723}{7}$$

$$MAD = 63.532$$

Sehingga diperoleh MAD sebesar 63.532

2. MAPE atau disebut juga dengan *Mean Absolute Percentage Error* adalah indikator kesalahan peramalan yang dinyatakan dalam persentase dan dihitung dari rata-rata *error* absolut.

$$\text{Rumus hitung: } MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t}}{n} \times 100\%$$

$$MAPE = \frac{0,18154}{7} \times 100\%$$

$$MAPE = 2,59\%$$

Sehingga diperoleh MAPE sebesar 2,59%

Tabel 5. Rangkuman Hasil Perhitungan Dari Tingkat Akurasi *Double Moving Average*
Akurasi *Double Moving Average*

Ordo	MAPE	MAD
2×2	6,61%	146.691
3×3	7,33%	166.559
4×4	7,82%	177.553
5×5	9,55%	212.750

Akurasi *Double Moving Average* Pada Data Hasil *Linear Interpolation*

Ordo	MAPE	MAD
2×2	3,06%	69.887
3×3	2,77%	65.873
4×4	2,59%	63.532
5×5	3,60%	88.533

Tabel 5 menampilkan ringkasan hasil perhitungan tingkat akurasi metode *Double Moving Average*. Pemilihan ordo peramalan ditentukan berdasarkan nilai terendah MAPE dan MAD. Dari hasil pengukuran akurasi model *Double Moving Average* ordo 4×4 yang diterapkan pada data hasil *linear interpolation* dinyatakan sebagai model paling optimal ditunjukkan oleh skor MAPE minimum mencapai 2,59% serta MAD mencapai 63.532. Indikator tersebut menunjukkan tingkat kesalahan minimum dibandingkan semua varian model pada data aktual

maupun data *interpolation*. Dengan tingkat kesalahan yang rendah dan kemampuan model dalam mengikuti tren historis secara stabil, model ini digunakan untuk meramalkan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali pada periode 2025-2027. Berdasarkan model tersebut, jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali diperkirakan mencapai 2.457.128 pada tahun 2025, meningkat menjadi 2.457.672 pada tahun 2026, dan 2.458.216 pada tahun 2027.

Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa jumlah kendaraan aktif yang tercatat membayar pajak di Provinsi Bali selama periode 2011–2024 yang bersumber dari Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali. Hasil analisis deskriptif menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah kendaraan pada periode 2011–2019. Namun, pada periode 2020–2023 terjadi penurunan yang signifikan disertai fluktuasi tajam akibat dampak pandemi COVID-19. Pada tahun 2024, pola data kembali menunjukkan peningkatan yang mengindikasikan pemulihan aktivitas ekonomi dan mobilitas masyarakat sehingga kecenderungan tren jangka panjang kembali terbentuk.

Pola data tersebut menunjukkan bahwa karakteristik data historis jumlah kendaraan aktif tidak sepenuhnya stabil sepanjang periode pengamatan, khususnya pada saat terjadi gangguan eksternal. Ketidakteraturan pola data pada periode pandemi berpotensi menurunkan tingkat akurasi hasil peramalan apabila data digunakan secara langsung tanpa penyesuaian. Kondisi ini sejalan dengan pandangan Makridakis (1999) yang menyatakan bahwa kualitas data dan kesesuaian metode terhadap karakteristik data merupakan faktor utama dalam menghasilkan peramalan yang akurat dan aplikatif.

Berdasarkan karakteristik data yang mengalami gangguan pola, penelitian ini menerapkan *linear interpolation* pada periode 2020–2023 sebagai tahap prapemrosesan untuk menstabilkan deret waktu sebelum proses peramalan dilakukan. Selanjutnya, kinerja metode *Double Moving Average* (DMA) dievaluasi pada data asli dan data hasil *linear interpolation* dengan variasi ordo 2×2 , 3×3 , 4×4 , dan 5×5 . Pendekatan ini membedakan penelitian ini dari penelitian terdahulu yang umumnya menerapkan metode peramalan deret waktu secara langsung tanpa melakukan penyesuaian terhadap periode data yang mengalami gangguan pola.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada data asli, model DMA ordo 2×2 menghasilkan tingkat kesalahan paling kecil meskipun seluruh variasi ordo masih berada dalam kategori akurasi sangat baik. Sementara itu, pada data hasil *linear interpolation* seluruh variasi ordo menunjukkan peningkatan tingkat akurasi. Model DMA ordo 4×4 memberikan hasil terbaik dengan nilai MAPE sebesar 2,59% dan MAD sebesar 63.532, yang merupakan tingkat kesalahan paling rendah dibandingkan model lainnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa stabilisasi data melalui penerapan *linear interpolation* digunakan secara lebih efektif oleh metode *Double Moving Average* dalam menghasilkan peramalan yang lebih mendekati kondisi aktual.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Kusuma & Saputra, 2024) terdapat kesamaan dalam penggunaan metode *Double Moving Average* (DMA) sebagai pendekatan peramalan deret waktu. Namun demikian, penelitian tersebut diterapkan pada data dengan pola yang relatif stabil sedangkan penelitian ini mengkaji penerapan metode DMA pada data yang mengalami gangguan pola akibat faktor eksternal. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperluas temuan sebelumnya dengan menunjukkan bahwa integrasi tahap

prapemrosesan data sebelum penerapan DMA berperan penting dalam meningkatkan kinerja peramalan pada deret waktu yang tidak sepenuhnya stabil.

Berdasarkan kriteria evaluasi MAPE di bawah 10%, seluruh model yang diuji dalam penelitian ini termasuk dalam kategori akurasi sangat baik dan layak digunakan. Di antara model tersebut, DMA ordo 4×4 pada data hasil *linear interpolation* ditetapkan sebagai model terbaik dan digunakan untuk peramalan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali. Hasil ini memperkuat pandangan Makridakis (1999) mengenai pentingnya kesesuaian antara karakteristik data dan metode peramalan serta menunjukkan bahwa kombinasi prapemrosesan data dan pemilihan ordo yang tepat mampu meningkatkan kualitas hasil peramalan secara signifikan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan metode *Double Moving Average* (DMA) mampu memproyeksikan jumlah kendaraan aktif di Provinsi Bali dengan kinerja sangat baik pada data periode 2011–2024, baik untuk data aktual maupun hasil *linear interpolation*. Seluruh variasi ordo DMA yang diuji menghasilkan nilai MAPE kurang dari 10%, menunjukkan prediksi yang akurat dan model terbaik diperoleh pada DMA ordo 4×4 dengan nilai MAPE 2,59% dan MAD 63.532. Jumlah kendaraan aktif diproyeksikan mencapai 2.457.128 pada tahun 2025, meningkat menjadi 2.457.672 pada tahun 2026, dan 2.458.216 pada tahun 2027. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode DMA efektif dalam meramalkan jumlah kendaraan aktif dan dapat menjadi dasar perencanaan transportasi serta pengembangan infrastruktur di Provinsi Bali. Prediksi untuk periode jangka panjang masih memiliki ketidakpastian karena keterbatasan data dan fokus pada satu variabel sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode peramalan lain dan memperluas cakupan variabel untuk meningkatkan akurasi

Saran

Badan Pendapatan Daerah Provinsi Bali disarankan untuk melakukan pemantauan jumlah kendaraan aktif secara berkala sebagai dasar pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan transportasi yang lebih tepat sasaran. Penelitian ini memiliki keterbatasan, antara lain periode data yang terbatas 2011–2024 dan fokus pada satu variabel, yaitu jumlah kendaraan aktif sehingga prediksi jangka panjang masih mengandung ketidakpastian. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode peramalan alternatif, memperluas cakupan variabel dengan mempertimbangkan faktor eksternal seperti pertumbuhan ekonomi, regulasi, dan pembangunan infrastruktur, serta memanfaatkan perangkat lunak atau aplikasi analisis deret waktu canggih. Selain itu, pengaitan jumlah kendaraan aktif dengan kepadatan lalu lintas dapat meningkatkan relevansi, akurasi, dan komprehensivitas hasil peramalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, M. W., Sukajaya, I. N., & Gunadi, I. G. A. (2023). Forecasting jumlah pasien DBD di BRSUD Kabupaten Tabanan menggunakan metode regresi linier. *Bali Medika Jurnal*, 10(1), 1–12.

- Anitya, L., I Astawa, I. W. P., & Pujawan, I. G. N. (2023). Perbandingan single moving average dan single exponential smoothing dalam peramalan produksi kopi. *Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, 17(3), 1-11.
- Antari, N. K. Y., Nuridja, M., & Suwena, K. R. (2014). Forecasting tingkat hunian kamar ditinjau dari komponen tren dengan data time series pada Hotel Bali Taman Singaraja tahun 2014. *Jurnal Pendidikan Ekonomi Undiksha*, 4(1).
- Cahyani, N. K. A. I., Putrama, I. M., & Wirawan, I. M. A. (2018). Sistem pendukung keputusan peramalan pendapatan di Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Perizinan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Buleleng dengan metode least square. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, 7(1), 1–11.
- Kusuma, H. I., & Saputra, R. (2024). Analisis peramalan permintaan jaket Inalcafa pada produk pria dengan metode double moving average. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(2), 1213–1219.
- Lamabelawa, M. I. J. (2018). Analisis perhitungan metode interpolasi pada data time series kemiskinan di NTT. *Jurnal Hoaq Teknologi Informasi*, 8(1), 603–684.
- Latifah, L., Wesnawa, I. G. A., & Treman, W. (2013). Variasi kemacetan lalu lintas di Kota Singaraja. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*. 2(1).
- Listiowarni, I., Dewi, N. P., & Hapantenda, A. K. W. (2020). Perbandingan metode double exponential smoothing dan double moving average untuk peramalan harga beras eceran di Kabupaten Pamekasan. *Jurnal Komputer Terapan*, 6(2), 158–169.
- Lodhi, E., Dahmani, N., Bukhari, S. M. S., Gyawali, S., Thapa, S., Qiu, L., Zafar, M. H., & Akhtar, N. (2024). Enhancing microgrid forecasting accuracy with SAQ-MTCLSTM: A self-adjusting quantized multi-task ConvLSTM for optimized solar power and load demand predictions. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100767.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (1983). *Forecasting: Methods and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (1999). *Metode dan aplikasi peramalan*. Jakarta: Bina Rupa Aksara.
- Megayasa, I. G. P., Candiasa, I. M., & Dantes, G. R. (2022). Analisis perkiraan biaya F&B (Makanan & Minuman) dengan metode moving average pada pola e-commerce hotel XYZ. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(1), 132–137.
- Prasetyo, T., Putri, R. A., Ramadhani, D., Angraini, Y., & Notodiputro, K. A. (2024). Perbandingan kinerja metode arima, multi-layer perceptron, dan random forest dalam peramalan harga logam mulia berjangka yang mengandung penculan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(2), 265–274.
- Sinaga, H. D. E., & Irawati, N. (2018). A medical disposable supply demand forecasting by moving average and exponential smoothing method. *Proceedings of the EAI International Conference*.
- Siregar, R. R. A., Djatna, T., Manullang, S. S. M. P., & Saputra, I. (2021). Double exponential smoothing berimputasi LOCF dan linear interpolation dalam akurasi peramalan harga harian emas. *Kilat*, 10(1), 208–222.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Suhendra, C. A., Asfi, M., Lestari, W. J., & Syafrinal, I. (2021). Sistem peramalan persediaan sparepart menggunakan metode weight moving average dan reorder point. *Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*, 20(2), 343–354.
- Vironika, J., Astawa, I. B. M., & Citra, I. P. A. (2014). Analisis tingkat kepadatan lalu lintas di Kecamatan Denpasar Barat. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 2(1), 1-11.
- Wesnawa, I. G. A. (2022). Pengembangan pariwisata perdesaan Bali: Integrasi potensi, kearifan lokal dan ekonomi kreatif. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 11(1), 149–160.