

PERAMALAN PERGERAKAN LALU LINTAS UDARA DI BANDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI MENGGUNAKAN ANALISIS INTERVENSI

Indah Larasati Wiryaningrum¹, I Wayan Sumarjaya^{2§}, Kartika Sari³

¹Program Studi Matematika, FMIPA – Universitas Udayana [Email: indahlaraasati@gmail.com]

²Program Studi Matematika, FMIPA – Universitas Udayana [Email: sumarjaya@unud.ac.id]

³Program Studi Matematika, FMIPA – Universitas Udayana [Email: sarikaartika@unud.ac.id]

[§]Corresponding Author

ABSTRACT

The aim of this research is to model and forecast air traffic movements at I Gusti Ngurah Rai International Airport that contains an intervention. The intervention analysis consisted of two functions, namely the step function and the pulse function. The step function intervention represents an intervention event that has a long-term effect while the pulse function intervention represents an intervention event that occurs at a certain time. The data before the intervention occurred was modeled using the autoregressive integrated moving average (ARIMA) method which was then continued with intervention analysis. The ARIMA model is used to determine the intervention order b , s , and r . In this study, the pulse function intervention analysis was used to examine data on the number of aircraft at I Gusti Ngurah Rai International Airport, both domestic and international flights in the period January 2013 to July 2020. This research predicts the number of aircraft at the airport for the period August 2020 to December 2020. From results suggest that the ARIMA(2,1,3) model suitable for this air traffic movements with the intervention order $b = 2$, $s = 1$, dan $r = 0$ with MAPE 18,87%.

Keywords: aircraft forecast, ARIMA, forecasting, intervention analysis, pulse function

1. PENDAHULUAN

Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia (2017) menyatakan bahwa terdapat 296 bandar udara di Indonesia. Dari jumlah tersebut, 27 bandara di antaranya merupakan bandara internasional dan salah satunya adalah Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai di Bali.

Provinsi Bali sebagai tujuan pariwisata utama di Indonesia terkenal dengan keindahan wisata alamnya. Di samping itu, sekarang juga sudah banyak tempat-tempat wisata baru yang lebih kekinian dan *instagrammable* yang sangat diminati oleh wisatawan untuk berburu (*hunting*) foto.

Banyak akses untuk dapat masuk ke Pulau Bali, salah satunya yaitu melalui jalur udara. Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai menampung hingga 23 juta orang per tahun sehingga tidaklah mengherankan apabila bandara ini termasuk bandara tersibuk di Indonesia.

Peningkatan jumlah penumpang yang berubah setiap tahunnya menyebabkan berubahnya pergerakan lalu lintas udara di bandara ini. Pergerakan lalu lintas udara yang dimaksud yaitu jumlah pesawat yang beroperasi di bandara ini.

Pergerakan lalu lintas udara yang selalu berubah setiap tahunnya menuntut pihak bandara dan maskapai untuk dapat memiliki informasi yang tepat tentang peramalan pergerakan ini sehingga dapat melayani dan memenuhi permintaan masyarakat umum. Bukan hanya itu, mengingat sedang terjadinya pandemi Covid-19, peramalan juga sangat dibutuhkan oleh pihak-pihak tersebut agar memiliki kesiapsiagaan terhadap permintaan masyarakat umum saat keadaan mulai normal kembali. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan pergerakan lalu lintas di Bandara I Gusti Ngurah Rai dan menghitung nilai akurasi peramalan.

2. METODE PENELITIAN

Peramalan adalah tahap pertama untuk melakukan proses pengambilan keputusan. Peramalan dapat menciptakan gambaran masa yang akan datang dan sebagai pendorong semua aktivitas perencanaan. Model peramalan yang baik akan menghasilkan galat sekecil mungkin sehingga hasil peramalan pada masa yang akan datang dapat dimaksimalkan (Loupatty, 2007).

Data yang akan digunakan dalam peramalan harus bersifat stasioner, baik stasioner terhadap varians maupun terhadap nilai tengah. Kestasioneran data terhadap varians dapat dilihat ketika nilai variansnya berfluktuasi secara konstan dari waktu ke waktu. Uji Bartlett dapat digunakan untuk memeriksa data dalam varians. Misalkan n menyatakan ukuran sampel, K menyatakan jumlah sampel acak, $N = \sum_{i=1}^K n_i$, MSE menyatakan *mean squared error*, S menyatakan varians sampel, dan C menyatakan faktor koreksi. Uji Bartlett B dinyatakan oleh formula berikut:

$$B = \frac{1}{C} \left\{ (N - K) \ln(\text{MSE}) - \sum_{i=1}^K (n_i - 1) \ln(S_i^2) \right\}. \quad (1)$$

Transformasi data bertujuan agar data deret waktu stasioner terhadap variansnya (Wei, 2006). Salah satu transformasi ini adalah transformasi Box-Cox. Transformasi ini didefinisikan oleh (Wanto, 2016)

$$T(Z_t) = \begin{cases} \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} & ; \lambda \neq 0 \\ \ln Z_t & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad (2)$$

dengan Z_t menyatakan deret waktu dan λ menyatakan nilai yang bersesuaian untuk transformasi.

Kestasioneran data yang berkorelasi dengan nilai tengah diperiksa melalui metode *augmented Dickey-Fuller test* (uji ADF) yang dinyatakan oleh statistik DF_τ dan didefinisikan sebagai:

$$DF_\tau = \frac{\hat{\delta}}{\text{SE}(\hat{\delta})} \quad (3)$$

dengan $\text{SE}(\hat{\delta})$ adalah galat baku dari $\hat{\delta}$.

Proses pembedaan (*differencing*) memegang peranan penting dalam mengubah data deret waktu yang tidak stasioner terhadap nilai tengah menjadi data yang stasioner. Menurut Pankratz (1991) operator ∇ dapat digunakan dalam melakukan pembedaan. Pembedaan orde pertama ($d = 1$) pada Z_t didefinisikan sebagai

$$\begin{aligned} \nabla Z_t &= Z_t - Z_{t-1} \\ &= Z_t - BZ_t \\ &= (1 - B)Z_t \end{aligned} \quad (4)$$

dengan Z_t merupakan data pada waktu t , B merupakan *back-shift* operator yang didefinisikan sebagai $B^d Z_t = Z_{t-d}$, dan d menyatakan orde *differencing*.

Perubahan pola data pada satu waktu tertentu akibat peristiwa yang terjadi di luar dugaan baik yang berasal dari internal maupun eksternal merupakan bentuk intervensi. Perubahan data secara ekstrem dapat dimodelkan menggunakan analisis intervensi. Secara umum variabel intervensi dapat dibagi menjadi dua: intervensi fungsi tangga dan intervensi fungsi denyut. Fungsi tangga dapat digunakan untuk memodelkan intervensi yang terjadi dalam kurun waktu yang cukup panjang, sedangkan fungsi denyut digunakan untuk memodelkan intervensi yang terjadi hanya dalam suatu waktu tertentu.

Pemilihan model terbaik untuk melakukan peramalan, dimulai melalui menghitung nilai kriteria informasi AIC dan MSE. Nilai AIC didefinisikan sebagai

$$\text{AIC} = \ln \hat{\sigma}^2 + \left(\frac{2}{n}\right) r^2 \quad (5)$$

dengan n menyatakan jumlah amatan, $\hat{\sigma}^2$ menyatakan residual dari jumlah kuadrat dibagi n dan r menyatakan jumlah parameter pada model ARIMA. Selanjutnya, MSE didefinisikan sebagai

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{t=1}^n (a_t - f_t)^2}{n} \quad (6)$$

dengan a_t menyatakan data sesungguhnya, f_t menyatakan ramalan, dan n menyatakan jumlah data. Nilai AIC dan MSE yang kecil mengindikasikan model yang baik.

Setelah mendapatkan ramalan dari model terbaik, langkah berikutnya adalah menghitung nilai akurasi ramalan menggunakan MAPE yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{MAPE} = 100 \times \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{a_t - f_t}{a_t} \right|}{n} \quad (7)$$

dengan a_t menyatakan nilai sesungguhnya, f_t menyatakan nilai ramalan, dan n menyatakan jumlah data.

Nilai MAPE mengindikasikan akurat atau tidaknya ramalan. Rentang nilai MAPE untuk melihat suatu keakuratan ramalan dapat dilihat pada Tabel 1 (lihat Chen *et al.* 2003).

Tabel 1. Rentang Nilai MAPE

Rentang MAPE (%)	Kriteria ramalan
< 10%	Sangat baik
11 – 20%	Baik
21 – 50%	Layak
> 51%	Buruk

Penelitian ini menggunakan metode ARIMA untuk identifikasi awal kasus dengan data yang digunakan tidak mengandung faktor musiman. Selanjutnya dilakukan analisis intervensi fungsi denyut dalam meramalkan pergerakan pesawat udara di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data bulanan jumlah pesawat baik domestik maupun internasional yang beroperasi di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai yang berjumlah 91 data pada periode Januari 2013—Juli 2020. Data diperoleh dari rekapan data angkutan udara Kantor Otoritas Bandara Wilayah IV.

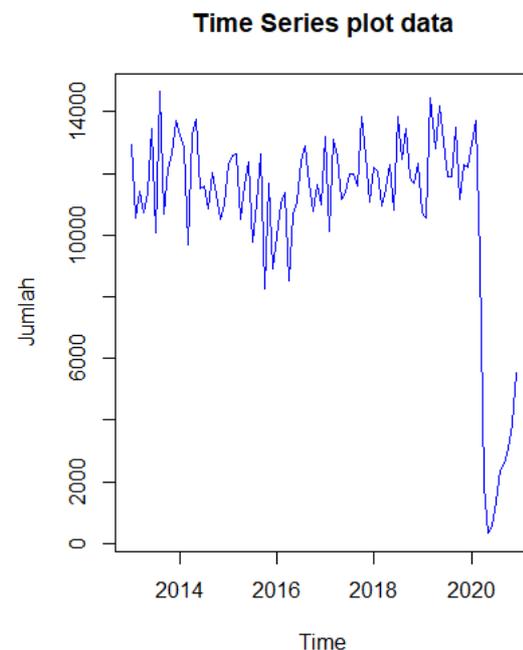
Tahapan-tahapan dalam analisis intervensi ini adalah sebagai berikut:

1. menginventaris data jumlah pesawat setiap bulan yang beroperasi di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai baik penerbangan domestik maupun internasional;
2. membuat plot data untuk melihat pola data terutama melihat titik terjadinya intervensi;
3. memeriksa kestasioneran data terhadap varians dengan menggunakan uji Bartlett seperti pada persamaan (1); transformasi Box-Cox seperti pada persamaan (2) dilakukan jika data tidak stasioner terhadap varians;
4. memeriksa kestasioneran data terhadap nilai tengah menggunakan uji ADF seperti pada persamaan (3): apabila data tidak stasioner terhadap nilai tengahnya, data perlu di-*differencing* menggunakan pada persamaan (4).
5. mengidentifikasi semua kandidat model yang mungkin dengan mengamati pola ACF dan PACF data sebelum intervensi terjadi;
6. mengestimasi nilai-nilai parameter dari data sebelum intervensi pada semua kandidat model ARIMA;

7. melakukan pemeriksaan diagnosis model;
8. menghitung nilai AIC dan MSE untuk mendapatkan model ARIMA terbaik;
9. mengidentifikasi respons intervensi melalui plot residual respons intervensi;
10. menetapkan orde intervensi (b, s, r) berdasarkan pada plot residual respons intervensi;
11. mengestimasi nilai-nilai parameter intervensi;
12. melakukan pemeriksaan diagnosis model intervensi;
13. menyeleksi model terbaik intervensi berdasarkan kriteria nilai AIC dan MSE terkecil;
14. melakukan peramalan menggunakan model intervensi terbaik;
15. menghitung nilai akurasi hasil peramalan dengan menggunakan nilai MAPE.

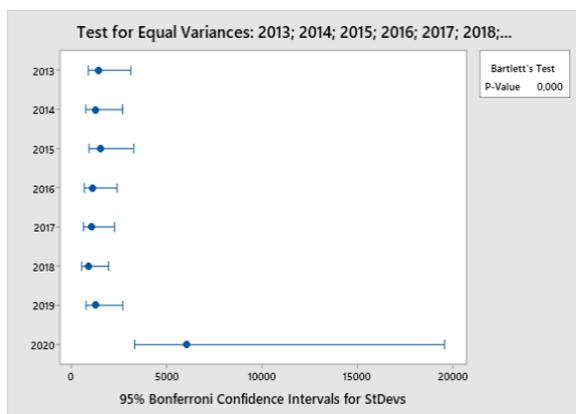
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama yaitu membentuk plot dari data yang digunakan. Hal ini berguna untuk melihat letak intervensi terjadi. Gambar 1 merupakan plot data dengan bantuan aplikasi R versi 4.2.0.



Gambar 1. Plot Data Jumlah Pesawat di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Baik Domestik Maupun Internasional Pada Januari 2013-Juli 2020

Berdasarkan plot data pada Gambar 1, terlihat bahwa data mengalami tren turun yang sangat cepat atau sangat drastis pada tahun 2020. Ini terjadi disebabkan pandemi Covid-19 pada awal tahun 2020 dan sebagai akibatnya pemerintah mengeluarkan kebijakan berupa pembatasan sosial berskala besar. Selanjutnya dilakukan pemodelan ARIMA dengan langkah awal melakukan pemeriksaan kestasioneran data terhadap varians dan dalam nilai tengah. Pemeriksaan kestasioneran data terhadap varians dilakukan dengan menggunakan uji Bartlett seperti pada persamaan (1). Uji Bartlett ini dilakukan dengan bantuan aplikasi Minitab

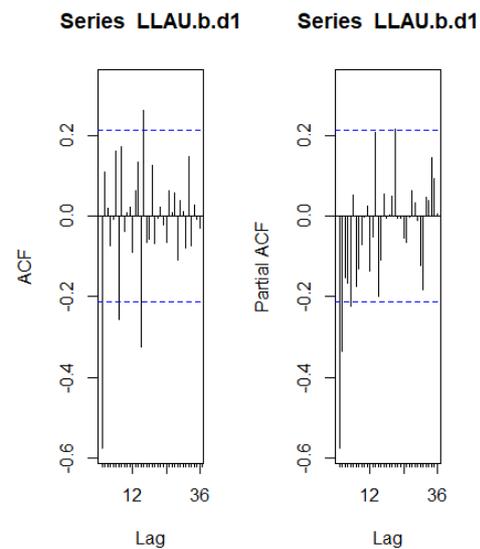


Gambar 2. Hasil Uji Bartlett Pada Data

Penelitian ini menggunakan tingkat signifikansi $\alpha = 5\%$. Berdasarkan luaran pada Gambar 2, diperoleh $p\text{-value} < 0,05$. Jadi, dapat disimpulkan bahwa data sudah stasioner terhadap varians.

Selanjutnya uji ADF dilakukan untuk memeriksa kestasioneran data terhadap nilai tengah. Uji ADF menghasilkan $p\text{-value} = 0,2357 > 0,05$. Jadi, dapat disimpulkan bahwa belum stasioner terhadap nilai tengah sehingga proses *differencing* perlu dilakukan. Setelah *di-differencing* diperoleh $p\text{value} = 0,01 < 0,05$ yang berarti bahwa data sudah stasioner terhadap nilai tengah.

Langkah berikutnya adalah pemodelan pergerakan lalu lintas menggunakan ARIMA. Tahap ini meliputi identifikasi orde ARIMA dan membuat kandidat-kandidat model yang mungkin berdasarkan plot ACF dan PACF.



Gambar 3. Plot ACF dan PACF Setelah dilakukan *Differencing* Orde 1

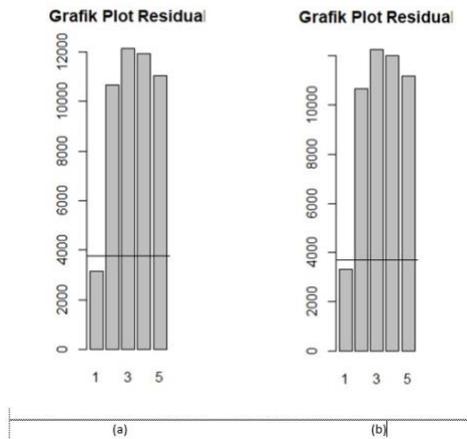
Berdasarkan plot ACF dan PACF pada Gambar 3 selanjutnya ditentukan orde untuk model ARIMA. Model-model ini dipilih lebih lanjut berdasarkan kriteria signifikansi parameter dan asumsi *white noise* serta melihat nilai AIC dan MSE. Kandidat model ARIMA disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandidat Model ARIMA

Model	Independensi residual	Normalitas residual	AIC	RMSE
ARIMA(1,1,0)	Tidak	Ya	1481,04	1424,005
ARIMA(0,1,1)	Ya	Ya	1460,06	1251,02
ARIMA(1,1,1)	Ya	Ya	1460,62	1240,557
ARIMA(2,1,0)	Ya	Ya	1462,5	1239,624
ARIMA(2,1,1)	Ya	Ya	1462,55	1240,07
ARIMA(2,1,2)	Ya	Ya	1464,67	1239,33
ARIMA(0,1,3)	Ya	Ya	1462,4	1238,859
ARIMA(1,1,3)	Ya	Ya	1464,4	1238,861
ARIMA(2,1,3)	Ya	Ya	1466,09	1229,463

Pada Tabel 2 didapatkan model ARIMA(0,1,1) dan model ARIMA(2,1,3) memenuhi syarat signifikansi parameter dan asumsi *white noise* dengan nilai AIC dan MSE terkecil.

Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi orde intervensi. Grafik plot residual respons intervensi untuk model ARIMA(0,1,1) dan model ARIMA(2,1,3) sebagai berikut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Plot Residual: (a) Model ARIMA(0,1,1) dan (b) Model ARIMA(2,1,3)

Berdasarkan plot residual model ARIMA(0,1,1) dan ARIMA(2,1,3) yang ditunjukkan pada Gambar 4 diperoleh orde intervensi yang memungkinkan yaitu $b = 2, s = 1, r = 0$ dan $b = 2, s = 0, r = 0$. Pemilihan orde b berdasarkan dampak intervensi dirasakan 2 bulan setelah intervensi terjadi yang ditandai dengan semua lag yang keluar dari batas signifikansi.

Selanjutnya dilakukan pemilihan model terbaik. Model yang baik yaitu model yang memenuhi syarat signifikansi parameter dan memenuhi asumsi *white noise* dengan nilai AIC dan MSE terkecil. Kandidat model intervensi terbaik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandidat Model Intervensi

Model	Independensi residual	Normalitas residual	AIC	RMSE
ARIMA(0,1,1) $b=2, s=1, r=0$	Ya	Ya	1589,89	1760,735
ARIMA(0,1,1) $b=2, s=0, r=0$	Ya	Ya	1611,05	1813,368
ARIMA(2,1,3) $b=2, s=1, r=0$	Ya	Ya	1588,17	1642,547
ARIMA(2,1,3) $b=2, s=0, r=0$	Ya	Ya	1609,77	1682,688

Pada Tabel 3 didapatkan model model ARIMA(2,1,3) yang memenuhi syarat signifikansi parameter dan asumsi *white noise* dengan nilai AIC dan MSE terkecil.

Langkah selanjutnya adalah meramalkan jumlah pesawat baik domestik maupun internasional di Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai pada Agustus 2020—Desember 2020 menggunakan model ARIMA(2,1,3) dengan orde $b = 2, s = 1, dan r = 0$.

Tabel 4. Hasil Peramalan dan Data Aktual

Indeks Waktu (t)	Data Aktual (a)	Ramalan (f)
1	2.104	1.913
2	1.413	1.053
3	1.079	990
4	1.502	1.624
5	2.722	1.539

Dari hasil ramalan dan data aktual pada Tabel 4 langkah berikutnya adalah menghitung akurasi peramalan. Keakuratan peramalan dapat dilihat dari nilai MAPE. Berdasarkan data pada Tabel 4 didapatkan nilai MAPE 18,87%. Nilai MAPE ini mengindikasikan hasil peramalan dikatakan baik berdasarkan kriteria pada Tabel 1.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Peramalan menggunakan analisis intervensi fungsi denyut untuk empat periode ke depan yaitu Agustus 2020—Desember 2020 yaitu 1.913, 1.053, 990, 1.624, dan 1.539. Nilai akurasi ramalan dengan data aktual menghasilkan nilai MAPE = 18,87% yang berarti hasil peramalan baik dan akurat sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan data pergerakan lalu lintas pada periode selanjutnya.

Bagi peneliti selanjutnya dapat menggunakan metode analisis intervensi dengan jenis variabel yang berbeda dan periode data yang panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, R. J. C, Bloomfield, P. & Fu, J.S. (2003). An evaluation of alternative forecasting methods to recreation visitation. *Journal of Leisure Research*. 35 (4), 441-454. <https://doi.org/10.1080/00222216.2003.11950005>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2017). Daftar bandar udara di Indonesia. <https://hubud.dephub.go.id/hubud/website/bandara>
- Loupatty, G. (2007). Prakiraan curah hujan Kecamatan Kairatu Kabupaten Seram bagian barat dengan model autoregressive integrated moving average (ARIMA). *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 1(2), 40—48. <https://doi.org/10.30598/barekengvol1iss2pp40-48>
- Pankratz, A. (1991). *Forecasting with dynamic regression models*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118150528>
- Wanto, K. (2016). Analisis intervensi data deret waktu untuk peramalan pendapatan domestik bruto Indonesia. Skripsi. Universitas Negeri Jakarta).
- Wei, W. W. (2006). *Time series analysis: univariate and multivariate methods*. (second ed). Pearson.