
Penerapan Algoritma Kalman Filter dalam Prediksi Kecepatan Angin di Kota Balikpapan

Irma Fitria¹, Primadina Hasanah²

^{1,2}Program Studi Matematika, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan.

Email: ¹irma.fitria@itk.ac.id, ²primadina@itk.ac.id

Abstract

One of the climate's elements that has an influence on daily activities is the wind speed. Wind is a movement of air that flows from high pressure to low pressure region. In the shipping and aviation, wind speed is a very important thing to predict. This is due to the wind speed is very influential on the process of the transportation activities. A strong wind can disturb the fluency of transportation. Therefore, information regarding the wind speed prediction is very important to know. In this paper, Kalman Filter algorithm is applied in the wind speed prediction by taking the case in Balikpapan. In this case, the Kalman Filter algorithm is applied to improve the result of ARIMA prediction based on error correction, so we get the prediction result, called ARIMA-Kalman Filter. Based on the simulation result in this study, it can be shown that the prediction result of ARIMA-Kalman Filter is better than ARIMA's. This is known from the level of accuracy from ARIMA-Kalman Filter, which increased about 62.5% from ARIMA result.

Keywords: ARIMA, Kalman Filter, Wind Speed Prediction.

Abstrak

Salah satu unsur iklim yang memiliki pengaruh terhadap kegiatan sehari-hari adalah kecepatan angin. Angin merupakan suatu gerak udara yang mengalir dari tempat bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah. Dalam dunia pelayaran dan penerbangan, kecepatan angin merupakan hal yang sangat penting untuk diprediksi. Hal ini disebabkan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap jalannya kegiatan transportasi tersebut. Kencangnya angin dapat mengganggu kelancaran transportasi. Oleh sebab itu, informasi mengenai prediksi kecepatan angin merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui. Dalam paper ini, diterapkan algoritma Kalman Filter dalam prediksi kecepatan angin dengan mengambil kasus kota Balikpapan. Dalam hal ini, algoritma Kalman Filter diterapkan untuk memperbaiki hasil prediksi ARIMA yang didasarkan pada koreksi error, sehingga didapatkan hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter. Dari hasil simulasi pada penelitian ini, dapat ditunjukkan bahwa hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter lebih baik dibandingkan hasil prediksi ARIMA. Hal ini terlihat dari tingkat akurasi ARIMA-Kalman Filter yang meningkat sebesar 62.5% dari hasil prediksi ARIMA.

Kata Kunci: ARIMA, Kalman Filter, Prediksi Kecepatan Angin.

1. Pendahuluan

Angin adalah salah satu unsur iklim, selain dari pada suhu, kelembaban udara, curah hujan, dan tekanan udara. Angin merupakan suatu gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Menurut Prawirowardoyo (1996), angin adalah gerak nisbi terhadap permukaan bumi. Angin bergerak dari suatu daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Dalam kehidupan sehari-hari, angin memiliki banyak pengaruh, khususnya bagi aktivitas nelayan, transportasi kapal, dan juga penerbangan.

Prediksi kecepatan angin merupakan suatu hal yang sangat bermanfaat bagi ketiga aktivitas tersebut. Bagi para nelayan, kecepatan angin merupakan salah satu faktor yang sangat dipertimbangkan sebagai penentu waktu yang tepat untuk berlayar, karena berpengaruh terhadap tinggi rendahnya gelombang laut. Besarnya kecepatan angin sangat berpotensi terhadap tingginya gelombang laut. Begitu pula dalam aktivitas transportasi kapal dan penerbangan, kecepatan angin menjadi faktor yang sangat diperhitungkan demi keselamatan pelayaran dan penerbangan. Kencangnya angin dapat sangat mengganggu jalannya kapal dan pesawat terbang, bahkan bahayanya dapat sampai mengakibatkan terjadinya kecelakaan. Menurut data yang tercatat di Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB),

terdapat 5 kasus kecelakaan transportasi yang diakibatkan oleh kencangnya angin pada tahun 2012-2014. Oleh sebab itu, informasi mengenai prediksi kecepatan angin merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui, khususnya bagi pelayaran dan penerbangan.

Salah satu metode yang dapat diaplikasikan dalam melakukan prediksi adalah ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Pada tahun 1970, Box dan Jenkins memperkenalkan metode tersebut, yang merupakan suatu metode analisa data secara teknikal dengan memperhatikan pola dari data masa lalu, kemudian membentuk suatu model peramalan. Beberapa penelitian yang telah menerapkan metode tersebut dalam prediksi adalah Sutikno, dkk. (2010) untuk melakukan prakiraan cuaca di stasiun Juanda Surabaya, Ramdani, A. L., (2011) dalam peramalan suhu udara di sekitar Palangkaraya, Machmudin, A., dkk. (2012) dalam peramalan temperatur udara di Kota Surabaya, dan Faulina, R. (2014) peramalan curah hujan di Kota Batu, Malang, Jawa Timur.

Dalam suatu konsep prediksi, tingkat akurasi dari hasil peramalan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Dalam hal ini, akurasi dari hasil peramalan ARIMA dapat ditingkatkan dengan mengombinasikan metode tersebut dengan metode lain, sebagai contoh dengan menerapkan algoritma Kalman Filter. Kalman Filter merupakan suatu metode estimasi yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi satu langkah ke depan. Pada tahun 2006, Galanis, G., dkk. menerapkan Kalman Filter untuk memprediksi cuaca, Tresnawati, R., dkk. (2010) untuk memprediksi curah hujan bulanan, Kurniawan, T., dkk. menerapkan Kalman Filter dalam perbaikan hasil prediksi cuaca dengan metode ARIMA, dan Fitria, I., dkk. (2016) juga menerapkan ARIMA-Kalman Filter dalam memprediksi harga saham.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode ARIMA untuk membangun suatu model peramalan, dengan mengambil kasus kecepatan angin Kota Balikpapan. Setelah itu, algoritma Kalman Filter diterapkan untuk melakukan perbaikan terhadap hasil peramalan kecepatan angin dari model ARIMA, sehingga didapatkan hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter. Adapun hasil prediksi dari ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter dibandingkan dengan menghitung nilai error menggunakan kriteria MAE (*Mean Absolute Error*). Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini disebutkan pada bagian 2 paper ini. Selanjutnya pada bagian 3, dijelaskan mengenai analisis hasil dan pembahasan, yang meliputi alur pengerjaan secara lebih detail dan hasil simulasi numerik beserta analisisnya. Kemudian pada bagian akhir, diberikan suatu kesimpulan dari penelitian ini.

2. Metode

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa langkah yang harus dikerjakan, antara lain:

- a) Pengumpulan data
- b) Analisis kestasioneran data
- c) Identifikasi model ARIMA
- d) Uji asumsi model
- e) Penerapan algoritma Kalman Filter
- f) Simulasi prediksi kecepatan angin
- g) Analisis hasil dan pembahasan
- h) Penarikan kesimpulan

3. Hasil dan Pembahasan

Tahap pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data. Adapun data yang digunakan adalah data bulanan kecepatan angin Kota Balikpapan dari Januari 2013 – Desember 2015. data tersebut dibagi menjadi dua, yaitu data *in sample* dan *out sample*. Data yang digunakan sebagai data *in sample* adalah data bulan Januari 2013 – Juni 2015, sedangkan data Juli 2015 – Desember 2015 digunakan sebagai data *out sample* dari hasil prediksi. Gambar 1 merupakan *time series plot* dari data kecepatan angin kota Balikpapan Januari 2013 – Juni 2015.

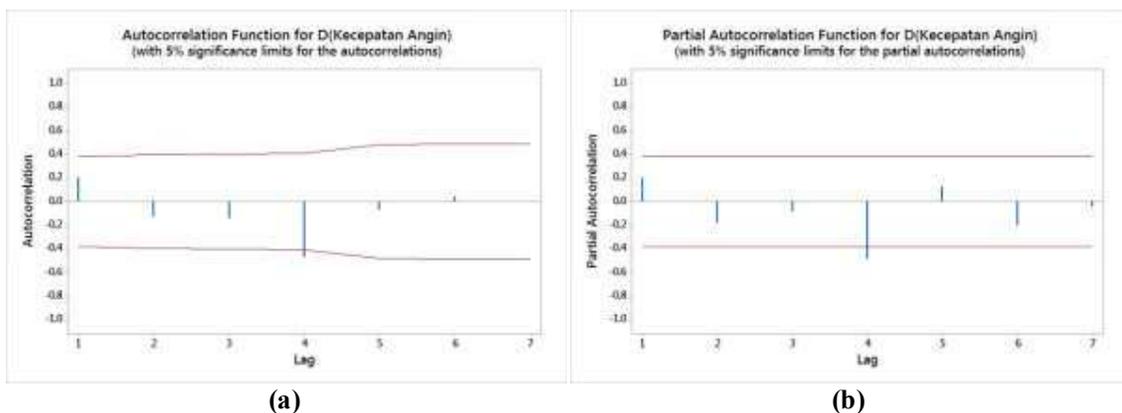


Gambar 1 : Kecepatan Angin Kota Balikpapan Januari 2013 – Juni 2015

Prediksi kecepatan angin dilakukan dengan membentuk suatu model peramalan menggunakan metode ARIMA terlebih dahulu. Kemudian, algoritma Kalman Filter diterapkan untuk menghitung prediksi kecepatan angin yang didasarkan pada koreksi error peramalan model ARIMA, sehingga didapatkan hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter.

Salah satu syarat suatu data dapat diramalkan dengan baik adalah data tersebut berada dalam kondisi stasioner. Data stasioner merupakan suatu istilah yang berarti bahwa proses yang dibangkitkan oleh data berada dalam keseimbangan di sekitar nilai yang konstan selama waktu tertentu. Menurut Makridakis, dkk (1999), stasioneritas *time series* merupakan suatu keadaan jika proses pembangkitan yang mendasari suatu deret berkala didasarkan pada nilai tengah konstan dan nilai varians konstan. Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa data masih belum stasioner. Selain itu, pada penelitian ini kami juga melakukan uji stasioner data menggunakan *unit root test Augmented Dickey-Fuller*. Informasi lebih lanjut mengenai konsep *unit root test* dapat dilihat melalui (Fitria, I., 2016). Dari hasil uji tersebut, dapat disimpulkan bahwa data belum stasioner sehingga perlu dilakukan *differencing*.

Setelah data berada dalam kondisi stasioner, selanjutnya dilakukan plot ACF (*Autocorrelation Function*) dan PACF (*Partial Autocorrelation Function*) data untuk mengidentifikasi model ARIMA yang sesuai. Gambar 2 (a) dan (b) masing-masing menunjukkan plot ACF dan PACF dari data kecepatan angin dengan *differencing*.



Gambar 2 : Plat (a) ACF dan (b) PACF Data

Dari hasil plot ACF dan PACF, masing-masing terdapat satu lag yang berbeda nyata dari nol, atau terputus pada lag ke-4. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diperoleh dugaan model-model ARIMA antara lain: ARIMA([4],1,0), ARIMA(0,1,[4]), dan ARIMA([4],1,[4]).

Setelah mengidentifikasi model, selanjutnya dilakukan uji asumsi model yang meliputi uji signifikansi parameter serta uji residual bersifat *white noise* dan berdistribusi normal. Pada penelitian ini, parameter dari setiap model terlebih dahulu diestimasi menggunakan metode *Least Square*, setelah itu dilakukan uji signifikansinya. Adapun residual dari setiap model diuji menggunakan *Ljung-Box test* untuk mengecek sifat *white noise* dan untuk melihat normalitasnya digunakan uji Kolmogorov-Smirnov, sebagaimana yang dijelaskan pada (Fitria, I., dkk., 2016). Tabel 1 menunjukkan hasil uji asumsi dari setiap alternatif model ARIMA.

Tabel 1 : Hasil Uji Asumsi Model ARIMA Kecepatan Angin

Model	Uji Signifikan Parameter	Residual Bersifat <i>White Noise</i>	Residual Berdistribusi Normal	Kesimpulan Model
ARIMA([4],1,0) dengan konstanta	×			Tidak Memenuhi
ARIMA([4],1,0) tanpa konstanta	✓	✓	✓	Memenuhi
ARIMA(0,1,[4]) dengan konstanta	×			Tidak Memenuhi
ARIMA(0,1,[4]) tanpa konstanta	✓	✓	✓	Memenuhi
ARIMA([4],1,[4]) dengan konstanta	×			Tidak Memenuhi
ARIMA([4],1,[4]) tanpa konstanta	×			Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 1, model yang memenuhi semua asumsi adalah ARIMA([4],1,0) tanpa konstanta dan ARIMA(0,1,[4]) tanpa konstanta. Selanjutnya, dilakukan *overfitting* model, yaitu pemilihan model terbaik yang didasarkan pada nilai AIC dan SC yang paling minimum (Paul, J. C., dkk., 2013). Berdasarkan nilai AIC dan SC pada Tabel 2, diperoleh model peramalan terbaik yaitu ARIMA(0,1,[4]) tanpa konstanta dengan model sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 (1 - B)\hat{Z}_t &= (1 - \theta_4 B^4)a_t \\
 \hat{Z}_t - B\hat{Z}_t &= a_t - \theta_4 B^4 a_t \\
 \hat{Z}_t - \hat{Z}_{t-1} &= a_t - \theta_4 a_{t-4} \\
 \hat{Z}_t &= \hat{Z}_{t-1} + a_t - \theta_4 a_{t-4} \\
 \hat{Z}_t &= \hat{Z}_{t-1} + a_t + 0.876530 a_{t-4}
 \end{aligned} \tag{1}$$

dengan \hat{Z}_t adalah nilai prediksi kecepatan angin pada waktu t , dan a_t adalah nilai galat dari hasil prediksi pada waktu t .

Tabel 2 : *Overfitting* Model ARIMA

Model	AIC	SC
ARIMA([4],1,0) tanpa konstanta	2.122402	2.171157
ARIMA(0,1,[4]) tanpa konstanta	1.633758	1.432939

Tahap selanjutnya adalah menerapkan algoritma Kalman Filter pada hasil peramalan menggunakan model (1). Kalman Filter diterapkan pada suatu pengamatan z_k , yaitu error peramalan ARIMA yang dapat dinyatakan sebagai (Fitria, I., 2016):

$$z_k = a_{0,k} + a_{1,k} m_k + a_{2,k} m_k^2 + \dots + a_{n-1,k} m_k^{n-1} + \varepsilon_k \tag{2}$$

dengan $a_{j,k}$ adalah parameter yang harus diestimasi, m_k adalah output ARIMA, dan ε_k adalah *noise* model. Persamaan (2) dapat direpresentasikan kedalam bentuk

$$[z]_k = [1 \ m \ m^2 \ \dots \ m^{n-1}]_k \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{n-1} \end{bmatrix}_k + \varepsilon_k$$

Dalam hal ini, dapat dibentuk suatu model sistem sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A_k x_k + G_k w_k \\ \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{n-1} \end{bmatrix}_{k+1} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{n-1} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} w_k \end{aligned}$$

dengan w_k merupakan vektor *noise* sistem, $w_k \sim N(0, Q_k)$ dan Q_k adalah matriks kovarian. Kemudian, model pengukuran diberikan oleh Persamaan (2) dengan matriks pengukuran

$$H_k = [1 \ m \ m^2 \ \dots \ m^{n-1}]_k.$$

Adapun algoritma Kalman Filter diberikan sebagai berikut (Lewis, J. M., dkk., 2009):
Diberikan model sistem dan pengukuran

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k + \mathbf{G}_k \mathbf{w}_k \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \\ \mathbf{x}_0 &\sim N(\bar{\mathbf{x}}_0, \mathbf{P}_{x_0}); \quad \mathbf{w}_k \sim N(0, \mathbf{Q}_k); \quad \mathbf{v}_k \sim N(0, \mathbf{R}_k). \end{aligned}$$

Tahap prediksi

Estimasi:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^- = \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{x}}_k + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_k.$$

Kovarian error:

$$\mathbf{P}_{k+1}^- = \mathbf{A}_k \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k^T + \mathbf{G}_k \mathbf{Q}_k \mathbf{G}_k^T.$$

Tahap koreksi

Kalman Gain:

$$\mathbf{K}_{k+1} = \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_{k+1}^T (\mathbf{H}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^- \mathbf{H}_{k+1}^T + \mathbf{R}_{k+1})^{-1}.$$

Estimasi:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k+1} = \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^- + \mathbf{K}_{k+1} (\mathbf{z}_{k+1} - \mathbf{H}_{k+1} \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^-).$$

Kovarian error:

$$\mathbf{P}_{k+1} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{H}_{k+1}) \mathbf{P}_{k+1}^-.$$

Setelah algoritma Kalman Filter diterapkan, kemudian dihitung prediksi kecepatan angin dari ARIMA-Kalman Filter. Dalam melihat pengaruh implementasi Kalman Filter pada prediksi kecepatan angin, dilakukan perbandingan dari hasil prediksi ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter menggunakan nilai kriteria error MAE (*Mean Absolute Error*) yang diberikan oleh rumus:

$$e = \frac{|Z_t - \hat{Z}_t|}{n}$$

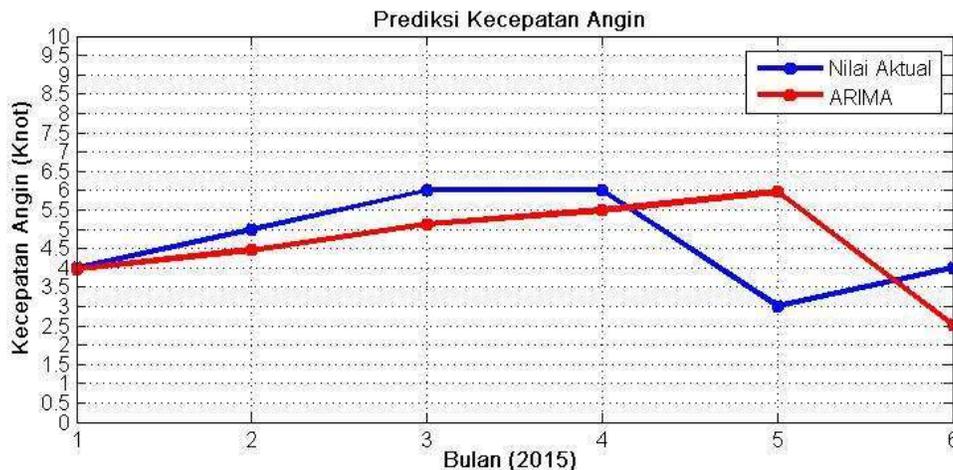
dengan Z_t dan n masing-masing menunjukkan nilai aktual kecepatan angin pada Juli 2015 – Desember 2015 dan jumlah banyaknya data yang diprediksi.

Selanjutnya, diberikan hasil simulasi dan analisis dari prediksi kecepatan angin dengan menggunakan model ARIMA dan penerapan Kalman Filter sehingga didapat hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter (AKF). Dalam penerapan Kalman Filter, kami menggunakan polinomial orde tiga dan matriks kovarians $Q(t_i) = qI_{3 \times 3}$ dengan $q = 0.01$ dan $R(t_i) = 0.1$. Hasil simulasi dari prediksi kecepatan angin kota Balikpapan untuk bulan Juli 2015 – Desember 2015 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 : Hasil Prediksi Kecepatan Angin (Knot)

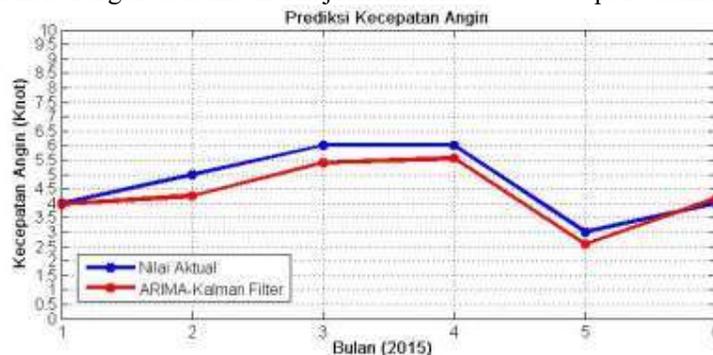
Bulan (2015)	Nilai Aktual	Prediksi ARIMA	Prediksi AKF
Juli	4	3.967559	3.967559
Agustus	5	4.462792	4.250622
September	6	5.120069	5.407698
Oktober	6	5.488021	5.553758
November	3	5.971565	2.572007
Desember	4	2.529121	4.153086

Gambar 4 merupakan perbandingan hasil prediksi kecepatan angin menggunakan model peramalan ARIMA dengan nilai aktual dari data kecepatan angin di Balikpapan pada Bulan Juli 2015 sampai Desember 2015, yang secara berurutan ditunjukkan oleh Bulan 1 sampai 6.

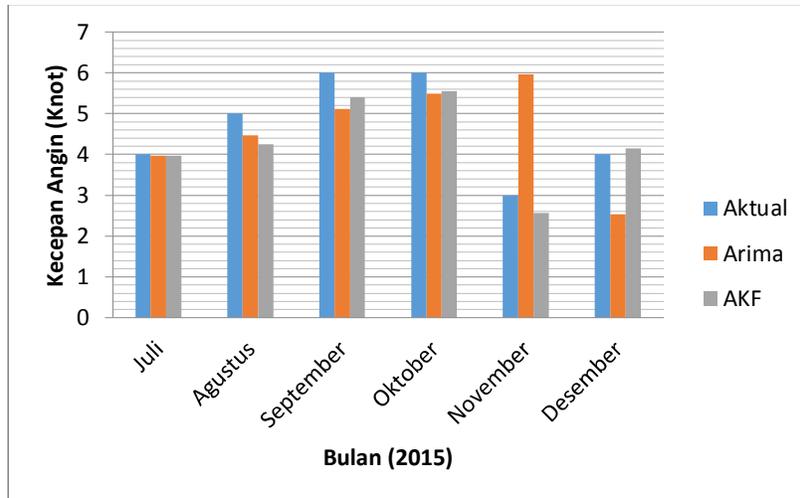


Gambar 4 : Perbandingan Hasil Prediksi Model ARIMA dengan Nilai Aktual Kecepatan Angin Balikpapan pada Juli 2015 – Desember 2015

Adapun Gambar 5 menunjukkan perbandingan hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter dengan data aktual kecepatan angin. Jika dibandingkan hasil prediksi menggunakan model ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter pada Gambar 4 dan Gambar 5, terlihat bahwa hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter lebih mendekati data aktual dibandingkan dengan hasil ARIMA. Perbandingan antara hasil ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter dengan data aktual disajikan melalui *Bar Chart* pada Gambar 6.

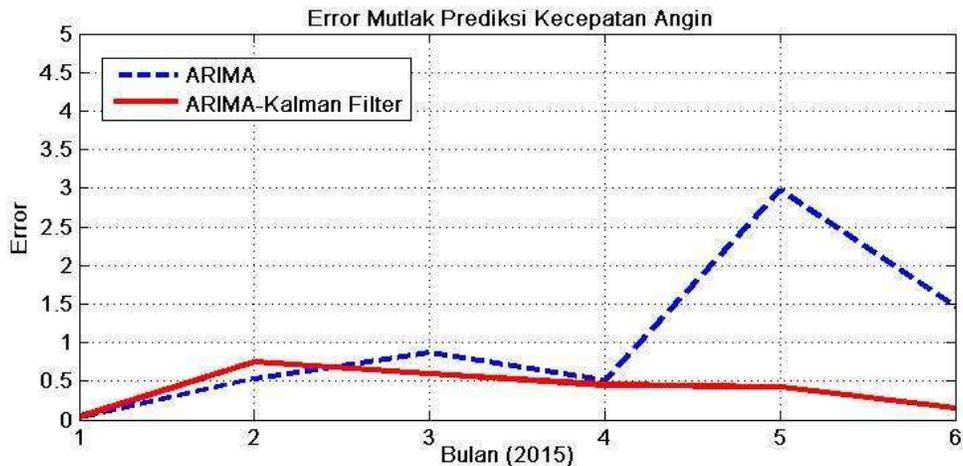


Gambar 5 : Perbandingan Hasil Prediksi Model ARIMA-Kalman Filter dengan Nilai Aktual Kecepatan Angin Balikpapan pada Juli 2015 – Desember 2015



Gambar 6 : Tampilan *Bar Chart* Nilai Aktual dan Hasil Prediksi Kecepatan Angin Balikpapan Juli 2015 – Desember 2015

Dari hasil simulasi ini, dilakukan perhitungan nilai *error* dari prediksi kecepatan angin menggunakan kriteria MAE untuk masing-masing metode. Gambar 7 merupakan grafik dari *error* prediksi ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter di setiap bulan dan nilai numeriknya diberikan pada Tabel 4.



Gambar 7 : Grafik *Error* Mutlak Prediksi Kecepatan Angin Balikpapan Juli 2015 – Desember 2015

Tabel 4 : Perbandingan *Error* ARIMA dan ARIMA-Kalman Filter (AKF) Per Bulan

Bulan (2015)	Error Arima	Error AKF
Juli	0.032441	0.032441
Agustus	0.537208	0.749378
September	0.879931	0.592302
Oktober	0.511979	0.446242
November	2.971565	0.427993
Desember	1.470879	0.153086

Dari nilai *error* prediksi kecepatan angin kota Balikpapan pada bulan Juli 2015 sampai Desember 2015, diperoleh nilai MAE prediksi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 : Perbandingan Nilai MAE Prediksi

Metode Prediksi	Nilai MAE
ARIMA	1.067334
AKF	0.400240

Berdasarkan nilai MAE pada Tabel 5, jelas terlihat bahwa hasil prediksi kecepatan Angin menggunakan ARIMA-Kalman Filter lebih baik dibandingkan dengan ARIMA, karena memiliki nilai *error* yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa, adanya penerapan algoritma kalman filter pada hasil prediksi ARIMA dapat meningkatkan akurasi ramalan sebesar 62.5% yang terlihat dari berkurangnya nilai MAE hasil prediksi menggunakan ARIMA-Kalman Filter.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa algoritma Kalman Filter dapat diterapkan dengan baik untuk memprediksi kecepatan angin kota Balikpapan pada Bulan Juli 2015 – Desember 2015. Dengan adanya implementasi kalman filter pada model ARIMA, hasil prediksi ARIMA-Kalman Filter menjadi lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya nilai MAE prediksi kecepatan angin kota Balikpapan dari 1.067334 menggunakan model ARIMA menjadi 0.400240 setelah menerapkan algoritma Kalman Filter.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan, dorongan, dan saran-saran dari rekan-rekan dosen terhadap penelitian ini. Selain itu, penulis juga memberikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada pihak LPPM (Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat) ITK beserta panitia yang telah menyelenggarakan Konferensi Nasional Perubahan Iklim ini dan memberikan bantuan finansial, sehingga paper ini dapat dipublikasikan.

Daftar Pustaka

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), Data Kejadian Kecelakaan Transportasi 2011-2014. Diakses melalui <http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/datakctransportasi.php> pada 31 Oktober 2016.
- Faulina, R., (2014), "Perbandingan Akurasi *Ensemble* ARIMA dalam Peramalan Curah Hujan di Kota Batu, Malang, Jawa Timur", *Jurnal Matematika, Sains, dan Teknologi*, Vol. 15, No. 2, Hal. 75-83.
- Fitria, I., dkk., (2016), "Investment Management Using Portfolio Optimization with Stock Price Forecasting", *Hikari Ltd., Applied Mathematical Sciences*, Vol. 10, 2016, No. 48, Hal. 2405-2413.
- Fitria, I., (2016), Optimasi Portofolio Dalam Manajemen Investasi Saham Berdasarkan Pada Prediksi Harga Saham, Tesis Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Galanis, G., Louka P., Katsafados, P., Kallos, G., dan Phytharoulis, I. (2006). "Application of Kalman Filter Based On Non-Linear Function to Numerical Weather Prediction", *Annales Geophysicae*, Vol. 24, Hal. 1-10.
- Kurniawan, T., dkk., (2014). "Penerapan Metode Filter Kalman Dalam Perbaikan Hasil Prediksi Cuaca Dengan Metode ARIMA", *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, Vo. 3, No. 2, ISSN: 2337-3539.
- Lewis, J. M., dkk., (2006), "Dynamic Data Assimilation, A Least Square Approach", Cambridge University Press, Uk.
- Machmudi, A. dan Ulama, B. S.S., (2012), "Peramalan Temperatur Udara di Kota Surabaya dengan Menggunakan ARIMA dan *Artificial Neural Network*", *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol. 1, No. 1, ISSN: 2301-928X.
- Makridakis, M., dan Wheelright, W. (1999). "Metode dan Aplikasi Peramalan", Edisi kedua, Terj. Andriyanto, U.S. Bina Rupa Aksara: Jakarta.
- Paul, J. C., dkk. (2013). "Selection of Best ARIMA Model for Forecasting Average Daily Share Price Index of Pharmaceutical Companies in Bangladesh: A Case Study on Square Pharmaceutical Ltd", *Global Journal of Management and Business Research Finance*, Vol. 13, Hal. 15-26.
- Prawiwardoyo, S., (1996), "Meteorologi", Penerbit ITB Bandung.
- Ramdani, A. L., (2011), "Penggunaan Model ARIMA dalam Peramalan Suhu Udara di Sekitar Palangkaraya", Skripsi Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor.
- Sutikno, dkk., (2010), "Prakiraan Cuaca dengan Metode *Autoregressive Integrated Moving Average, Neural Network*, dan *Adaptive Splines Threshold Autoregression* di Stasiun Juanda Surabaya", *Jurnal Sains Dirgantara*, Vol. 8 No. 1, Hal. 43-61.