

**PREDIKSI CURAH HUJAN PERBULAN DI KOTA YOGYAKARTA
PERIODE 2015-2019 MENGGUNAKAN METODE *AUTOREGRESSIVE
INTEGRATED MOVING AVERAGE* (ARIMA) DAN *KALMAN FILTER*
(Studi Kasus : Data Curah Hujan Tahun 2015-2019)**

Irene Kristija Selamat¹, Yudi Setyawan^{2*}

Jurusan Statistika, Fakultas Sains Terapan, IST AKPRIND Yogyakarta

Jl.Kalisahak 28 Kompleks Balapan – Tromol poss 45

e-mail : selamatirene@gmail.com, setyawan@akprind.ac.id

*corresponding author

Abstrak

Curah hujan sangat menarik untuk dikaji sebab curah hujan merupakan salah satu faktor terbesar yang mempengaruhi iklim suatu wilayah dan mempengaruhi berbagai sektor kehidupan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil prediksi curah hujan perbulan di Kota Yogyakarta periode 2015-2019 yang dianalisis menggunakan metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) untuk mendapatkan hasil peramalan yang diharapkan dapat memberikan tingkat akurasi yang tinggi dan metode *Kalman Filter* yang merupakan sebuah model bagian dari *state space* (ruang keadaan) yang dapat diterapkan dalam model peramalan. Model ini menggunakan teknik rekursif untuk mengintegrasikan data pengamatan terbaru ke model untuk mengoreksi prediksi sebelumnya dan melakukan prediksi selanjutnya dan salah satu model runtun waktu yang digunakan dalam menentukan prediksi selanjutnya. Model ini bekerja secara rekursif untuk meminimalkan ketidaktepatan dalam peramalan. Kedua metode tersebut digunakan untuk memprediksi curah hujan (mm) perbulan di Kota Yogyakarta periode 2015-2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang terbentuk adalah model ARIMA (1, 0, 1) dan model ARIMA (1,0,2). Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode ARIMA dan *Kalman Filter*, menggunakan nilai MSE, model yang terbaik adalah model ARIMA (1,0,1) menggunakan metode *Kalman Filter* karna memiliki nilai MSE terkecil yaitu sebesar 6,722873 dibanding metode ARIMA. Hal ini membuktikan bahwa prediksi menggunakan metode *Kalman Filter* baik dibandingkan metode ARIMA.

Kata kunci : Curah Hujan, *Kalman Filter*, ARIMA, *Mean Square Error* (MSE)

I PENDAHULUAN

Cuaca dan iklim merupakan sebuah proses fenomena di atmosfer yang keberadaannya sangat penting dalam berbagai aktivitas kehidupan, (Dewantara 2012). Perhatian mengenai informasi cuaca dan iklim semakin meningkat seiring dengan meningkatnya fenomena alam yang tidak lazim terjadi atau biasa disebut dengan cuaca ekstrim yang sulit untuk dikendalikan dan dimodifikasi. Contoh fenomena ekstrim tersebut adalah meningkatnya suhu udara saat siang hari dan dinginnya suhu udara saat malam hari, hujan deras dan angin kencang di musim kemarau, banjir bandang dan tsunami yang melanda berbagai daerah di belahan dunia, serta angin kencang dan gempa bumi yang menyebabkan kerusakan hebat pada rumah penduduk. Penelitian ini mengambil studi kasus mengenai data curah hujan perbulan di Kota Yogyakarta. Berdasarkan data dari BPS Kota Yogyakarta, dapat diketahui bahwa rata-rata curah hujan perbulan adalah 170,5833 mm ditahun 2015, tahun 2016 sebesar 351,3333 mm, tahun 2018 sebesar 311,0833 mm, tahun 2018 sebesar 182 mm, tahun 2019 sebesar 195,4167 mm. Data curah hujan penting untuk dikaji sebab curah hujan merupakan salah satu faktor terbesar yang mempengaruhi iklim suatu wilayah dan mempengaruhi berbagai sektor kehidupan manusia. Prediksi curah hujan di suatu daerah dapat digunakan dalam bidang pertanian, pelayaran, penerbangan, pemerintahan, bisnis dan lain-lain.

Beberapa metode untuk analisis prediksi curah hujan diantaranya ada ARIMA, *Kalman Filter*, *Backpropagation*, Logika Fuzzy, Algoritma Regresi dan masih banyak metode lainnya yang dapat digunakan dalam memprediksi curah hujan. Metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) adalah metode yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam membuat peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. *Kalman Filter* merupakan salah satu metode yang dikembangkan pertama kali oleh (R.E Kalman 1960). Metode ini dapat digunakan untuk menyatakan suatu model runtun waktu yang ditampilkan dalam bentuk linier state space (Brockwelland Davis, 1991). Model, teknik, dan notasi dari *Kalman Filter* hampir sama dengan model regresi linier dan analisis runtun waktu (Meinhold dan Singpurwala 1983). Perbedaannya terletak pada sifat rekursif yang ada pada *Kalman Filter* (Welchand Gary,2001). Metode ini biasanya diterapkan oleh insinyur mekanik dan ahli fisika dalam proses pelacakan sinyal mulai di ruang angkasa hingga sinyal sonar di bawah air.

Kalman Filter memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lain karena estimasi menggunakan bentuk dari kontrol umpan balik (rekursif) yang dapat memperkecil nilai Mean Square Error (MSE) dan noise (Tresnawati.R., dkk , 2010). Kelebihan lain adalah dapat terus diperbaharui dengan data terbaru sehingga nilai prediksi selalu update (Welch and Gary, 2001) dan mudah diterapkan dalam berbagai disiplin ilmu karena sifatnya yang rekursif (Meinhold and Singpurwala, 1983). Selain itu juga menurut Wei (2006) kelebihan dari *Kalman*

Filter adalah keberhasilan dalam mendapatkan hasil prediksi optimal bergantung pada ketepatan estimasi keadaan (state) awal pada data observasi terbaru.

Sementara itu kelebihan metode ARIMA adalah dapat menerima semua jenis model data walaupun dalam prosesnya harus distasionerkan dulu dan metode ini lebih akurat jika digunakan untuk peramalan jangka pendek. Sedangkan kekurangan dari metode ARIMA adalah untuk data peramalan yang cukup panjang ketepatannya kurang baik karena biasanya akan cenderung flat.

Penelitian ini melakukan analisis untuk memprediksi jumlah curah hujan perbulan di kota Yogyakarta menggunakan metode ARIMA dan *Kalman Filter*. Sebelumnya data curah hujan diidentifikasi model ARIMA (p,d,q) untuk pembentukan model *Kalman Filter*. Setelah model pada *Kalman Filter* terbentuk dilakukan peramalan pada data curah hujan perbulan di kota Yogyakarta periode 2015-2019 untuk beberapa waktu ke depan. Hasil prediksi curah hujan ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada masyarakat untuk mengetahui bagaimana kondisi prakiraan curah hujan untuk beberapa waktu ke depan apakah kondisi jumlah curah hujan akan bertambah, sama atau berkurang dengan sifat hujan yang berfluktuasi maupun yang tetap.

II METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Pada penelitian ini bermaksud menerapkan teori-teori matematis untuk memprediksi curah hujan perbulan di Kota Yogyakarta periode 2015-2019 yang dianalisis menggunakan Metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) dan *Kalman Filter*.

B. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan berupa data sekunder yang diambil dari *website* Badan Pusat Statistik (BPS) Yogyakarta mengenai data curah hujan perbulan di Kota Yogyakarta periode 2015-2019 yang digunakan sebagai variabel penelitian.

C. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan. Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh pada periode tertentu. Pengukurannya dilakukan dengan satuan tinggi diatas permukaan tanah horizontal yang diasumsikan tidak terjadi penguapan atau infiltrasi, run off, atau evaporasi. Satuan curah hujan adalah millimeter. Jumlah data adalah 60 bulan. Data dibagi menjadi 2 yaitu data training dan data testing. Data trainingnya sebesar 56 data dan untuk 4 data yang tersisa merupakan data testing

D. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang akan diuji dalam penelitian ini adalah

1. Mengumpulkan data
2. Melakukan analisis deskriptif dari data Curah Hujan
3. Melakukan peramalan data dengan metode ARIMA
Langkah-langkah pengujian ARIMA :

- a. Uji stasioneritas data dengan melihat plot *time series*
 - b. Uji estimasi parameter model
 - c. Uji *diagnostic check* dengan asumsi residual dan asumsi *white noise*
 - d. Pemilihan model terbaik dengan AIC
 - e. Ukuran keakuratan dalam peramalan
 - f. Melakukan peramalan menggunakan metode ARIMA
4. Metode *Kalman Filter*
 - a. Tahap prediksi (*Time Update*)
 - b. Tahap koreksi (*Measurement Update*)
 - c. Melakukan peramalan menggunakan metode *Kalman Filter*

E. Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh/dikumpulkan akan diolah menggunakan sistem komputerisasi dengan *software* pendukung. Peneliti menggunakan *R-Studio* sebagai *Software* yang akan membantu menganalisis data.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Statistik Deskriptif Data Curah Hujan Kota Yogyakarta

Tabel 4.1 Deskriptif Data Curah Hujan perbulan Kota Yogyakarta periode Januari 2015 – Desember 2019

TAHUN	N	MAXIMUM	MINIMUM	MEAN	STDV
2015	12	463 mm	0 mm	170,583 mm	176,790 mm
2016	12	693 mm	59 mm	351,333 mm	180,413 mm
2017	12	928 mm	1 mm	311,083 mm	253,832 mm
2018	12	582 mm	0 mm	157,75 mm	180,413 mm
2019	12	560 mm	0 mm	195,416 mm	253,832 mm

B. Analisis Runtun Waktu

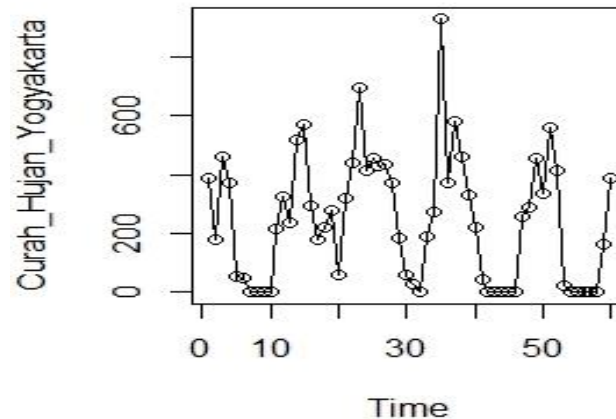
a. Identifikasi Model ARIMA

Langkah awal yang dilakukan dalam melakukan identifikasi data yaitu apakah data stasioner dalam mean dan varians. Identifikasi stasioner dapat dilakukan dengan melihat *time series plot* atau dilakukan uji *Augmented Dicky Fuller* untuk melihat data stasioner. Setelah data yang digunakan sudah stasioner baru dilakukan pendugaan model dengan melihat plot ACF dan PACF dari data yang telah stasioner. Berikut ini langkah-langkah menentukan model ARIMA:

a. Uji Stasioneritas

Uji stasioneritas dilakukan dengan melihat plot *time series* untuk melihat apakah data sudah stasioner atau belum stasioner. Dikarenakan data sudah stasioner

maka tidak perlu dilakukan *differencing*. Identifikasi stasioneritas data curah hujan (mm) menggunakan plot *time series* pada data curah hujan (mm) periode 2015-2019 yang dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Hasil Plot Time Series

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa plot data curah hujan (mm) sudah stasioner dikarenakan data tersebut tersebar diantara rata-rata dan mengalami kenaikan dan penurunan yang relatif konstan.

Untuk lebih meyakinkan dapat di lakukan uji ADF Yang terdapat pada lampiran 4.

1. Hipotesis

$H_0 : y = 0$ (Data memiliki unit root /tidak stasioner)

$H_1 : y \neq 0$ (Data tidak memiliki unit root /stasioner)

2. Taraf signifikansi :

$\alpha = 5\% = 0.05$

3. Statistik Uji

Nilai kritis ADF = -4.124

P-value = 0.01027

4. Daerah Kritis

H_0 ditolak apabila nilai nilai kritis P-value $< \alpha$

Perhitungan: P-Value = 0,01027 $< \alpha = 0,05$

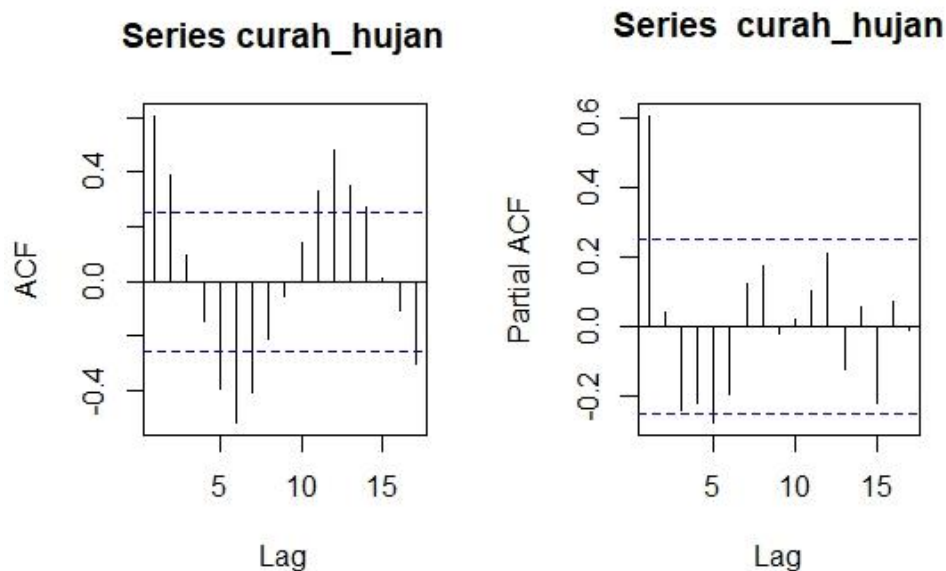
5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil output diketahui bahwa nilai P-value sebesar 0,01027 $<$ dari nilai (α) sebesar 0,05 maka H_0 ditolak. H_0 ditolak memberikan kesimpulan bahwa data curah hujan (mm) pada Januari tahun 2015 sampai Desember 2019 sudah stasioner pada tingkat kepercayaan 95%.

b. Menentukan Dugaan Model Sementara

Pada tahap ini, akan dilakukan identifikasi model ARIMA yang mungkin terhadap data yang sudah stasioner. Proses identifikasi model ini dengan

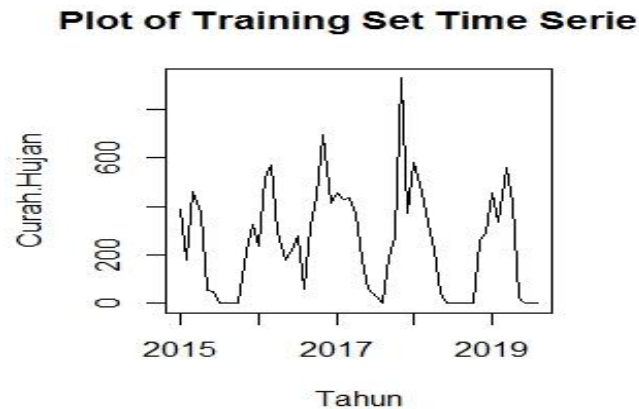
melihat hasil plot ACF dan PACF dari data yang telah stasioner sebagai acuannya. Gambar 4.4 menunjukkan hasil plot ACF dan PACF pada data curah hujan (mm) pada Januari 2015 sampai Desember 2019 yang sudah stasioner:



Gambar 4.2 Hasil Plot ACF dan PACF

Pada Gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa correlogram ACF menunjukkan pola *dies down* (pola sinus) pada lag ke-1 dan ke-2 yang menunjukkan order MA = 1 dan 2. Kemudian Pada correlogram PACF menunjukkan pola *cut off* (pola terpotong) pada lag ke 1 sehingga diperoleh model AR=1. Sehingga dilihat dari tabel struktur ACF dan PACF dapat diberikan dugaan model yang terbentuk yaitu model ARIMA (1,0,1) dan ARIMA (1,0,2),

Setelah memperoleh plot ACF dan PACF, selanjutnya untuk perhitungan data training pada *software Exel* diambil data curah hujan (mm) dari 4 data terakhir tahun 2019 yaitu pada bulan September sebanyak 0, Oktober sebanyak 0, November sebanyak 164 dan Desember sebanyak 390, kemudian dari data tersebut diperoleh nilai MSE terkecil dari model ARIMA 1 sebesar 1025,41299 . Berikut adalah plot training yang telah diuji melalui *software R-studio*.



Gambar 4.3 Hasil Plot data training

Plot training diatas merupakan hasil pengujian data training yang telah dibagi dari seluruh jumlah data yaitu 60. Dari 60 data curah hujan (mm) tersebut terdapat 56 jumlah data training sedangkan 4 data yang tersisa merupakan data testing.

b. Estimasi Dan Pengujian Signifikansi Parameter

Setelah didapat pendugaan model ARIMA maka selanjutnya yaitu estimasi model, yaitu untuk Mencari estimasi terbaik atau paling efisien untuk parameter-parameter dalam model. Berdasarkan korelogram kali ini didapat model ARIMA (1,0,1) dan ARIMA (1,0,2). Tahap selanjutnya adalah melakukan estimasi parameter pada masing-masing model tersebut yang terdapat pada Lampiran 5 dan hasilnya disajikan di Tabel 4.2

Tabel 4.2 Estimasi dan Pengujian Signifikansi Parameter Model

Model Dugaan	Parameter	Estimasi	P-value	Kesimpulan
ARIMA (1,0,1)	$AR(1) = \phi_1$	0.617689	8.609×10^6	Signifikan
	$MA(1) = \theta_1$	-0.022227	0.8881	Tidak Signifikan
ARIMA (1,0,2)	$AR(1) = \phi_1$	0.50395	0.02292	Signifikan
	$MA(1) = \theta_1$	0.06629	0.78950	Tidak Signifikan
	$MA(2) = \theta_2$	0.18989	0.15319	Tidak Signifikan

Persamaan model berdasarkan estimasi parameter adalah sebagai berikut :

1. ARIMA (1,0,1)

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1}$$

$$Z_t = 0.617689 Z - 0.022227 e_{t-1}$$

2. ARIMA (1,0,2)

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2}$$

$$Z_t = 0.50395 Z_{t-1} - 0.06629 e_{t-1} + 0.18989 e_{t-2}$$

$$\text{Dengan } Z = Y_t - Y_{t-1}$$

c. Diagnostic Checking

Diagnostic checking bertujuan untuk menguji apakah model sudah memenuhi asumsi residual dan asumsi *white noise* atau belum. Uji ini terdiri dari uji asumsi residual berdistribusi normal dan uji *white noise*. Detail pembahasan masing-masing adalah sebagai berikut:

a. Asumsi Residual Berdistribusi Normal

Model ARIMA juga harus memenuhi asumsi residual berdistribusi normal. Pengujian asumsi residual berdistribusi normal dilakukan dengan menggunakan statistik uji *Kolmogorov Smirnov*. Berikut merupakan langkah-langkah dari pengujian asumsi residual berdistribusi normal.

Hipotesis:

H_0 : Residual berdistribusi normal

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal

Jika ditetapkan taraf signifikan sebesar 5%, maka daerah penolakannya adalah tolak H_0 ditolak, jika nilai $D \geq D_{n,(1-\alpha)}$ atau P-value $< \alpha$. Hasil uji disajikan di Tabel 4.3 dan output pada Lampiran 7. Diperoleh hasil bahwa residual model ARIMA (1,0,1) dan model ARIMA (1,0,2) memenuhi asumsi residual berdistribusi normal.

Tabel 4.3 Uji Asumsi Residual Berdistribusi Normal

Model	Hasil Uji	
	P-value	Kesimpulan
ARIMA (1,0,1)	0.07075	Residual Berdistribusi Normal
ARIMA (1,0,2)	0.06543	Residual Berdistribusi Normal

b. Asumsi *White Noise*

Pengujian asumsi residual *White Noise* dilakukan dengan menggunakan statistik uji *Ljung-Box*. Berikut merupakan bentuk pengujian asumsi residual *White Noise*.

H_0 : $p_1 = p_2 = \dots = p_k = 0$ (Residual *White noise*)

H_1 : minimal ada satu $p_k \neq 0$ (Residual tidak *White noise*) Jika ditetapkan taraf signifikan sebesar 5%, maka tolak H_0 , jika nilai dari $Q > X^2_{(a;k-p-q)}$ atau P-value $< \alpha$. Berikut ini hasil output pengujian *white noise*. Detail output pada Lampiran 8.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Asumsi *White Noise*

Model	Residual			
	Lag	Q	P-Value	Keputusan
ARIMA (1,0,1)	5	5.1631	0.3963	<i>White Noise</i>
ARIMA (1,0,2)	5	2.8703	0.72	<i>White Noise</i>

Tabel 4.4 diatas menunjukkan bahwa kedua model memenuhi uji asumsi *white noise* yaitu model ARIMA (1,0,1) dan ARIMA (1,0,2) yang berarti H_0 ditolak. Hal ini karena nilai $Q > X^2_{(a;k-p-q)}$ atau p-value pada lag yang diujikan memiliki nilai lebih besar dari alfa (α) yang digunakan.

d. Pemilihan Model Terbaik

Setelah melakukan uji *diagnostic checking* untuk masing- masing model, maka dapat dilakukan pemilihan model terbaik berdasarkan nilai AIC (*Akaike's Information Criterion*) terkecil dan hasil *diagnostic checking*. Perbandingan nilai AIC ditampilkan pada Tabel 4.5 dan output *software* di Lampiran 8.

Tabel 4.5 Perbandingan nilai AIC

Model ARIMA	<i>Akaike's Information Criterion (AIC)</i>
ARIMA (1,0,1)	792.52
ARIMA (1,0,2)	792.65

Berikut adalah pergitungan nilai MSE untuk model 1 dan model 2 yang dihitung menggunakan aplikasi *Excel* dan ditabel berikut :

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil MSE

No.	Tahun	Time	CH(Data Aktual)	Ramal_model1	Ramal_model2	Res1	Res_2	MSE_Model1	MSE_Model2
57	2019	Sep-19	0	331,807	345,9574	-98,078353	-108,360097	9,61936333	11,79417068
58	2019	Okt_19	0	300,2954	335,3933	-97,482984	-97,522995	9,50293217	9,51073455
59	2019	Nov-19	164	280,7921	292,4682	66,530249	67,575939	4,426,27403	4,56650753
60	2019	Des_19	390	268,7451	270,8631	194,874867	197,925973	37,97621379	39,174,69079
Total								61,52478332	65,04610356

Nilai_MSE	15,38119583	16,26152589
-----------	-------------	-------------

1. Nilai MSE model1

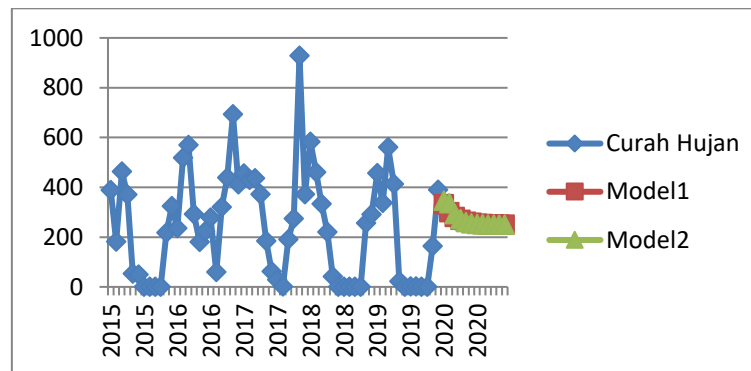
$$\text{MSE} = \frac{61.52478332}{4} = 15,38119583$$

2. Nilai MSE model2

$$\text{MSE} = \frac{65.04610356}{4} = 16,261525829$$

Dari hasil tabel nilai AIC dan MSE pada setiap model, didapatkan satu model yang sesuai untuk melakukan peramalan data curah hujan yaitu model ARIMA (1,0,1). Hal ini dikarenakan model ARIMA (1,0,1) memiliki nilai AIC dan MSE paling kecil. Sementara itu hasil *diagnostic checking* juga memberikan hasil bahwa telah memenuhi asumsi residual berdistribusi normal dan asumsi *white noise*.

Berikut grafik peramalan data curah hujan periode Jan-Des 2020.



Gambar 4.4 Grafik Data Aktual dan Data Peramalan Data Curah Hujan

Plot diatas merupakan gambaran dari data aktual, data peramalan model 1, dan data peramalan model 2. Data yang ber plot biru merupakan data aktual, data peramalan model 1 yang berplot merah dan data peramalan model 2 yang ber plot hijau. Berikut adalah tabel hasil peramalan model (1,0,1) dan model (1,0,2) menggunakan hitungan *Excel*.

Tabel 4.7 Hasil peramalan Tahun 2020

Time	Forecast model (1,0,1)	Time	Forecast model (1,0,2)
Jan-20	331,870	2020	345,957
Feb-20	300,295	2020	335,393
Mar-20	280,792	2020	292,486
Apr-20	268,745	2020	270,863
Mei-20	261,303	2020	259,966

Jun-20	256,707	2020	254,474
Jul-20	253,868	2020	251,707
Agu-20	252,114	2020	250,312
Sep-20	251,031	2020	249,609
Okt-20	250,362	2020	249,255
Nov-20	249,948	2020	249,077
Des-20	249,693	2020	248,987

Tabel 4.8 Estimasi Parameter Model pada *Kalman Filter*

Model Dugaan	Parameter	Estimasi
ARIMA (1,0,1)	$AR(1) = \phi_1$	0.8718
	$MA(1) = \theta_1$	-0.1306
ARIMA (1,0,2)	$AR(1) = \phi_1$	0.8374
	$MA(1) = \theta_1$	-0,1284
	$MA(2) = \theta_2$	0.1486

Setelah didapat model ARIMA terbaik dan dihitung nilai MSE maka selanjutnya data curah hujan dibagi menjadi dua yaitu data curah hujan waktu sebelumnya (Z_{t-1}) dan data curah hujan waktu sekarang (Z_t), diterapkan pada model *state space* maka akan menjadi $\bar{Z}_t = \begin{bmatrix} Z_{t-1} \\ Z_t \end{bmatrix}$, model *state space* dipersentasikan dalam bentuk persamaan *state transition* dan persamaan output yaitu :

$$\bar{Z}_{t+1} = F\bar{Z}_t + G\bar{\alpha}_t$$

$$\bar{X}_t = H\bar{Z}_t + \bar{b}_t$$

Nilai parameter dari model *state space* berdasarkan model ARIMA (1,0,1) adalah :

$\phi_1 = 0,8718$, $\theta_1 = -0,1306$ sehingga model parameter dari *state space* dari model ARIMA (1,0,1) adalah :

$$\bar{Z}_{t+1} = \begin{bmatrix} Z_t \\ Z_{t-1} \end{bmatrix} \text{ dengan matrix } F = \begin{bmatrix} \phi_1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8718 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Z}_t = \begin{bmatrix} Z_{t-1} \\ Z_t \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 1 & \theta_1 \\ \theta_1 & \theta_1^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0,13061253 \\ -0,13061125 & 0,01705963 \end{bmatrix} \text{ dan } \bar{\alpha}_t = \begin{bmatrix} a_{t-1} \\ a_t \end{bmatrix}$$

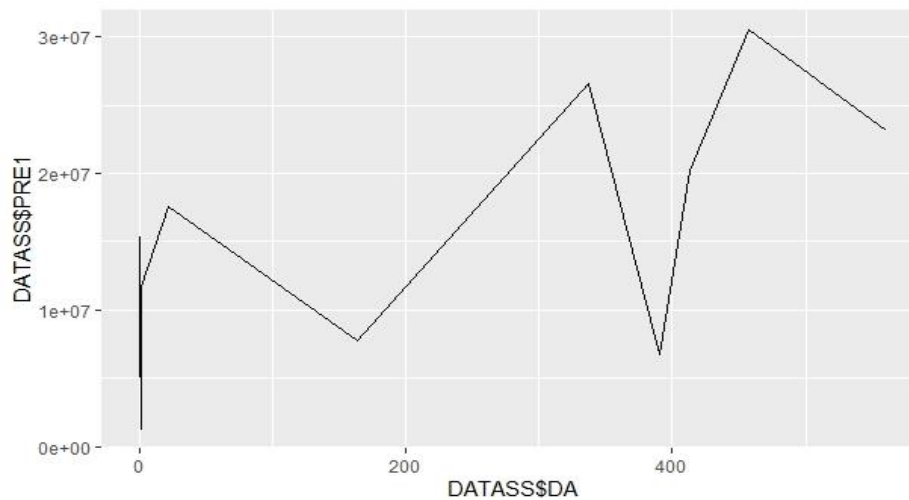
Selanjutnya menentukan nilai parameter dari model *state space* dari model ARIMA (1,0,2) detailnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

$\phi_1 = 0,8374$, $\theta_1 = 0,1284$, $\theta_2 = 0,1486$ sehingga model parameter dari *state space* dari model ARIMA (1,0,2) adalah :

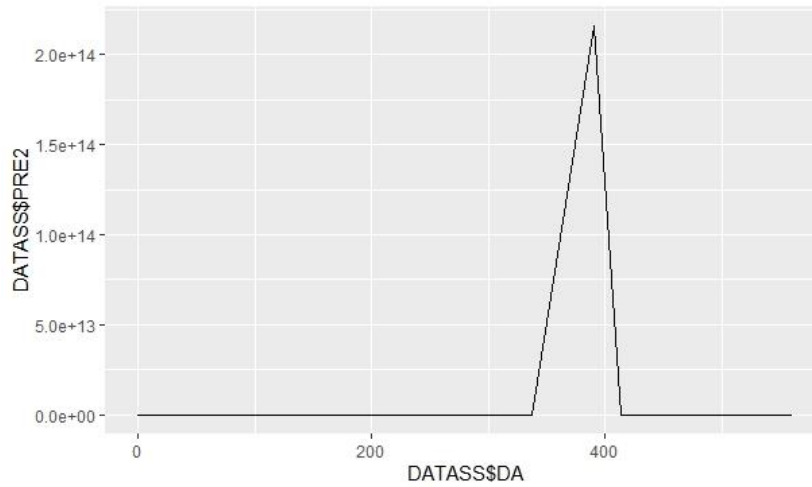
$$\bar{Z}_{t+1} = \begin{bmatrix} Z_{t+1} \\ Z_t \\ Z_{t-1} \end{bmatrix} \text{ dengan matrix } F = \begin{bmatrix} \phi_1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8373953 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Z}_t = \begin{bmatrix} Z_t \\ Z_{t-1} \\ Z_{t-2} \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} 1 & \theta_1 & \theta_2 \\ \theta_1 & \theta_1^2 & \theta_1\theta_2 \\ \theta_2 & \theta_1\theta_2 & \theta_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -0,12841004 & 0,14862506 \\ -0,12841004 & 0,01648914 & 0,01908495 \\ 0,14862506 & 0,01908495 & 0,02208941 \end{bmatrix} \text{ dan } \bar{a}_{t+1} = \begin{bmatrix} a_{t+1} \\ a_t \\ a_{t-1} \end{bmatrix}$$

Setelah semua langkah pada pemodelan *Kalman Filter* dilakukan maka selanjutnya akan diprediksi curah hujan (mm) dengan *Kalman Filter* untuk 12 bulan ke depan maka dapat dilihat hasil perbandingan data aktual dan *Kalman Filter* pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Hasil Perbandingan Data Aktual dan prediksi model 1 *Kalman Filter*



Gambar 4.6 Hasil Perbandingan Data Aktual dan prediksi model 2 *Kalman Filter*

Dari hasil perbandingan data aktual dan prediksi model 1 dan model 2 *Kalman Filter* terlihat bahwa hasil *Kalman Filter* mendekati data aktual yang berarti hasil perbandingan tersebut baik dan diperoleh nilai MSE dari prediksi *Kalman Filter* sebesar 247,393 yang menunjukkan bahwa model tersebut mempunyai kemampuan prediksi yang baik.

e. Perbandingan Metode ARIMA dan *Kalman Filter*

Dalam pemilihan metode peramalan perlu dipertimbangkan nilai kesalahan suatu metode peramalan tersebut. Pada penulisan Skripsi ini penulis menggunakan *MSE* untuk menganalisis ketepatan metode yang digunakan. Metode peramalan yang tepat adalah metode yang menghasilkan *Error* yang minimum. Selanjutnya akan dibuat Tabel untuk melihat perbandingan ketepatan metode peramalan dari dua metode tersebut, dapat digambarkan dalam Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Perbandingan ketepatan metode ARIMA dan *Kalman Filter*

Metode	Model ARIMA	<i>Akaike's Information Criterion (AIC)</i>	Nilai MSE
<i>Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)</i>	ARIMA(1,0,1)	792,52	5,38119583
	ARIMA(1,0,2)	792,65	16,26152589
<i>Kalman Filter</i>	ARIMA(1,0,1)	800,92	6,72287280490608
	ARIMA(1,0,2)	801,77	6,77387578103342

Berikut adalah penghitungan nilai MSE untuk model 1 dan model 2 yang dihitung menggunakan aplikasi *Excel* dan di tabel berikut :

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil MSE *Kalman Filter*

No.	Tahun	Time	CH(Data Aktual)	Ramal_model1	Ramal_model2	Res1	Res_2	MSE_Model1	MSE_Model2
57	2019	Sep-19	0	304,91971	315,81429	-0,98060942	-5,8289637	0,961594834592736	3,976817815917700
58	2019	Okt_19	0	265,81399	305,22028	-0,12807988	-3,041601	0,016404455660814	9,251336643201000
59	2019	Nov-19	164	231,72355	255,59003	163,98327116	164,475758	26,8905132203341	27,0522749696746
60	2019	Des_19	390	202,00518	214,0299	268,45114506	274,2395627	72,0660172840252	75,2073377498872
Total								26,8914912196243	27,0955031241336
Nilai_MSE								6,72287280490608	6,77387578103342

1. Nilai MSE model1

$$MSE = \frac{26,8914912196243}{4} = 6,72287280490608$$

2. Nilai MSE model2

$$MSE = \frac{27,0955031241336}{4} = 6,77387578103342$$

Dari hasil tabel nilai AIC dan MSE pada setiap model dari kedua metode yakni ARIMA dan *Kalman Filter*, didapatkan satu model yang sesuai untuk melakukan peramalan data curah hujan yaitu model ARIMA (1,0,1). Maka nilai AIC dan MSE terkecil menggunakan metode ARIMA adalah 6,72287280490608.

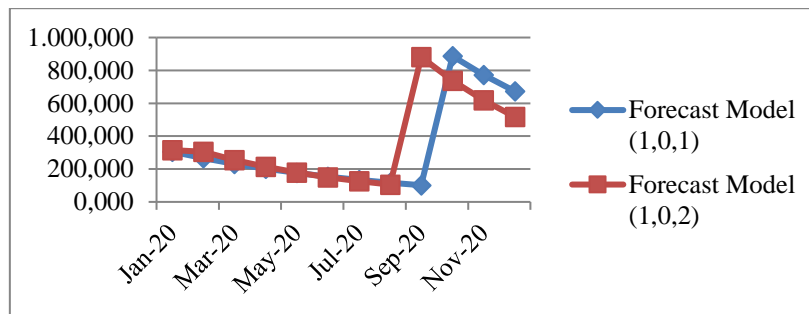
f. Prediksi Curah Hujan Perbulan di Kota Yogyakarta periode Jan-Des 2020 Dengan Metode *Kalman Filter*

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *Kalman Filter* kemudian diperoleh hasil peramalan terkecil yaitu dari model satu. Berikut adalah tabel hasil dari model satu dan model dua menggunakan metode *Kalman Filter*.

Tabel 4.10 Tabel Prediksi model satu dan model dua *Kalman Filter*

Time	Forecast Model (1,0,1)	Time	Forecast (1,0,2)
Jan-20	304,919	Jan-20	315,814
Feb-20	265,813	Feb-20	305,220
Mar-20	231,723	Mar-20	255,590
Apr-20	202,005	Apr-20	214,029
Mei-20	176,098	Mei-20	179,227
Jun-20	153,513	Jun-20	150,084

Jul-20	133,825	Jul-20	125,679
Agt-20	116,662	Agt-20	105,243
Sep-20	101,700	Sep-20	881,306
Okt-20	886,577	Okt-20	738,002
Nov-20	772,874	Nov-20	617,999
Des-20	673,753	Des-20	517,510



Gambar 4.7 Grafik perbandingan model satu dan model dua

Berdasarkan grafik di atas menjelaskan bahwa pola yang berwarna biru merupakan peramalan model satu dan pola yang berwarna merah merupakan peramalan model dua. Hasil prediksi curah hujan Kota Yogyakarta pada tahun 2015-2019 yang dapat dilihat dari kedua model, dimana model satu menunjukkan prediksi curah hujan(mm) menurun pada bulan Oktober dibanding model dua.

IV KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil dari karakteristik curah hujan Kota Yogyakarta periode Januari 2015 - Desember 2019 diketahui bahwa karakteristik data secara umum cenderung mengalami kenaikan dan penurunan setiap tahunnya. Curah Hujan Kota Yogyakarta memiliki rata-rata 242,0833 mm , minimum 0 mm yang terjadi pada tahun 2015, 2018 dan 2019. Maksimum 928 mm yang terjadi pada tahun 2017.
2. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode ARIMA, maka diperoleh model Curah Hujan perbulan di Kota Yogyakarta periode 2015-2019 berdasarkan metode ARIMA adalah model (1,0,1) dan model (1,0,2).
3. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode ARIMA, ramalan curah hujan berdasarkan model ARIMA adalah :
 - a) ARIMA (1,0,1)
Hasil peramalan Januari-Desember 2020 membentuk pola menurun. Rata-rata peramalan 2020 adalah 267,2277, minimum 249,6936 dan maksimum 331,8701.

- b) ARIMA (1,0,2)
Hasil peramalan Januari-Desember 2020 membentuk pola naik. Rata-rata peramalan 2020 adalah 271,50755, minimum 248,9872 dan maksimum 345,9574.
4. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode *Kalman Filter*, ramalan curah hujan berdasarkan model ARIMA adalah :
- c) ARIMA (1,0,1)
Berdasarkan ARIMA (1,0,1) adalah memiliki nilai rata-rata 334,95573, minimum 101,70076 dan maksimum 886,57720.
- d) ARIMA (1,0,2)
Berdasarkan ARIMA (1,0,2) adalah memiliki nilai rata-rata 367,14241, minimum 105,24381 dan maksimum 88130680.
5. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode ARIMA dan *Kalman Filter*, menggunakan nilai MSE, model yang terbaik adalah model ARIMA (1,0,1) menggunakan metode *Kalman Filter* karena memiliki nilai MSE terkecil yaitu sebesar 6,72287280490608 dibanding metode ARIMA.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanasari, M., & Perdana, H. (2018). Penerapan Model Kalman Filter Dalam Memprediksi Curah Hujan Kabupaten Kubu Raya. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 7(3).
- Ariani, Y. (2019). Peramalan Jumlah Penduduk Tahun 2018-2022 di Kabupaten Deli Serdang Menggunakan Model Arima.
- Bain, L.J and Engelhardt, M. 1992. Introduction to Probability and Mathematical
- Brockwell,P.J. and Davis, R.A. 1991. Time Series :Theory and Methods.Second Conover.
- Daniel, W. W. (1989). Statistika Nonparametrik Terapan. Penerbit PT Gramedia. Jakarta.
- Dewantara, (2012). Prediksi cuaca dan iklim dengan ARIMA *Time Series*. (Studi Kasus di Malang Jawa Timur). Universitas Islam Negerri Malang. Skripsi.
- Efendi. 2019. Peramalan jumlah penumpang di Bandara Zainuddin Abdul Madjid Lombok menggunakan metode ARIMA dan perhitungan kebutuhan ruang terminal penumpang berdasarkan SNI 03-7046-2004.
- Ekkapong Duangdai, Chulin Likasiri, 2017. *Rainfall Model Investigation and Scenario Analyses of The Effec to Government Refore station Policyon Seasonal Rainfalls*.
- Estiningtyas dan Amien. 2016. Pengembangan Model Prediksi Hujan dengan Metode *Filter Kalman* Untuk menyusun Skenario Masa Tanam.
- Hamilton, J.D. 1994. Time Series Analysis. Princeton University Press. New Jersey.

- Hanke & Winchern, 2005: 58. Business Forecasting Eight Edition. New Jersey: Pearson Prentice hall.
- Harinaldi, 2005; 18-20. Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains, Erlangga. Jakarta.
- Makridakis, S. et.al. 1999. Metode dan Aplikasi Peramalan. Jilid 1 Ed ke-2. Suminto, H., penerjemah. Bina Rupa Aksara. Jakarta.
- Meinhold & Singpurwala 1983. The American Statistician, Vol. 37, No.2. (May, 1983), pp. 123-127.
- Meinhold, R.J. and Singpurwala, N. D. 1983. Understanding The Kalman Filter. The American Statistician. Volume 37 No. 2 : 123 – 127. American Statistical Association.
- Mirawati, T. D., Yasin, H., & Rusgiyono, A. (2013). Prediksi Curah Hujan dengan Metode Kalman Filter (studi kasus di Kota Semarang Tahun 2012). *Jurnal Gaussian*, 2(3), 239-248.
- Nur Irawan, Septin P.A, 2006; 156. Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14, Penerbit ANDI Yogyakarta.
- R.E Kalman. 1960. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. ASME - Journal Of Basic Engineering, pp. 35-45. Ooi, Rich Chi. 2003.
- Rosadi, 2014. Ekonometrika dan Analisis Runtun Waktu Terapan.
- Soejoeti, Z. 1987. Materi Pokok Analisis Runtun Waktu. Cetakan Pertama. Karunika. Jakarta. Statistics. Second Edition. Duxbury Press. California.
- Tresnawati, R. dan Komalasari, K.E. 2011. Skenario Tenggang Waktu SST Nino 3.4 Terhadap Curah Hujan untuk Meningkatkan Akurasi Prediksi Kalman Filter. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 12 No. 3 : 243 – 251. Puslitbang BMKG. Jakarta.
- Tresnawati, R. dan Komalasari, K.E. 2011. Skenario Tenggang Waktu SST Nino 3.4 Terhadap Curah Hujan untuk Meningkatkan Akurasi Prediksi Kalman Filter. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 12 No. 3 : 243 – 251. Puslitbang BMKG. Jakarta.
- Tresnawati, R., Nuraini, T.A, dan Hanggoro, W. 2010. Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Metode Kalman Filter dengan Prediktor SST Nino 3.4 Diprediksi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 11 No. 2 : 106 – 115. Puslitbang BMKG. Jakarta.
- Wei, W.W.S. 2006. Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods. Second Edition. Pearson Education, Inc. US. Welch, G. and Bishop, G. 2001. An Introduction to the Kalman Filter. ACM In
- Welch, G. and Bishop, G. 2001. An Introduction to the Kalman Filter. ACM In
- W.J. 1980. Practical Nonparametric Statistics. Second Edition. John Wiley. New York.