

Pemodelan Fungsi Transfer Multi Input

M. Fathurahman^{*)}

Program Studi Statistika, FMIPA Universitas Mulawarman
Jl. Barong Tongkok no.5 Kampus Unmul Gn. Kelua Sempaja Samarinda 75119

Abstrak

Model fungsi transfer merupakan salah satu teknik analisis data dalam analisis deret waktu (time series). Salah satu keunikan dan kelebihan dari model ini adalah ada unsur regresi dalam modelnya. Sehingga model fungsi transfer dapat dikatakan sebagai model yang melibatkan analisis regresi dan analisis time series. Oleh karena itu peneliti tertarik mengkaji pemodelan fungsi transfer. Hasil yang diperoleh diaplikasikan pada peramalan data curah hujan.

Kata kunci : Model fungsi transfer, time series, hujan.

Pendahuluan

Model fungsi transfer merupakan salah satu model time series yaitu gabungan pendekatan regresi dan time series (ARIMA) untuk errornya. Model regresi dinamik merupakan salah satu bentuk model kombinasi dan seringkali disebut sebagai model fungsi transfer dalam terminologi Box dan Jenkins (1994). Beberapa penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan fungsi transfer ini antara lain oleh Mc Sweeny (1978) dalam Bowerman dan O' Connel. (1993) yaitu mengetahui pengaruh diberlakukannya suatu kebijakan baru dalam hal tarif telepon bantuan lokal terhadap jumlah telepon yang masuk rata-rata perhari perbulan. Kemudian Suhartono dan Otok (2001) melakukan kajian model intervensi dan model fungsi transfer mengenai peluang bisnis pada jasa kereta api Indonesia dalam menyikapi krisis ekonomi.

Konsep Dasar Time Series

Time series merupakan serangkaian data pengamatan yang berasal dari satu sumber tetap yang terjadinya berdasarkan indeks waktu t secara berurutan dan dengan interval waktu yang tetap. Beberapa kondisi penting yang harus dimiliki oleh data time series adalah (Makridakis, Wheelwright dan Hyndman, 1998) :

1. Deretan pengukuran berasal dari sumber yang sama. Yang membedakan hasil pengukuran tersebut adalah waktu pengukuran dilakukan.
2. Antara observasi pada suatu titik waktu dengan observasi pada titik waktu lainnya saling dependen secara statistik atau berkorelasi.
3. Kumpulan observasi memiliki susunan atau pola tertentu.

Setiap pengamatan dapat dinyatakan sebagai variabel random Z_t dengan fungsi kepadatan $f(Z_t)$ yang dapat dipasangkan dengan indeks

waktu t_i , yaitu : $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ adalah urutan waktu pengamatan, karena itu data time series yang diamati pada waktu $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ dapat dituliskan dalam notasi $Z_{t1}, Z_{t2}, Z_{t3}, \dots, Z_{tn}$.

Fungsi Transfer Multi Input

Pada fungsi transfer multi input ada beberapa X variabel input yang dimasukkan pada suatu pemodelan. Maka bentuk model fungsi transfer multi input adalah (Wei, 1990):

$$y_t = \sum_{j=1}^m [\delta_j(B)]^{-1} \omega_j(B) x_{j,t-b_j} + [\phi(B)]^{-1} \theta(B) a_t \quad (1)$$

dimana :

y_t = Variabel dependen.

x_{jt} = Variabel independen ke- j .

$\omega_j(B)$ = Operator moving average order s_j untuk variabel ke- j .

$\delta_j(B)$ = Operator autoregresi order r_j untuk variabel ke- j .

$\theta(B)$ = Operator moving average order q

$\phi(B)$ = Operator autoregresi order p

a_t = Nilai gangguan acak.

Metode Analisis

Adapun tahapan-tahapan dalam pemodelan fungsi transfer multi input adalah sebagai berikut :

Tahap 1 : Identifikasi Bentuk Model

- 1-1 : Mempersiapkan deret input dan output
- 1-2 : Pemutihan deret input
- 1-3 : Pemutihan deret output
- 1-4 : Perhitungan korelasi silang & autokorelasi deret input & output yang telah diputihkan
- 1-5 : Penetapan r, s, b model fungsi transfer yang menghubungkan deret input & deret output

^{*)} Dosen Jurusan Statistika FMIPA Unmul Samarinda
Email : Fathur_Statisticians@yahoo.com

1-6 : Penaksiran awal & penetapan (p_n, q_n) untuk model ARIMA ($p_n, 0, q_n$) dari deret gangguan & perhitungan autokorelasi parsial deret ini

Tahap 2 : Penaksiran parameter – parameter model fungsi transfer

- 2-1 : Taksiran awal nilai parameter
- 2-2 : Taksiran akhir nilai parameter

Tahap 3 : Uji Diagnosis Model Fungsi Transfer

- 3-1 : Perhitungan autokorelasi nilai sisa model (r,s,b)
- 3-2 : Perhitungan korelasi silang antara nilai sisa dengan deret gangguan yang telah diputihkan

Tahap 4 : Penggunaan model fungsi transfer untuk peramalan

- 4-1 : Peramalan nilai – nilai yang akan datang dengan menggunakan model fungsi transfer

Analisis Data dan Pembahasan

Dalam tulisan ini model fungsi transfer multi input akan diaplikasikan pada data curah hujan yang terjadi di Kota Surabaya dengan variabel yang berpengaruh pada periode Januari 1989 sampai dengan Desember 2002 (BPS Propinsi Jawa Timur).

Deskripsi Data Variabel Input dan Output

Pada bagian ini akan dibahas terlebih dahulu mengenai diskripsi variabel output yang berupa curah hujan.

Tabel 1 Deskripsi variabel output dan input

Variabel	Mean	Std. Dev	Min	Max
Curah hujan (mm)	137.5	133.4	0	607
Kelembapan udara (%)	76.012	6.56	60	86
Tekanan udara (Mbs)	1010.4	1.4	1005.4	1013.5
Suhu udara (°C)	27.94	0.764	26.2	30.2
Penyinaran matahari (%)	73.01	17.9	35	100
Kecepatan angin (knot)	5.08	1.0324	3	8

Tabel 2 Korelasi antara variabel input dengan variabel output

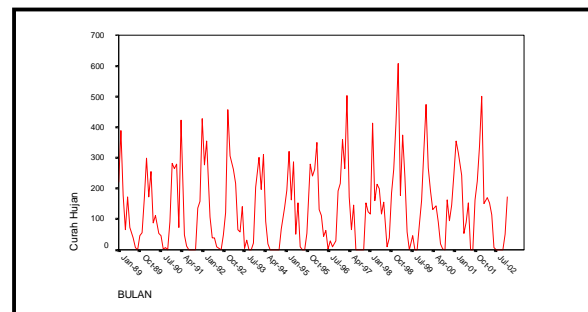
Variabel	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Curah Hujan (Y)	0.736	0.457	0.293	0.79	0.282
Kelembapan Udara	1	0.517	0.44	0.793	0.307

(X ₁)					
Tekanan Udara (X ₂)	0.517	1	0.02	0.554	0.126
Temperatur (X ₃)	0.44	0.021	1	0.283	0.02
Penyinaran Matahari (X ₄)	0.793	0.554	0.283	1	0.288
Kecepatan Angin (X ₅)	0.307	0.126	0.02	0.288	1

Hasil korelasi antar variabel diatas menunjukkan bahwa nilai curah hujan sebanding dengan nilai kelembapan udara dan berbanding terbalik dengan nilai tekanan udara, nilai temperatur, nilai intensitas penyinaran matahari dan nilai kecepatan angin. Sementara variabel yang berkorelasi tinggi dengan curah hujan adalah variabel kelembapan udara dan intensitas penyinaran matahari. Sementara itu variabel kelembapan udara juga berkorelasi tinggi dengan variabel tekanan udara dan intensitas penyinaran matahari.

Identifikasi Deret Output Curah Hujan

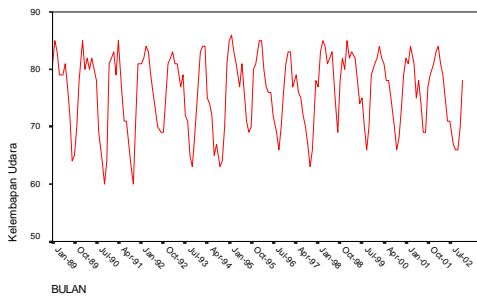
Plot time series dari data curah hujan pada gambar 1 menunjukkan bahwa data berfluktuasi sangat tajam. Hal tersebut dipengaruhi oleh fenomena musim penghujan dan musim kemarau di Indonesia yang menyebabkan perbedaan nilai yang ekstrim.



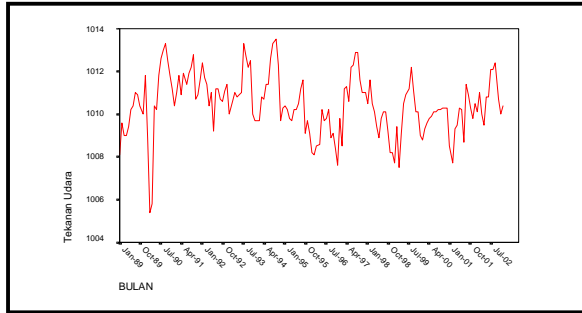
Karena fluktuasi yang tajam dari deret output ini memerlukan transformasi akar pangkat dua ($Z_t = \sqrt{Y_t}$) untuk memperkecil fluktuasi data agar deret output menjadi lebih stasioner.

Pemodelan Fungsi Transfer Single Input
1. Identifikasi untuk Deret Input

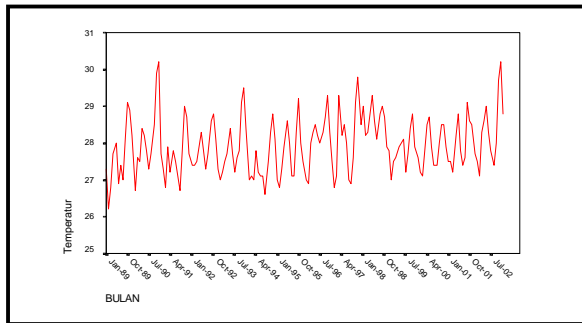
Pada gambar dibawah ini terlihat bahwa data belum stasioner sehingga perlu dilakukan differencing pada lag 12 untuk mengetahui lag-lag yang berpengaruh dalam pemodelan variabel input.



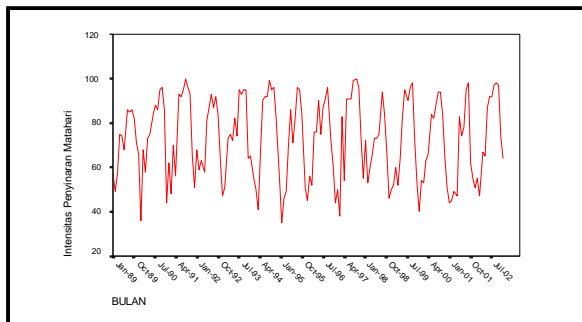
Gambar 2 Plot time series data kelembapan udara



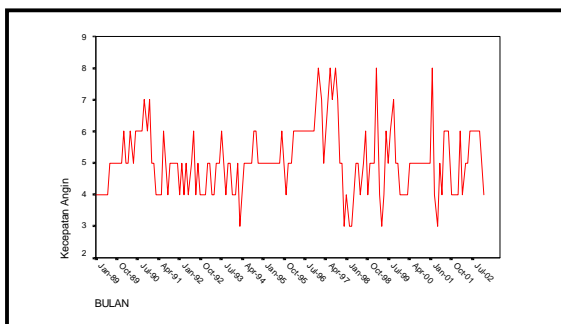
Gambar 3 Plot time series data tekanan udara



Gambar 4 Plot time series data temperatur



Gambar 5 plot time series data penyinaran matahari



Gambar 6 Plot time series data kecepatan angin

Dengan melihat plot ACF dan PACF variabel input setelah differencing 12 didapatkan model untuk deret input adalah :

- ◆ kelembapan udara : ARIMA ([1], 12, [12]).
- ◆ tekanan udara : ARIMA (1, 12, [1, 12]).
- ◆ Temperatur : ARIMA ([1], 12, [12]).
- ◆ Intensitas penyinaran matahari : ARIMA ([1], 12, [12]).
- ◆ Kecepatan angin : ARIMA ([1], 12, [12]).

2. Penentuan nilai (b,r,s) pada model fungsi transfer dan CCF

Plot cross-correlation dalam penentuan bobot respon impuls didapatkan dari deret input (α_{it}) dan deret output (β_{it}) yang telah diputihkan, memberikan hasil yang signifikan pada :

Tabel 3 Estimasi nilai bobot respon impuls

Variabel input	b	r	s
X ₁	0	0	2
X ₂	4	0	1
X ₃	1	0	1
X ₄	0	0	2
X ₅	0	2	3

3. Tahap estimasi parameter fungsi transfer

Tahap estimasi parameter merupakan tahap penentuan taksiran parameter – parameter pada model untuk variabel input. Untuk mencari taksiran terbaik digunakan algoritma Lavenberg Marquardt untuk optimasi parameternya. Hasil taksiran parameternya disajikan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4 Estimasi parameter variabel input

Var	Parameter	Tratio	Lag	Shift	AIC	SBC
X ₁	$\theta = 0.9301$	23.52	12	0	756.89	765.95
	$C = 0.56381$	9.85	0	0		
	$\omega_0 = 0.41384$	5.39	2	0		
X ₂	$\theta = 0.85399$	18.46	12	0	811.58	823.57
	$\phi = 0.18946$	2.30	2	0		
	$C = -0.92329$	-3.82	0	4		
	$\omega_1 = -0.50822$	-1.98	1	4		
X ₃	$\theta = 0.87226$	19.28	12	0	821.64	830.67
	$C = 1.33757$	3.87	0	1		
	$\omega_1 = 0.71875$	7.72	2	1		
X ₄	$\theta = 0.87503$	19.08	12	0	787.69	796.74
	$C = -0.16980$	7.35	0	0		
	$\omega_1 = 0.39035$	3.71	2	0		
X ₅	$\theta = 0.87941$	19.66	12	0	818.79	833.85
	$\phi = 0.30849$	3.86	2	0		
	$C = -0.88897$	-3.28	0	0		
	$\delta = 0.67042$	2.87	2	0		
	$\omega = 0.54715$	3.18	3	0		

Hasil estimasi parameter model fungsi transfer *single input* menunjukkan bahwa semua parameter dugaan signifikan karena semua nilai dugaan lebih besar dari nilai $T_{tabel} = 1.96$ dengan $\alpha = 5\%$.

- Model fungsi transfer *single input* variabel kelembapan udara :

$$z_t = 0.56 x_{1t} - 0.232 x_{1t-2} + a_t - 0.93 a_{t-12}$$

- Model fungsi transfer *single input* variabel tekanan udara :

$$z_t = -0.923(1 + 0.508B)x_{2t-4} + \frac{(1 - 0.854 B^{12})}{(1 - 0.18959 B^2)}$$

a_t

- Model fungsi transfer *single input* variabel temperatur :

$$z_t = 0.185 z_{t-2} + 0.699 x_{3t-1} - 0.62 x_{3t-2} - 0.129 x_{3t-3} + 0.115 x_{3t-3-4} + a_t - 0.874 a_{t-12}$$

- Model fungsi transfer *single input* variabel intensitas penyinaran matahari :

$$z_t = -0.1698 x_{4t} + 0.066 x_{4t-2} + a_t - 0.875 a_{t-12}$$

- Model fungsi transfer *single input* variabel kecepatan angin :

$$z_t = 0.978 z_{t-2} - 0.206 z_{t-4} - 0.889 x_{5t} + 0.274 x_{5t-2} - 0.486 x_{5t-3} + 0.15 x_{5t-5} + a_t - 0.67 a_{t-2} + - 0.879 a_{t-12} + 0.589 a_{t-14}$$

4. Tahap Pemeriksaan Diagnostik Model Single Input

Pengujian kelayakan suatu model perlu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian deret *noise* model, dan tidak adanya korelasi antara residual dengan variabel inputnya. Yaitu dengan memeriksa autokorelasi residuala model dan memeriksa *cross - correlation* residual model.

5. Pemeriksaan Autokorelasi Residual Model

Hasil pengolahan data pada output di bawah ini menunjukkan bahwa nilai-nilai autokorelasi dari model untuk variabel input sampai pada lag 24 nilainya kecil dengan nilai *p-value* lebih besar dari $\alpha = 5\%$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa residual bersifat independen secara statistik.

Autocorrelation Check of Residuals (X₁)

Lag	χ^2	DF	Prob
6	3.73	5	0.589
12	8.80	11	0.640
18	13.54	17	0.699
24	16.47	23	0.834

Autocorrelation Check of Residuals (X₂)

Lag	χ^2	DF	Prob
6	4.38	4	0.357
12	12.94	10	0.227
18	18.21	16	0.312
24	23.38	22	0.381

Autocorrelation Check of Residuals (X₃)

Lag	χ^2	DF	Prob
6	3.94	4	0.414
12	10.81	10	0.373
18	15.53	16	0.486
24	17.49	22	0.736

Autocorrelation Check of Residuals (X₄)

Lag	χ^2	DF	Prob
6	7.13	5	0.211
12	9.79	11	0.550
18	15.96	17	0.527
24	22.29	23	0.503

Autocorrelation Check of Residuals (X₅)

Lag	χ^2	DF	Prob
6	7.48	4	0.112
12	14.29	10	0.160
18	25.50	16	0.061
24	29.58	22	0.129

Output 1. Hasil Uji Autokorelasi Residual

6. Pemeriksaan Cross Correlation Residual Model

Pemeriksaan *cross correlation* residual menunjukkan bahwa semua nilai *p-value* dari uji Ljung Box (Q) lebih besar dari $\alpha = 5\%$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa antara deret input (α_{it}) dengan residual (a_{it}) bersifat independen secara statistik.

Crosscorrelation Check of Residuals (X1)				
Lag	χ^2	DF	Prob	
5	5.36	4	0.253	
11	9.91	10	0.448	
17	13.24	16	0.655	
23	18.70	22	0.664	
Crosscorrelation Check of Residuals (X2)				
Lag	χ^2	DF	Prob	
5	4.79	4	0.309	
11	16.22	10	0.093	
17	20.17	16	0.212	
23	21.45	22	0.493	
Crosscorrelation Check of Residuals (X3)				
Lag	χ^2	DF	Prob	
5	9.35	4	0.053	
11	17.18	10	0.071	
17	23.07	16	0.112	
23	25.03	22	0.296	
Crosscorrelation Check of Residuals (X4)				
Lag	χ^2	DF	Prob	
5	4.37	4	0.358	
11	11.99	10	0.285	
17	19.95	16	0.222	
23	24.11	22	0.342	
Crosscorrelation Check of Residuals (X5)				
Lag	χ^2	DF	Prob	
5	2.53	3	0.469	
11	5.23	9	0.814	
17	9.68	15	0.840	
23	16.52	21	0.740	

Conditional Least Squares Estimation					
Parameter	Estimate	Approx. T Ratio	Lag	Var	Shift
MA1, 1	1.00000	23.37	12	Y	0
SCALE1	0.37232	5.20	0	X1	0
DEN1, 1	0.47495	3.60	2	X1	0
SCALE2	-0.08654	-0.53	0	X2	4
DEN1, 1	-0.51881	-0.29	1	X2	4
SCALE3	0.57868	2.22	0	X3	1
DEN1, 1	-0.03251	-3.05	0	X3	1
SCALE4	0.02514	-3.05	0	X4	0
DEN1, 1	0.30831	1.12	2	X4	0
SCALE5	-0.26936	-2.13	0	X5	0
NUM1, 1	1.51525	2.84	2	X5	0
DEN1, 1	0.71134	7.62	3	X5	0

Conditional Least Squares Estimation					
Parameter	Estimate	Approx. T Ratio	Lag	Var	Shift
MA1, 1	0.93528	22.18	12	Y	0
SCALE1	0.52873	9.34	0	X1	0
DEN1, 1	0.42730	5.29	2	X1	0
SCALE2	0.84213	2.21	0	X3	1
DEN1, 1	-0.70327	-3.06	1	X3	1
SCALE3	-0.40453	-2.27	0	X5	0
NUM1, 1	1.15942	3.65	2	X5	0
DEN1, 1	0.63079	3.76	3	X5	0

Output 2. Hasil Estimasi Parameter model Fungsi Multi Input

Output diatas menunjukkan bahwa setelah mengurangi variabel x_{2t} dan x_{4t} , maka parameter x_{1t} , x_{3t} dan x_{5t} telah signifikan pada nilai $\alpha = 5\%$. Dan nilai estimasi parameter selengkapnya pada tabel dibawah ini :

Tabel 5 Estimasi Parameter Model Multi Input Akhir

Input	Parameter	Tratio	Lag	Shift
	$\theta = 0.9353$	22.18	12	0
X_1	$C = 0.52873$	9.34	0	0
	$\omega = 0.4273$	5.29	2	0
X_3	$C = 0.84213$	2.21	0	1
	$\omega = -0.70327$	-3.06	1	1
X_5	$C = -0.40453$	-2.27	0	0
	$\delta = 1.15942$	3.65	2	0
	$\omega = 0.63079$	3.76	3	0

AIC = 742.257432 SBC = 766.342514

Sehingga model fungsi transfer multi input akhir output curah hujan adalah :

$$z_t = 0.529 (1 - 0.427B^2)x_{1t} + 0.842 (1 - 0.703B)x_{3t-1} - \frac{0.405(1 + 0.498B^5)x_{5t}}{(1 - 0.63079B^3)} + (1 - 0.935B^{12})a_t$$

Pemodelan fungsi transfer multi input dilakukan dengan cara memodelkan secara serentak seluruh variabel yang sudah diidentifikasi sebelumnya. Identifikasi fungsi transfer single input menghasilkan nilai - nilai bobot respon impuls dan model deret noise yang dijadikan dasar dalam pemodelan serentak yang menghasilkan fungsi transfer multi input untuk deret output curah hujan kota Surabaya. Pada output 2 dibawah ini tampak bahwa parameter yang signifikan pada $\alpha = 5\%$ adalah MA (12), x_{1t} , x_{1t-2} , x_{3t-1} , x_{3t-1} , x_{4t} , x_{5t} , x_{5t-2} dan x_{5t-3}

Conditional Least Squares Estimation					
Parameter	Estimate	Approx. T Ratio	Lag	Var	Shift
MA1, 1	1.00000	23.37	12	Y	0
SCALE1	0.37232	5.20	0	X1	0
DEN1, 1	0.47495	3.60	2	X1	0
SCALE2	-0.08654	-0.53	0	X2	4
DEN1, 1	-0.51881	-0.29	1	X2	4
SCALE3	0.57868	2.22	0	X3	1
DEN1, 1	-0.03251	-3.05	0	X3	1
SCALE4	0.02514	-3.05	0	X4	0
DEN1, 1	0.30831	1.12	2	X4	0
SCALE5	-0.26936	-2.13	0	X5	0
NUM1, 1	1.51525	2.84	2	X5	0
DEN1, 1	0.71134	7.62	3	X5	0

$$\begin{aligned}
 Z_t = & 12 Z_{t-1} - 66 Z_{t-2} + 220.63 Z_{t-3} - 502.6 Z_{t-4} + \\
 & 833.7Z_{t-5} - 1062.8Z_{t-6} + 1104.4Z_{t-7} - \\
 & 994.8Z_{t-8} + 803 Z_{t-9} - 565.8 Z_{t-10} + 324.4 Z_{t-11} - 139.8Z_{t-12} + 41.7 Z_{t-13} - 4.6 Z_{t-14} + 0.6 \\
 & Z_{t-15} + 0.529 X_{1t} + - 6.4 X_{1t-1} + 38.9 X_{1t-2} - \\
 & 114 X_{1t-3} + 250.9 X_{1t-4} - 391.2 X_{1t-5} + 411.7 \\
 & X_{1t-6} - 395.9 X_{1t-7} + 286.1 X_{1t-8} - 175.2 \\
 & X_{1t-9} + 67.3X_{1t-10} + 9.7X_{1t-11} - 54.2 X_{1t-12} + \\
 & 51.5X_{1t-13} - 27.7X_{1t-14} + 9.1X_{1t-15} - 1.7 X_{1t-16} \\
 & + 0.143 X_{1t-17} + 0.842 X_{3t-1} - 9.5 X_{3t-2} + 48.6 \\
 & X_{3t-3} - 146.7 X_{3t-4} + 292.6 X_{3t-5} - 404.4 X_{3t-6} \\
 & + 401.3 X_{3t-7} - 289.8X_{3t-8} + 183.4 X_{3t-9} - \\
 & 86.6 X_{3t-10} + 0.3 X_{3t-11} + 24.84 X_{3t-12} - \\
 & 74.57 X_{3t-13} + 47.8 X_{3t-14} - 18.3 X_{3t-15} + \\
 & 3.9X_{3t-16} - 0.374 X_{3t-17} + 0.405 X_{5t} - 4.86 \\
 & X_{5t-1} + 72.5 X_{5t-2} - 83.5 X_{5t-3} + 169.5 X_{5t-4} \\
 & - 217.6 X_{5t-5} + 142.1 X_{5t-6} + 50.7 X_{5t-7} - \\
 & 232.9 X_{5t-8} + 282.35 X_{5t-9} - 205.43 X_{5t-10} + \\
 & 98.32 X_{5t-11} - 30.55 X_{5t-12} + 5.63 X_{5t-13} - \\
 & 0.469 X_{5t-14} + a_t - 0.631 a_{t-3} - 0.935 a_{t-12} \\
 & + 0.59 a_{t-15}
 \end{aligned}$$

Model fungsi transfer multi input diatas menunjukkan bahwa nilai akar kuadrat tingkat curah hujan pada waktu ke- t dipengaruhi oleh akar kuadrat tingkat curah hujan selama 15 bulan sebelumnya ($t-1$ sampai dengan $t-15$), dipengaruhi oleh nilai kelembapan udara pada bulan yang sama sampai 17 bulan sebelumnya (t sampai dengan $t-17$), dipengaruhi oleh nilai temperatur selama 17 bulan sebelumnya ($t-1$ sampai dengan $t-17$), dipengaruhi oleh kecepatan angin pada bulan yang sama sampai 15 bulan sebelumnya (t sampai dengan $t-15$), serta dipengaruhi oleh nilai residual pada bulan yang sama, 3 bulan sebelumnya ($t-3$), 12 bulan sebelumnya ($t-12$) dan 15 bulan sebelumnya ($t-15$).

Pemodelan curah hujan dengan metode fungsi transfer multi input menunjukkan bahwa kelembapan udara, temperatur serta kecepatan angin dapat dijadikan prediktor yang signifikan untuk mengukur tingkat curah hujan pada waktu ke- t . Proses *differencing* orde 12 membuat model peramalan curah hujan tersebut menjadi begitu kompleks. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat curah hujan pada waktu ke- t merupakan suatu proses interaksi dari kelembapan udara, temperatur serta

kecepatan angin di suatu wilayah minimal selama 12 bulan atau satu tahun.

Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat curah hujan pada musim penghujan merupakan suatu fenomena yang dipengaruhi oleh kondisi udara secara global dan dalam waktu yang cukup lama. Atau dapat dikatakan bahwa curah hujan adalah salah satu bentuk interaksi kondisi udara selama kurang lebih satu tahun yang membentuk iklim global. Dan iklim inilah yang juga dapat mempengaruhi tingkat curah hujan tiap bulannya pada saat musim penghujan.

Dari pemeriksaan autokorelasi residual model menunjukkan nilai autokorelasi yang kecil serta nilai *p-value* yang lebih besar dari $\alpha = 5\%$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa residual model fungsi transfer multi input telah memenuhi asumsi *white noise*.

Autocorrelation Check of Residuals			
Lag	χ^2	DF	Prob
6	3.01	5	0.699
12	9.16	11	0.607
18	18.64	17	0.350
24	22.57	23	0.486

Output 3. Hasil Uji Asumsi Residual White Noise

Pemeriksaan *cross correlation* residual menunjukkan bahwa semua nilai *p-value* dari uji Ljung Box (Q) lebih besar dari $\alpha = 5\%$. Sehingga deret-deret tersebut bersifat independen secara statistik. Adapun hasil uji *cross correlation* residual seperti pada output 4 berikut :

Crosscorrelation Check of Residuals with Input X1			
Lag	χ^2	DF	Prob
5	1.82	4	0.769
11	3.90	10	0.952
17	8.48	16	0.933
23	14.44	22	0.885

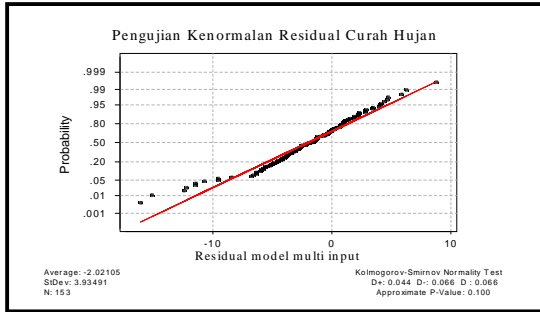
Crosscorrelation Check of Residuals with Input X3			
Lag	χ^2	DF	Prob
5	4.40	4	0.355
11	15.07	10	0.130
17	16.64	16	0.409
23	19.25	22	0.630

Crosscorrelation Check of Residuals with Input X5			
Lag	χ^2	DF	Prob
5	1.25	3	0.741
11	6.22	9	0.718
17	14.84	15	0.463
23	20.35	21	0.499

Output 4. Hasil Uji *Cross Correlation* Residual

7. Uji Normalitas

Untuk mengetahui pola kenormalan residual pada model fungsi transfer multi input dilakukan dengan melihat plot sebaran residual yang dibandingkan dengan kurva normal. Gambar dibawah ini menunjukkan bahwa residual model curah hujan berdistribusi normal dengan *p-value* sebesar 0.100 atau lebih besar dari $\alpha = 5\%$.



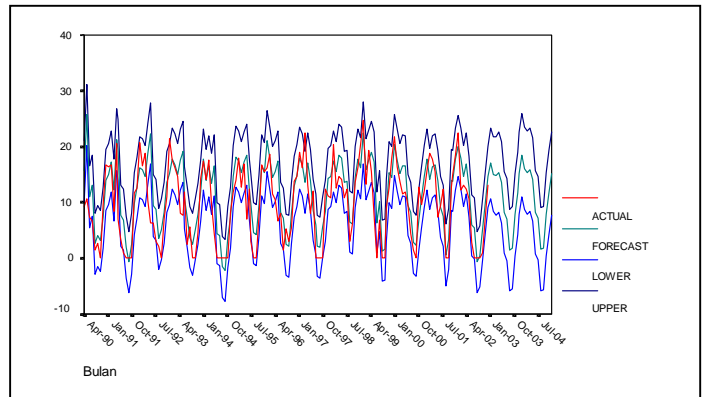
Gambar 7. Pengujian distribusi normal model fungsi transfer multi input

Setelah model fungsi transfer multi input dari curah hujan didapatkan, selanjutnya dilakukan peramalan nilai akar kuadrat curah hujan bulan Januari 2003 sampai dengan Desember 2004, yang tersaji dalam tabel dibawah ini.

Tabel 6 Nilai Peramalan Akar Kuadrat Curah Hujan

Bulan	Peramalan	Batas Bawah	Batas Atas
Jan 2003	17.0415	10.679	23.403
Peb 2003	15.0813	8.4282	21.734
Mar 2003	14.7961	7.7389	21.853
Apr 2003	15.4128	8.2408	22.585
Mei 2003	13.5762	6.2963	20.856
Jun 2003	8.2220	0.8932	15.551
Jul 2003	6.9811	-0.373	14.336
Agst 2003	1.4593	-5.903	8.8215
Sep 2003	1.8452	-5.530	9.2203
Okt 2003	7.8479	0.4711	15.225
Nop 2003	11.6924	4.3145	19.070
Des 2003	15.2054	7.8241	22.587
Jan 2004	18.4327	11.011	25.855
Peb 2004	16.1282	8.6940	23.562
Mar 2004	15.2948	7.8412	22.748
Apr 2004	15.9205	8.4621	23.379
Mei 2004	14.0938	6.6309	21.557
Juni 2004	8.2810	0.8146	15.748
Juli 2004	7.1963	-0.271	14.664
Agst 2004	1.6481	-5.819	9.1160
Sep 2004	1.8260	-5.643	9.2950
Okt 2004	7.9160	0.4469	15.385
Nop 2004	11.7846	4.3154	19.254
Des 2004	15.1617	7.6921	22.631

Secara lengkap nilai akar kuadrat curah hujan aktual, peramalan, batas bawah dan batas atas model ditampilkan pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Nilai akar kuadrat curah hujan aktual, peramalan, batas bawah dan batas atas model fungsi transfer multi input

Sedangkan nilai konversi peramalan, aktual, batas bawah dan batas atas curah hujan ke transformasi asalnya ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 7 Nilai Peramalan Curah Hujan

Bulan	Peramalan	Batas Bawah	Batas Atas
Jan 2003	290.413	114.05	547.71
Peb 2003	227.446	71.035	472.38
Mar 2003	218.925	59.891	477.57
Apr 2003	237.554	67.911	510.08
Mei 2003	184.313	39.643	434.97
Jun 2003	67.601	0.798	241.83
Jul 2003	48.736	0.139	205.51
Agst 2003	2.130	34.844	77.819
Sep 2003	3.405	30.581	85.014
Okt 2003	61.590	0.222	231.79
Nop 2003	136.712	18.615	363.68
Des 2003	231.204	61.217	510.15
Jan 2004	339.764	121.238	668.460
Peb 2004	260.119	75.586	555.182
Mar 2004	233.931	61.484	517.490
Apr 2004	253.462	71.607	546.578
Mei 2004	198.635	43.969	464.691
Juni 2004	68.575	0.664	247.984
Juli 2004	51.787	0.074	215.027
Agst 2004	2.716	33.870	83.101
Sep 2004	3.334	31.845	86.397
Okt 2004	62.663	0.200	236.701
Nop 2004	138.877	18.623	370.705
Des 2004	229.877	59.168	512.171

Hasil peramalan tersebut menunjukkan bahwa pada tahun 2004 musim penghujan baru berakhir pada bulan Mei atau musim kemarau tahun 2004

baru dimulai pada bulan Juni. Fenomena ini dapat dikatakan sesuai dengan kondisi saat ini dimana baru pada bulan Juni 2004, hujan yang mengguyur kota Surabaya mulai berhenti. Sedangkan musim penghujan berikutnya, atau akhir musim kemarau tahun 2004 akan terjadi pada bulan Nopember 2004.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam kurun waktu Januari 1989 sampai dengan Desember 2002, curah hujan rata-rata kota Surabaya sebesar 137.5 mm. Nilai minimum curah hujan di Surabaya adalah nol yang terjadi saat musim kemarau. Sedangkan curah hujan maksimum yang pernah terjadi di Surabaya dalam kurun waktu tersebut terjadi pada bulan Januari 1999 sebesar 607 mm. Hal tersebut dipengaruhi oleh terjadinya gelombang panas El - Nino yang disusul dengan datangnya gelombang dingin La - Nina yang menyebabkan banjir di sebagian wilayah Indonesia.

2. Kelembapan udara rata - rata kota Surabaya dalam kurun waktu Januari 1989 sampai dengan Desember 2002 mencapai 76.012 % dengan fluktuasi sebesar 6.56%. Kelembapan udara tertinggi sebesar 86 % terjadi pada bulan September 1995. Dan kelembapan udara minimum dalam kurun waktu tersebut terjadi pada bulan Oktober 1990 dan bulan Oktober 1991 sebesar 60 %. Sedangkan model fungsi transfer *single input* kelembapan udara dengan variabel output curah hujan adalah :

$$Z_t = 12 Z_{t-1} - 66 Z_{t-2} + 220 Z_{t-3} - 495 Z_{t-4} + 792 Z_{t-5} - 924 Z_{t-6} + 792 Z_{t-7} - 495 Z_{t-8} + 220 Z_{t-9} - 66 Z_{t-10} + 12 Z_{t-11} - Z_{t-12} + 0.56 X_{1t} - 0.67 X_{1t-1} + 36.73 X_{1t-2} - 12.42 X_{1t-3} + 261.89 X_{1t-4} - 392.48 X_{1t-5} + 402.6 X_{1t-6} - 259.78 X_{1t-7} + 62.83 X_{1t-8} + 60.54 X_{1t-9} - 77.9 X_{1t-10} + 44.3 X_{1t-11} - 14.75 X_{1t-12} + 2.78 X_{1t-13} - 0.23 X_{1t-14} + a_t - 0.93 a_{t-12}$$

3. Dalam kurun waktu Januari 1989 sampai dengan Desember 2002, tekanan udara rata - rata kota Surabaya sebesar 1010.4 Mbs dengan fluktuasi rata - rata sebesar 1.4 Mbs. Tekanan udara minimum terjadi pada bulan Pebruari 1990 sebesar 1005.4 Mbs, sedangkan tekanan udara maksimum terjadi pada bulan September 1994 sebesar 1013.5 Mbs. Model fungsi transfer *single input* tekanan udara dengan variabel output curah hujan adalah :

$$Z_t = 12 Z_{t-1} - 65.8 Z_{t-2} + 217.72 Z_{t-3} - 482.46 Z_{t-4} + 750.2 Z_{t-5} - 829.95 Z_{t-6} + 641.52$$

$$Z_{t-7} + - 316.44 Z_{t-8} + 69.5 Z_{t-9} + 28 Z_{t-10} + - 29.8 Z_{t-11} + 11.54 Z_{t-12} - 2.28 Z_{t-13} + 0.189 Z_{t-14} - 0.923 X_{2t-4} + 10.61 X_{2t-5} - 55.16 X_{2t-6} + 170.1 X_{2t-7} - 343.23 X_{2t-8} + 466.23 X_{2t-9} + - 414.35 X_{2t-10} + 203.08 X_{2t-11} + 5.77 X_{2t-12} - 85.46 X_{2t-13} + 58.4 X_{2t-14} - 14.31 X_{2t-15} - 3.32 X_{2t-16} + 3.3 X_{2t-17} - 0.9 X_{2t-18} + 0.89 X_{2t-19} + a_t - 0.717 a_{t-12}$$

4. Temperatur rata - rata kota Surabaya dalam kurun waktu Januari 1989 - Desember 2002 sebesar 27,94 °C, dengan nilai standart deviasi sebesar 0.764 °C. Suhu udara maksimum terjadi pada bulan Nopember 1990 dan bulan Nopember 2002 sebesar 30.2°C. Sedangkan suhu udara minimum yang pernah tercatat dalam kurun waktu tersebut terjadi pada bulan Pebruari 1989 sebesar 26,2 °C. Pemodelan fungsi transfer dengan variabel input temperatur & variabel output curah hujan adalah :

$$Z_t = 12 Z_{t-1} - 65.8 Z_{t-2} + 217.7 Z_{t-3} - 482.8 Z_{t-4} + 751.3 Z_{t-5} - 832.4 Z_{t-6} + 645.5 Z_{t-7} - 324.1 Z_{t-8} + 73.5 Z_{t-9} + 25.6 Z_{t-10} - 28.7 Z_{t-11} + 11.2 Z_{t-12} - 2.22 Z_{t-13} + 0.185 Z_{t-14} + 0.699 X_{3t-1} - 12.62 X_{3t-2} + 53.45 X_{3t-3} - 193 X_{3t-4} + 472.51 X_{3t-5} - 824.54 X_{3t-6} + 1047.76 X_{3t-7} - 969.5 X_{3t-8} + 626.77 X_{3t-9} - 252.85 X_{3t-10} + 27.6 X_{3t-11} + 36 X_{3t-12} - 25.68 X_{3t-13} + 8.52 X_{3t-14} - 1.51 X_{3t-15} + 0.115 X_{3t-16} + a_t - 0.874 a_{t-12}$$

Model diatas menunjukkan bahwa akar kuadrat tingkat curah hujan (Z_t) dipengaruhi oleh akar kuadrat tingkat curah hujan (Z_t) selama 14 bulan sebelumnya. Juga dipengaruhi oleh temperatur selama 16 bulan sebelumnya ($t-1$ s/d $t-16$) serta nilai residual pada bulan yang sama dan nilai residual 12 bulan sebelumnya.

5. Dalam kurun waktu Januari 1989 sampai Desember 2002 intensitas penyinaran matahari untuk kota Surabaya sebesar 73.01 % dengan nilai penyimpangan terhadap rata - ratanya sebesar 17.9 %. Intensitas penyinaran matahari maksimum dalam kurun waktu itu sebesar 100 % yang terjadi pada bulan Agustus 1991 dan bulan September 1997. Sedangkan intensitas matahari minimum terjadi pada bulan Januari 1995 sebesar 35 %. Model fungsi transfer input intensitas penyinaran matahari dan output curah hujan adalah :

$$Z_t = 12 Z_{3t-1} - 66 Z_{3t-2} + 220 Z_{3t-3} - 495 Z_{3t-4} + 792 Z_{3t-5} - 924 Z_{3t-6} + 792 Z_{3t-7} - 495 Z_{3t-8} + 220 Z_{3t-9} - 66 Z_{3t-10} + 12 Z_{3t-11} - Z_{3t-12} + - 0.17 X_{4t} + 2X_{4t-1} - 11.14$$

$$\begin{aligned}
 & X_{4t-2} + 36.57 X_{4t-3} - 79.69 X_{4t-4} + 120 \\
 & X_{4t-5} - 124.23 X_{4t-6} + 82.21 X_{4t-7} - \\
 & 23.11 X_{4t-8} - 14.91 X_{4t-9} + 21.46 X_{4t-10} \\
 & - 12.48 X_{4t-11} + 4.19 X_{4t-12} - 0.79 \\
 & X_{4t-13} + 0.07 X_{4t-14} + a_t - 0.875 a_{t-12}
 \end{aligned}$$

6. Kecepatan angin kota Surabaya dalam kurun waktu Januari 1989 sampai Desember 2002 sebesar 5.08 knots dengan nilai simpangan baku sebesar 1.0324 knots. Kecepatan angin maksimum yang pernah terjadi di Surabaya dalam kurun waktu tersebut sebesar 8 knots yang terjadi pada bulan Januari, Juni dan Agustus 1997, serta Februari 2001. Sedangkan kecepatan angin minimum terjadi pada bulan Maret 1994, Desember 1997, Februari dan Maret 1998, serta bulan April 1999.

Model fungsi transfer *single input* untuk variabel intensitas penyinaran matahari dengan output curah hujan adalah :

$$\begin{aligned}
 Z_t = & 12 Z_{t-1} - 65 Z_{t-2} + 208.3 Z_{t-3} - 430.7 Z_{t-4} \\
 & + 579 Z_{t-5} - 452.5 Z_{t-6} + 62.7 Z_{t-7} + 306.7 \\
 & Z_{t-8} - 391.4 Z_{t-9} + 224.8 Z_{t-10} - 40 Z_{t-11} - \\
 & 38.4 Z_{t-12} + 33.58 Z_{t-13} - 12.6 Z_{t-14} + \\
 & 2.47 Z_{t-15} - 0.206 Z_{t-16} - 0.889 X_{5t} + 10.7 \\
 & X_{5t-1} - 58.4 X_{5t-2} + 191.8 X_{5t-3} - 416.1 \\
 & X_{5t-4} + 611.9 X_{5t-5} - 584.6 X_{5t-6} + 256.4 \\
 & X_{5t-7} + 165 X_{5t-8} - 396.2 X_{5t-9} + 343.1 \\
 & X_{5t-10} - 151.6 X_{5t-11} + 5.3 X_{5t-12} + 38.9 \\
 & X_{5t-13} - 26.9 X_{5t-14} + 9.4 X_{5t-15} - 1.8 X_{5t-16} \\
 & + 0.15 X_{5t-17} + a_t - 0.67 a_{t-2} - \\
 & 0.879 a_{t-12} + 0.589 a_{t-14}
 \end{aligned}$$

7. Dengan tingkat signifikansi (α) sebesar 5 %, didapatkan model fungsi transfer multi input sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_t = & 12 Z_{t-1} - 66 Z_{t-2} + 220.63 Z_{t-3} - 502.6 Z_{t-4} \\
 & + 833.65 Z_{t-5} - 1062.8 Z_{t-6} + 1104.35 Z_{t-7} \\
 & - 994.75 Z_{t-8} + 803 Z_{t-9} - 565.75 Z_{t-10} + \\
 & 324.4 Z_{t-11} - 139.8 Z_{t-12} + 41.65 Z_{t-13} - \\
 & 4.6 Z_{t-14} + 0.63 Z_{t-15} + 0.529 X_{1t} - 6.35 \\
 & X_{1t-1} + 38.85 X_{1t-2} - 114 X_{1t-3} + 250.95 \\
 & X_{1t-4} - 391.2 X_{1t-5} + 411.7 X_{1t-6} - \\
 & 395.87 X_{1t-7} + 286.1 X_{1t-8} + - 175.2 X_{1t-9} \\
 & + 67.3 X_{1t-10} + 9.7 X_{1t-11} + - 54.2 \\
 & X_{1t-12} + 51.5 X_{1t-13} - 27.68 X_{1t-14} + 9.1 \\
 & X_{1t-15} - 1.7 X_{1t-16} + 0.143 X_{1t-17} + 0.842 \\
 & X_{3t-1} - 9.5 X_{3t-2} + 48.6 X_{3t-3} - 146.7 X_{3t-4} \\
 & + 292.6 X_{3t-5} - 404.4 X_{3t-6} + 401.3 X_{3t-7} - \\
 & 289.8 X_{3t-8} + 183.4 X_{3t-9} - 86.6 X_{3t-10} + \\
 & 0.3 X_{3t-11} + 24.8 X_{3t-12} - 74.57 X_{3t-13} + \\
 & 47.8 X_{3t-14} - 18.3 X_{3t-15} + 3.97 X_{3t-16} - \\
 & 0.374 X_{3t-17} + 0.405 X_{5t} - 4.86 X_{5t-1} + \\
 & 72.5 X_{5t-2} - 83.5 X_{5t-3} + 169.5 X_{5t-4} - \\
 & 217.6 X_{5t-5} + 142.1 X_{5t-6} + 50.7 X_{5t-7} - \\
 & 232.9 X_{5t-8} + 282.35 X_{5t-9} - 205.43 X_{5t-10} \\
 & + 98.32 X_{5t-11} - 30.55 X_{5t-12} + 5.63 X_{5t-13}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - 0.469 X_{5t-14} + a_t - 0.631 a_{t-3} - 0.935 \\
 & a_{t-12} + 0.59 a_{t-15}
 \end{aligned}$$

Model fungsi transfer multi input diatas menunjukkan bahwa nilai akar kuadrat tingkat curah hujan pada waktu ke- t dipengaruhi oleh akar kuadrat tingkat curah hujan selama 15 bulan sebelumnya ($t-1$ sampai dengan $t-15$), dipengaruhi oleh nilai kelembapan udara pada bulan yang sama sampai 17 bulan sebelumnya (t sampai dengan $t-17$), dipengaruhi oleh nilai temperatur selama 17 bulan sebelumnya ($t-1$ sampai dengan $t-17$), dipengaruhi oleh kecepatan angin pada bulan yang sama sampai 15 bulan sebelumnya (t sampai dengan $t-15$), serta dipengaruhi oleh nilai residual pada bulan yang sama, 3 bulan sebelumnya ($t-3$), 12 bulan sebelumnya ($t-12$) dan 15 bulan sebelumnya ($t-15$).

Pemodelan curah hujan dengan metode fungsi transfer multi input menunjukkan bahwa kelembapan udara, temperatur serta kecepatan angin dapat dijadikan prediktor yang signifikan untuk mengukur tingkat curah hujan pada waktu ke- t .

Curah hujan dapat diprediksi oleh kelembapan udara dan kecepatan angin pada waktu yang sama (waktu ke- t), atau tidak ada waktu senggang untuk meramalkan curah hujan berdasarkan kelembapan udara dan kecepatan angin. Namun curah hujan dapat diprediksi oleh temperatur mulai satu bulan sebelumnya (waktu ke $t-1$), atau ada waktu senggang untuk meramalkan curah hujan berdasarkan temperatur udara.

Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat curah hujan pada musim penghujan merupakan suatu fenomena yang dipengaruhi oleh kondisi udara secara global dan dalam waktu yang cukup lama. Atau dapat dikatakan bahwa curah hujan adalah salah satu bentuk interaksi kondisi udara yang membentuk iklim global dan iklim inilah yang juga dapat mempengaruhi tingkat curah hujan tiap bulannya pada saat musim penghujan.

Daftar Pustaka

Bowerman, B.L., O'connell, R.T. 1993. Forecasting and Time Series And Applied Approach. Third edition. Miami University, Ohio, Duxburg Press.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M. 1976, Time Series Analysis Forecasting and Control, Revised Edition, Holdenday, San Fransisco.

Makridakis, S., Wheelwright S.C., Hyndman, R.J.
1998. *Forecasting : Method and Applications*,
Wiley, New York.

Otok B.W. dan Suhartono, 2001. *Peluang Bisnis
Pada Jasa Kereta Api Indonesia Dalam
Menyikapi Krisis Ekonomi (Kajian Analisis*

Intervensi dan Fungsi Transfer), Natural Jurnal,
Vol.6 (Edisi Khusus), FMIPA, Universitas
Brawijaya Malang.

Wei, W.W.S., 1990, *Time Series Analysis,
Univariate and Multivariate Methods*, Addison-
Wesley Publishing Company, California.