

# PEMODELAN DEBIT MENGGUNAKAN METODE ARIMA GUNA MENENTUKAN POLA OPERASI WADUK SELOREJO

Bambang Pramujo<sup>1</sup>, Pitojo Tri Juwono<sup>2</sup>, Widandi Soetopo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Magister Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia; pramujo.bambang@gmail.com

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

**Abstrak:** Bendungan Selorejo terletak di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang. Berada pada Kali Konto, anak sungai Kali Brantas. Bendungan Selorejo mempunyai fungsi yang sangat penting, terutama untuk keperluan pembangkit listrik tenaga air dan irigasi. Sebagai Bendungan yang sudah tua, dimana konstruksinya selesai pada tahun 1970, bendungan Selorejo mengalami pendangkalan karena adanya sedimentasi yang tinggi. Penurunan volume waduk mempengaruhi fungsi dari bendungan, sehingga diperlukan perencanaan pola operasi waduk yang lebih baik untuk mengelola volume air yang ada. Selama ini dalam perencanaan pola operasi waduk Selorejo, Perum Jasa Tirta I sebagai pengelola bendungan Selorejo menggunakan debit andalan dalam meramalkan debit inflow. Dalam studi ini diramalkan debit inflow menggunakan metode ARIMA yang kemudian digunakan untuk merencanakan pola operasi waduk yang baru. Digunakan 10 tahun data debit inflow 10 harian, dimana 9 tahun data digunakan untuk pembangkitan model ARIMA dan 1 tahun data untuk kalibrasi. Didapatkan model ARIMA terbaik dalam meramalkan debit inflow adalah ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>. Dibandingkan dengan metode yang digunakan saat ini, model ini terbukti dapat meramalkan debit inflow lebih baik dengan nilai Kesalahan Relatif (KR) yang lebih kecil terhadap debit realisasi (KR model sebesar 5.5 dan KR PJT-1 sebesar 17.5)

**Kata kunci:** ARIMA, debit inflow, pola operasi waduk, waduk Selorejo.

**Abstract:** Selorejo dam is located in the village of Pandansari, Ngantang Sub Regency, Malang Regency. It is located in Kali Konto, a tributary of the Brantas River. Selorejo dam has a very important function, especially for the purposes of hydroelectric power generation and irrigation. As an old dam, completed in 1970, Selorejo experiences a decreasing volume of its reservoir due to a high sedimentation rate. The decreasing volume Selorejo reservoir has impacted the function of the dam and it is important to formulate a better operating rule to optimize the current volume. During the planning of the operating rule of Selorejo reservoir, Perum Jasa Tirta I as an operator of the Selorejo Dam use a dependable discharge in predicting inflow discharge. This study predict the inflow discharge using ARIMA forecasting method, which then used to formulate a new operating rule. This study used 10 years of 10 days period inflow discharge data, which 9 years of it used to generating the ARIMA model and the last 1-year data for calibration. The study result suggest that the best ARIMA model in predicting the dam's inflow discharge is ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>. Compare to a current method, this model is proved predicts better inflow discharge which has smaller Relative Error (KR) to the real data (Model's KR 5.5 and Operator's KR 17.8).

**Keywords:** ARIMA, inflow discharge, the operating rule of reservoir, reservoir of Selorejo Dam.

Bendungan Selorejo masuk dalam wilayah DAS Brantas, dan membendung sungai Konto serta sungai Kwayangan dengan luas daerah aliran 236 Km<sup>2</sup>. Bendungan Selorejo mempunyai fungsi yang sangat penting, terutama untuk keperluan pembangkit listrik tenaga air dan irigasi. Bendungan Selorejo selesai

pembangunannya pada tahun 1970, dengan semakin tua umur bendungan, maka semakin banyak permasalahan yang terjadi, antara lain sedimentasi yang tinggi.

Dengan semakin berkurangnya volume tampungan Waduk Selorejo, maka diperlukan

perencanaan operasi yang baik juga untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dalam merencanakan pola operasi waduk, faktor yang paling berpengaruh adalah debit inflow, debit outflow dan kondisi fisik waduk. Selama ini dalam perencanaan Pola

Operasi Waduk Selorejo, Perum Jasa Tirta I menggunakan debit inflow andalan. Dalam studi ini direncanakan Pola Operasi Waduk Selorejo menggunakan debit inflow hasil dari peramalan menggunakan metode ARIMA, diharapkan dapat memperoleh hasil peramalan debit yang lebih mendekati realisasi.

Dalam studi ini dipilih metode peramalan menggunakan model ARIMA karena dalam literatur yang ada dinyatakan bahwa metode peramalan ARIMA dapat meramalkan dengan baik data yang bersifat time series musiman, dalam hal ini termasuk juga untuk peramalan data debit.

Nigam dkk (2009), dalam studinya menyatakan bahwa model ARIMA adalah pendekatan yang tepat untuk model data hidrologi yang sering menunjukkan auto-korelasi dengan waktu dan perlu penjelasan yang tepat dari dinamika mendasar yang tidak dapat dilakukan dengan metode peramalan statistik sederhana seperti analisis regresi. Valipour dkk (2012), menyatakan bahwa Model ARIMA memiliki kinerja yang lebih baik daripada Model ARMA karena membuat time series stasioner, di kedua kalibrasi dan peramalan fase. Model ARIMA dapat digunakan untuk peramalan debit inflow bulanan yang sesuai untuk 12 bulan ke depan.

Sasaran utama kajian ini adalah membuat model ARIMA yang sesuai untuk peramalan debit inflow waduk Selorejo dan menggunakannya dalam perencanaan pola operasi waduk.

Manfaat dari dilakukannya studi ini adalah mendapatkan model ARIMA yang paling sesuai untuk peramalan debit inflow waduk Selorejo sebagai bahan pertimbangan Perum Jasa Tirta I dalam merencanakan pola operasi waduk.

## METODE PENELITIAN

Bendungan Selorejo terletak di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, berada pada Kali Konto, anak sungai Kali Brantas, tepat di bawah pertemuannya dengan Kali Kwayangan, ±50 km di sebelah barat Kota Malang, pada ketinggian +650 m di atas permukaan laut.

### Pengumpulan data

Data-data yang digunakan untuk kajian ini adalah sebagai berikut: (a) Data debit inflow waduk Selorejo selama 10 tahun pada periode 2003/ 2004 sampai

2012/2013. (b) Data teknis waduk Selorejo. (c) Data pola operasi waduk Selorejo.

## Metodologi

(a) Bendungan dan waduk. Untuk menyimpan air yang berlebih pada saat musim penghujan agar dapat dimanfaatkan guna pemenuhan kebutuhan air dan daya air pada waktu diperlukan, serta mengendalikan daya rusak air, perlu membentuk waduk yang dapat menampung air. Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/ atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, pengawetan air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbah tambang (*tailing*) atau tampungan lumpur (Republik Indonesia, 2010) (b) Peramalan kuantitatif. Debit air sungai yang masuk ke dalam waduk sangat dipengaruhi oleh musim, dimana negara Indonesia yang terletak di daerah tropis mempunyai dua musim dalam setahun, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Debit air sungai dapat digambarkan dalam seret berkala (*time series*) yang mempunyai pola berbeda pada musim hujan dan musim kemarau. Dengan adanya data historis yang cukup, debit air sungai dapat diramalkan besarnya dengan metode peramalan kuantitatif. Makridakis dkk (1988) menyatakan bahwa peramalan kuantitatif dapat diterapkan bila terdapat tiga kondisi berikut: (1) Tersedia informasi tentang masa lalu. (2) Informasi tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk data numerik. (3) Dapat diasumsikan bahwa beberapa aspek pola masa lalu akan terus berlanjut di masa mendatang.

## Metode Peramalan

Peramalan adalah aktivitas menghitung atau memprediksi beberapa kejadian atau kondisi yang akan datang. Dalam penerapan, model deret waktu seringkali dapat digunakan dengan mudah untuk meramal karena pendugaan masa depan dilakukan berdasarkan nilai masa lalu dari suatu variabel (Makridakis dkk, 1988).

Fungsi Autokorelasi (ACF) Koefisien autokorelasi menyatakan hubungan antara nilai-nilai dari variabel yang sama tetapi pada periode waktu berbeda. Autokorelasi merupakan suatu alat penentu dari identifikasi pola dasar yang menggambarkan data. Auto-

korelasi dapat digunakan untuk mengidentifikasi apakah data bersifat acak, stasioner ataupun musiman (Arsyad, 1994).

Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF) Autokorelasi Parsial digunakan untuk mengukur tingkat keeratatan hubungan linier antara data  $Z_t$  dengan  $Z_{t+k}$  apabila pengaruh dari time lag  $1, 2, \dots, k-1$  dianggap terpisah (Makridakis dkk., 1988).

Kestasioneran Deret Waktu. Menurut Makridakis dkk (1988), stasioneritas berarti bahwa tidak terdapat pertumbuhan atau penurunan pada data. Data secara kasarnya harus horizontal sepanjang sumbu waktu. Dengan kata lain, fluktuasi data berada di sekitar suatu nilai rata-rata yang konstan, tidak tergantung pada waktu dan varian dari fluktuasi tersebut pada pokoknya tetap konstan setiap waktu. Deret waktu stasioner adalah deret yang ciri-ciri statistik dasarnya seperti mean dan varian tetap konstan sepanjang waktu (Hanke dkk, 2003).

ARIMA Musiman. Hanke dkk (2003) mendefinisikan deret bermusim sebagai deret waktu dengan pola perubahan yang berulang dengan sendirinya dari tahun ke tahun. Pengembangan teknik peramalan musiman biasanya melibatkan pemilihan antara metode dekomposisi perkalian atau penambahan dan kemudian mengestimasi indeks musiman dari deret historis. Indeks-indeks tersebut kemudian digunakan untuk memasukkan unsur musiman kedalam peramalan atau memisahkan efek-efek tertentu dari pengamatan.

Model ARIMA musiman merupakan bagian dari suatu kelompok model time series yang fleksibel yang dapat digunakan untuk memodelkan beberapa tipe musiman seperti pada time series yang tidak musiman. Model ARIMA musiman dapat dinyatakan sebagai berikut (Cryer, 1986; Box dkk., 1994):

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t = \theta_q(B)\Theta_Q(B^S) a_t$$

dengan

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

$$\Phi_P(B^S) = 1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_P B^{PS}$$

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

$$\Theta_Q(B^S) = 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS}$$

$S$  adalah panjang periode musiman,  $B$  adalah operator mundur atau *back shift operator*, dan  $a_t$  adalah suatu deret *white noise* dengan rata-rata nol dan varians konstan.

Pola Operasi Waduk. Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan disebutkan bahwa dalam hal rencana pengelolaan bendungan diperuntukkan bagi bendungan pengelolaan sumber daya air, rencana pengelolaan bendungan dilengkapi dengan pola operasi waduk. Pola operasi waduk terdiri atas: (1) Pola operasi tahun kering; (2) Pola operasi tahun normal; dan (3) Pola operasi tahun basah.

Pola operasi waduk paling sedikit memuat tata cara pengeluaran air dari waduk sesuai dengan kondisi volume dan/atau elevasi air waduk dan kebutuhan air serta kapasitas sungai di hilir bendungan. Pola operasi waduk harus ditinjau kembali dan dievaluasi paling sedikit 1 (satu) kali dalam waktu 5 (lima) tahun. Hasil peninjauan dan evaluasi menjadi dasar perubahan pola operasi waduk.

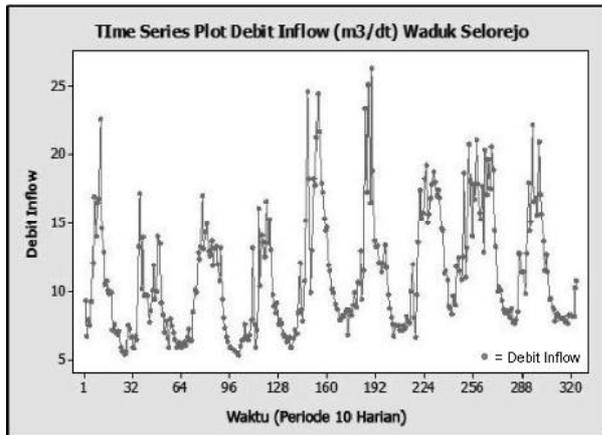
Pola Operasi Waduk Selorejo. Waduk Selorejo merupakan waduk tahunan yang berfungsi sebagai pengendali banjir pada musim hujan, dengan adanya waduk dapat bermanfaat untuk memberikan tambahan debit air irigasi untuk daerah Pare dan Jombang pada musim kemarau sebesar  $4 \text{ m}^3/\text{det}$ , sehingga menambah luas daerah irigasi sebesar  $5.700 \text{ ha}$  dari seluruh sistim irigasi seluas  $22.000 \text{ ha}$  dan menaikkan produksi padi sebesar  $7.500 \text{ ton/tahun}$ , serta bermanfaat untuk memenuhi kebutuhan air baku untuk industri. Disamping itu air yang keluar dari waduk juga digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dengan daya terpasang sebesar  $1 \times 4.500 \text{ kW}$  dapat memberikan tambahan energi listrik sebesar  $\pm 49 \text{ juta kWh}$  per tahun.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Debit Inflow Waduk Selorejo

Data debit inflow waduk selorejo yang digunakan dalam studi ini didapatkan dari Perum Jasa Tirta I berupa data debit inflow rata-rata harian. Menyesuaikan dengan pola operasi waduk Selorejo dengan periode 10 harian, maka data debit inflow rata-rata harian dikonversi menjadi data debit inflow rata-rata 10 harian. Pola operasi waduk Selorejo dimulai dari bulan Desember sampai bulan November. Dalam studi ini digunakan data debit inflow selama 10 periode dari tahun 2003/2004 sampai 2012/2013. Data debit 10 periode pertama digunakan untuk pembangunan model peramalan ARIMA dan 1 periode digunakan untuk kalibrasi model.

Grafik plot time series data debit inflow rata-rata 10 harian waduk Selorejo yang terdapat pada gambar 1 mengindikasikan pola musiman. Data belum stasioner pada rata-rata dan varian data terlalu besar.

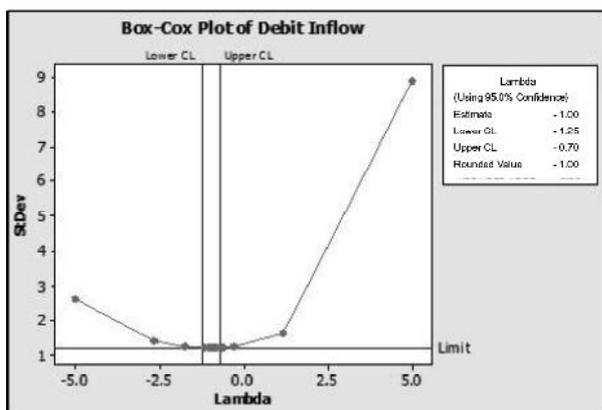


Gambar 1. Plot Data Debit Inflow Waduk Selorejo.

Data juga belum stasioner terhadap ragam. Untuk membuktikan kestasioneran terhadap ragam dan nilai tengahnya maka dilakukan plot Box-Cox untuk melihat stasioneritas data terhadap ragam dan plot ACF untuk melihat stasioneritas data terhadap nilai tengah.

### Uji Stasioneritas Terhadap Ragam

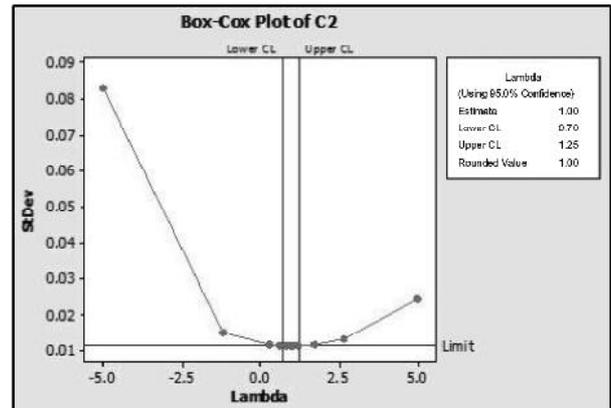
Gambar 2 menunjukkan bahwa pada data debit inflow rata-rata 10 harian waduk Selorejo diuji dengan uji box-cox didapatkan nilai  $\lambda \neq 1$ , dimana data tidak stasioner dalam varian. Selanjutnya dilakukan transformasi Box-Cox hingga diperoleh  $\lambda = 1$ . Dengan transformasi pertama, didapatkan bahwa data debit inflow rata-rata 10 harian waduk Selorejo telah stasioner terhadap ragam dengan nilai  $\lambda = 1$  seperti gambar 3.



Gambar 2. Plot Box-Cox.

### Stasioneritas Terhadap Nilai Tengah

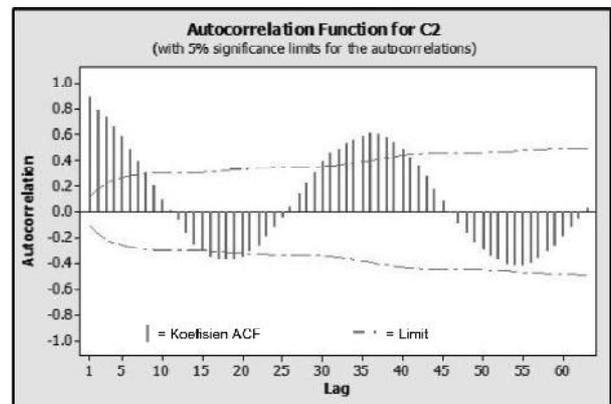
Setelah stasioner terhadap ragam selanjutnya dilakukan uji stasioneritas dalam mean, dideteksi dengan membuat plot ACF.



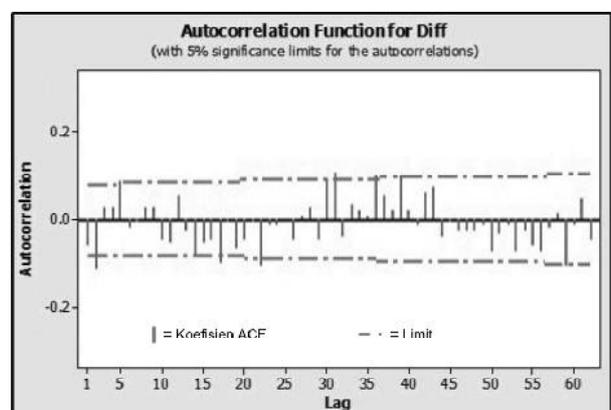
Gambar 3. Plot Box-Cox Transformasi Pertama.

Plot ACF yang ditunjukkan pada gambar 4 menandakan bahwa data belum stasioner, oleh karena itu perlu distasionerkan melalui differencing satu kali. Data yang stasioner ditandai dengan lag yang tidak berpola (acak) dan tidak mengandung musiman.

Selanjutnya dibuat Plot ACF setelah dilakukan pembedaan satu kali yang ditunjukkan pada gambar 5 didapatkan bahwa data telah stasioner. Tidak terdapat unsur musiman dan menunjukkan pola yang tidak teratur atau dapat dikatakan tidak berpola.



Gambar 4. Plot ACF.

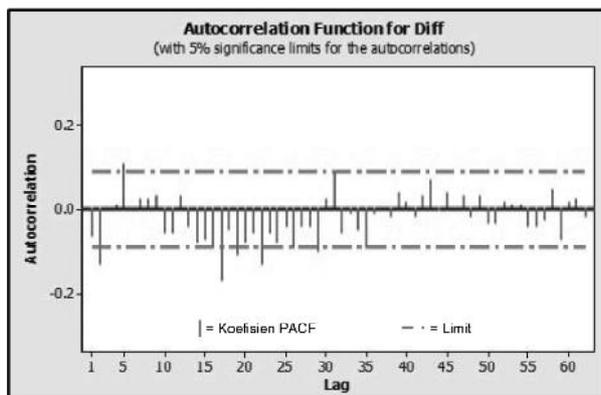


Gambar 5. Plot ACF Dengan Pembedaan Satu Kali.

**Model ARIMA (p,d,q)(P,D,Q)<sup>S</sup> data Debit Air**

Dari plot ACF setelah pembedaan satu kali terdapat cut off setelah lag 2 dan cut off lag seasonal pada lag 36. Sehingga diperoleh model tentative untuk AR non musiman adalah 1,2. Model tentatif untuk AR musiman P=1,2. Karena adanya proses differencing satu kali sehingga diperoleh ordo d=1 dan pada ordo musimannya D=1. Untuk menentukan ordo q dari model MA, dapat diketahui dari plot PACF pada gambar 6.

Dari plot PACF yang dilakukan, didapatkan bahwa titik-titik observasi debit inflow rata-rata 10 harian waduk Selorejo bersifat dies down. Dengan demikian terdapat beberapa model tentatif untuk model MA pada ordo q= 1,2 dan ordo MA musiman Q= 1,2 (diasumsikan mengikuti ordo non musimannya). Berdasarkan plot ACF dan PACF dapat disusun model tentatif ARIMA musiman dengan ordo musiman S= 36.



Gambar 6. Plot PACF.

Tabel 1. Model Tentatif ARIMA dan Uji Kesesuaian Model

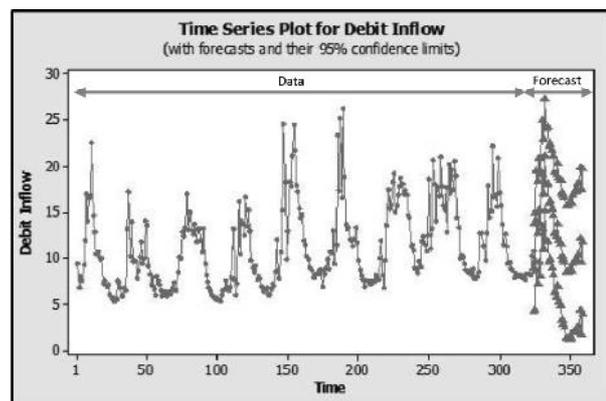
No.	ARIMA	p-value	lag				Kesimpulan
			12	24	36	48	
1	(1,1,1)(1,1,1)	p-value	0.220	0.912	0.965	0.947	Model Layak
2	(1,1,2)(1,1,1)	p-value	0.116	0.853	0.944	0.948	Model Layak
3	(2,1,1)(1,1,1)	p-value	0.112	0.839	0.928	0.928	Model Layak
4	(1,1,1)(2,1,1)	p-value	0.083	0.654	0.666	0.461	Model Layak
5	(1,1,2)(2,1,1)	p-value	0.040	0.526	0.509	0.369	Model tidak Layak
6	(2,1,1)(2,1,1)	p-value	0.007	0.424	0.690	0.629	Model tidak Layak
7	(2,1,2)(1,1,1)	p-value	0.061	0.771	0.899	0.899	Model Layak
8	(2,1,2)(2,1,1)	p-value	0.036	0.644	0.745	0.577	Model tidak Layak
9	(1,1,1)(2,1,2)	p-value	0.047	0.602	0.690	0.460	Model tidak Layak
10	(1,1,2)(2,1,2)	p-value	0.003	0.269	0.282	0.173	Model tidak Layak
11	(2,1,1)(2,1,2)	p-value	0.001	0.190	0.269	0.233	Model tidak Layak
12	(2,1,2)(2,1,2)	p-value	0.006	0.310	0.168	0.147	Model tidak Layak
13	(1,1,1)(1,1,2)	p-value	0.159	0.896	0.958	0.955	Model Layak
14	(1,1,2)(1,1,2)	p-value	0.002	0.214	0.431	0.501	Model tidak Layak
15	(2,1,1)(1,1,2)	p-value	0.083	0.824	0.941	0.947	Model Layak
16	(2,1,2)(1,1,2)	p-value	0.020	0.637	0.864	0.883	Model tidak Layak

Model ARIMA musiman adalah (p,d,q)(P,D,Q)<sup>S</sup>. Dari tahapan sebelumnya, telah didapatkan nilai dari masing-masing parameter model ARIMA yang kemudian didapatkan 16 model tentatif ARIMA pada

tabel 1. Dengan pengujian kelayakan model menggunakan statistik uji Ljung-Box ditentukan bahwa model tidak layak jika p-value kurang dari 0,05.

**Peramalan Debit Menggunakan Model ARIMA.**

Tahapan berikutnya dilakukan peramalan debit inflow dari model yang ada. Peramalan debit dilakukan untuk periode tahun 2012/2013. Berikut contoh peramalan debit inflow rata-rata 10 harian Waduk Selorejo periode tahun 2012/2013 dengan menggunakan model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>.



Gambar 7. Peramalan debit inflow model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>.

Tabel 2. Rekapitulasi Pengujian Hasil Pemodelan ARIMA.

	Model ARIMA			
	(1,1,1)(1,1,1)	(1,1,2)(1,1,1)	(2,1,1)(1,1,1)	(1,1,1)(2,1,1)
MSE (Debit)	5.64	5.72	5.70	5.77
KAR (Debit)	0.15	0.20	0.21	0.15
MAPE (Debit)	7.09	7.84	8.00	9.67
MAD (Debit)	2.20	2.84	2.93	2.02
MSD (Debit)	9.55	13.97	14.48	8.08
Uji-t (Debit)	Memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi
Uji-t (Volume)	Memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi	Memenuhi
KR (Volume)	10.84	19.27	19.99	5.50
	Model ARIMA			
	(2,1,2)(1,1,1)	(1,1,1)(1,1,2)	(2,1,1)(1,1,2)	POWAA
MSE (Debit)	5.64	5.81	5.84	
KAR (Debit)	0.18	0.15	0.19	0.15
MAPE (Debit)	7.57	7.18	7.76	6.53
MAD (Debit)	2.61	2.24	2.67	2.46
MSD (Debit)	12.24	10.41	12.71	13.49
Uji-t (Debit)	Tidak memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
Uji-t (Volume)	Tidak memenuhi	Memenuhi	Tidak memenuhi	Tidak memenuhi
KR (Volume)	16.34	12.50	16.86	17.80

**Pemilihan Model Terbaik**

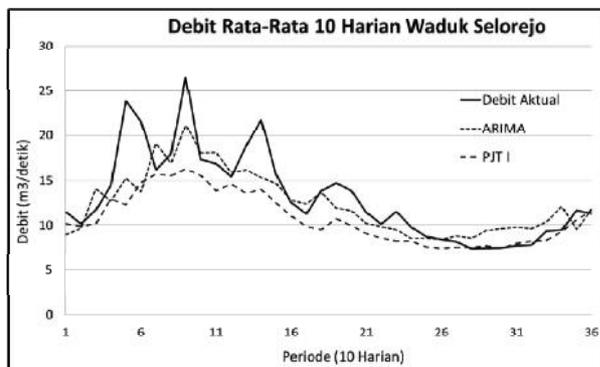
Hasil peramalan debit inflow rata-rata 10 harian dari 7 model yang memenuhi uji Ljung-Box, dilakukan kalibrasi terhadap debit inflow rata-rata 10 harian hasil pengukuran pada tahun 2012/2013. Kalibrasi yang dilakukan dengan mencari nilai MSE (Mean Square Error), KAR (kesalahan absolut rata-rata), MAPE (Mean Absolute Percentage Error), MAD (Mean Absolute Deviation), MSD (Mean Squared Deviation), Uji-t, dan KR (kesalahan relatif). Uji-t dan KR selain pada debit juga dilakukan juga pada volume waduk. Nilai dari masing-masing kalibrasi yang dilakukan terdapat pada tabel 2.

Dalam pengelolaan waduk, yang digunakan adalah air yang berada dalam tampungan, oleh karena itu dipilih model yang mempunyai kesalahan relatif (KR) paling kecil, yaitu model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup> dengan nilai KR sebesar 5.50. model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup> mempunyai persamaan:

$$Z_t = 2.36Z_{t-1} - 1.72Z_{t-2} + 0.36Z_{t-3} - 0.18Z_{t-36} + 0.42Z_{t-37} - 0.31Z_{t-38} + 0.06Z_{t-39} - 0.47Z_{t-72} + 1.11Z_{t-73} - 0.81Z_{t-74} + 0.17Z_{t-75} + 0.66a_{t-37}$$

### Perbandingan Data Debit dan Volume Waduk Selorejo

Berikut grafik perbandingan debit inflow antara hasil pengukuran, hasil dari peramalan ARIMA dan perencanaan dari Perum Jasa Tirta I pada gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Debit Inflow 10 Harian Waduk Selorejo.

### Pola Operasi Waduk Selorejo

Dari debit inflow rata-rata 10 harian waduk Selorejo dibuat rencana pola operasi waduk untuk tahun 2012/2013. Berikut ini hasil perencanaan pola operasi waduk selorejo dari hasil peramalan debit inflow menggunakan metode ARIMA dibandingkan dengan rencana pola operasi dari PJT I dan juga realisasinya.

- a. Pola operasi dengan debit inflow hasil peramalan ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>.

Tabel 3. Rencana Pola Operasi dengan Hasil Model ARIMA.

BLN/DKD	INFLOW	OUTFLOW				ELEVASI AKHIR	
		TURBIN	H J V	SPILLWAY	TOTAL		
	m <sup>3</sup> /dtk	m					
						612.00	
DES	1	8.98	12.50	-	-	12.50	609.79
	2	9.63	13.00	-	-	13.00	607.20
	3	14.09	14.00	-	-	14.00	607.29
JAN	1	12.75	14.00	-	-	14.00	606.17
	2	15.22	14.00	-	-	14.00	607.26
	3	13.76	14.00	-	-	14.00	607.03

BLN/DKD	INFLOW	OUTFLOW				ELEVASI AKHIR	
		TURBIN	H J V	SPILLWAY	TOTAL		
	m <sup>3</sup> /dtk	m					
FEB	1	19.08	14.00	-	-	14.00	610.80
	2	16.95	14.00	-	-	14.00	612.54
	3	21.18	14.00	-	-	14.00	615.30
MAR	1	18.04	13.00	-	-	13.00	617.28
	2	18.08	13.00	-	-	13.00	618.98
	3	15.93	13.00	-	-	13.00	619.94
APR	1	16.19	13.00	-	-	13.00	620.82
	2	15.35	13.00	-	-	13.00	621.44
	3	14.65	13.00	-	-	13.00	621.85
MEI	1	12.80	13.00	-	-	13.00	621.80
	2	12.42	12.80	-	-	12.80	621.70
	3	13.70	12.60	-	-	12.60	622.00
JUN	1	11.95	12.50	-	-	12.50	621.86
	2	11.65	12.50	-	-	12.50	621.66
	3	10.20	12.40	-	-	12.40	621.10
JUL	1	9.85	12.30	-	-	12.30	620.44
	2	9.50	12.10	-	-	12.10	619.70
	3	8.51	12.10	-	-	12.10	618.48
AGT	1	8.54	12.00	-	-	12.00	617.30
	2	8.44	12.00	-	-	12.00	615.94
	3	8.82	11.00	-	-	11.00	614.93
SEP	1	8.55	11.00	-	-	11.00	613.79
	2	9.42	10.50	-	-	10.50	613.25
	3	9.63	10.00	-	-	10.00	613.06
OKT	1	9.81	9.31	-	-	9.31	613.32
	2	9.64	9.50	-	-	9.50	613.39
	3	10.37	10.00	-	-	10.00	613.59
NOP	1	12.14	11.50	-	-	11.50	613.91
	2	9.55	12.50	-	-	12.50	612.39
	3	11.81	12.50	-	-	12.50	612.00

- b. Rencana Pola Operasi Waduk Selorejo Dari PJT-I.

Tabel 4. Rencana Pola Operasi Oleh PJT-I

BLN/DKD	INFLOW	OUTFLOW				ELEVASI AKHIR	
		TURBIN	H J V	SPILLWAY	TOTAL		
	m <sup>3</sup> /dtk	m					
						612.00	
DES	1	10.17	9.25	-	-	9.25	612.40
	2	9.87	9.25	-	-	9.25	612.67
	3	10.16	10.00	-	-	10.00	612.74
JAN	1	12.95	12.50	-	-	12.50	612.94
	2	12.32	12.50	-	-	12.50	612.86
	3	14.77	12.50	-	-	12.50	613.94
FEB	1	15.72	13.00	-	-	13.00	615.11
	2	15.56	14.00	-	-	14.00	615.79
	3	16.29	14.00	-	-	14.00	616.38
MAR	1	15.56	13.00	-	-	13.00	617.12
	2	13.87	12.70	-	-	12.70	617.46
	3	14.61	12.00	-	-	12.00	618.29
APR	1	13.58	11.50	-	-	11.50	618.88
	2	14.03	9.25	-	-	9.25	620.26
	3	12.50	9.25	-	-	9.25	621.20
MEI	1	11.05	9.25	-	-	9.25	621.72
	2	9.88	9.25	-	-	9.25	621.90
	3	9.51	9.25	-	-	9.25	622.00
JUN	1	10.73	12.05	-	-	12.05	621.62
	2	9.94	12.50	-	-	12.50	620.88
	3	9.11	12.25	-	-	12.25	619.98
JUL	1	8.57	12.25	-	-	12.25	618.92
	2	8.25	11.48	-	-	11.48	617.99
	3	8.26	11.18	-	-	11.18	617.06
AGT	1	7.58	10.70	-	-	10.70	616.16
	2	7.42	9.28	-	-	9.28	615.44
	3	7.53	8.78	-	-	8.78	614.85
SEP	1	7.55	9.00	-	-	9.00	614.22
	2	7.69	8.71	-	-	8.71	613.78
	3	7.42	8.98	-	-	8.98	613.11
OKT	1	7.98	8.50	-	-	8.50	612.88
	2	8.26	9.09	-	-	9.09	612.53
	3	8.33	9.55	-	-	9.55	611.93
NOP	1	9.29	12.35	-	-	12.35	610.16
	2	10.62	14.25	-	-	14.25	608.10
	3	11.73	14.25	-	-	14.25	606.00

c. Realisasi Pola Operasi Waduk Selorejo.

Tabel 5. Realisasi Operasi Waduk

BLN/DKD		INFLOW	OUTFLOW				ELEVASI AKHIR m
		m <sup>3</sup> /dtk	TURBIN m <sup>3</sup> /dtk	H J V m <sup>3</sup> /dtk	SPILLWAY m <sup>3</sup> /dtk	TOTAL m <sup>3</sup> /dtk	
							612.00
							614.32
DES	1	11.50	9.25	-	-	9.25	614.73
	2	10.17	9.25	-	-	9.25	615.98
	3	11.70	9.25	-	-	9.25	617.91
JAN	1	14.44	9.25	-	-	9.25	621.37
	2	23.79	12.96	-	-	12.96	621.04
	3	21.64	14.00	-	9.25	23.25	620.69
FEB	1	16.25	14.00	-	3.25	17.25	621.50
	2	17.93	14.00	-	1.04	15.04	620.89
	3	26.46	14.00	-	15.38	29.38	620.97
MAR	1	17.35	14.00	-	3.15	17.15	621.19
	2	16.89	14.00	-	1.88	15.88	621.47
	3	15.45	14.00	-	0.45	14.45	621.61
APR	1	18.76	14.00	-	4.12	18.12	621.81
	2	21.77	14.00	-	7.16	21.16	621.91
	3	15.72	14.00	-	1.39	15.39	621.68
MEI	1	12.56	13.34	-	-	13.34	621.91
	2	11.30	10.40	-	-	10.40	622.00
	3	13.85	13.60	-	-	13.60	622.14
JUN	1	14.73	14.00	-	0.38	14.38	621.92
	2	13.89	14.00	-	0.31	14.31	621.29
	3	11.46	13.96	-	-	13.96	620.60
JUL	1	10.15	12.74	-	-	12.74	620.64
	2	11.53	11.52	-	-	11.52	620.09
	3	9.83	11.52	-	-	11.52	619.18
AGT	1	8.74	11.52	-	-	11.52	618.28
	2	8.42	11.09	-	-	11.09	617.21
	3	8.19	10.45	-	-	10.45	616.42
SEP	1	7.40	9.53	-	-	9.53	615.66
	2	7.42	9.37	-	-	9.37	614.90
	3	7.47	9.25	-	-	9.25	614.14
OKT	1	7.72	9.25	-	-	9.25	613.41
	2	7.81	9.25	-	-	9.25	613.53
	3	9.38	9.25	-	-	9.25	613.09
NOP	1	9.47	10.31	-	-	10.31	613.62
	2	11.66	10.87	-	-	10.87	613.92
	3	11.34	10.87	-	-	10.87	

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi pemodelan debit menggunakan metode ARIMA guna menentukan pola operasi waduk Selorejo dapat disimpulkan sebagai berikut.

Model peramalan debit inflow Waduk Selorejo Periode Tahun 2012/2013 yang paling baik adalah model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup>, dengan persamaan sebagai berikut:

$$Z_t = 2.36Z_{t-1} - 1.72Z_{t-2} + 0.36Z_{t-3} - 0.18Z_{t-36} + 0.42Z_{t-37} - 0.31Z_{t-38} + 0.06Z_{t-39} - 0.47Z_{t-72} + 1.11Z_{t-73} - 0.81Z_{t-74} + 0.17Z_{t-75} + 0.66a_{t-37}$$

Berikut ini nilai kriteria kebaikan model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)<sup>36</sup> dibandingkan dengan perencanaan Perum Jasa Tirta I untuk debit inflow waduk selorejo periode tahun 2012/2013 pada tabel 6.

Berikut perbandingan pola operasi waduk Bendungan Selorejo menggunakan debit inflow dari peramalan metode ARIMA dan perencanaan yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta (PJT) I terhadap realisasi pada tabel 7.

Tabel 6. Kriteria Kebaikan Model

	Model ARIMA (1,1,1)(2,1,1)	PJT-1
MSE (Debit)	5.77	
KAR (Debit)	0.15	0.15
MAPE (Debit)	9.67	6.53
MAD (Debit)	2.02	2.46
MSD (Debit)	8.08	13.49
Uji-t (Debit)	Memenuhi	Tidak memenuhi
Uji-t (Volume)	Memenuhi	Tidak memenuhi
KR (Volume)	5.50	17.8

Tabel 7. Perbandingan Pola Operasi Waduk Selorejo

Kriteria	Pola Operasi		
	ARIMA	PJT-I	Realisasi
KR (Volume)	5.50	17.8	-
Volume (Juta m3)	390.08	339.31	412.78
Produksi Listrik (Juta MWh)	33.53	30.04	35.03

Dari tabel 7 didapatkan bahwa pola operasi waduk menggunakan debit inflow hasil peramalan dengan metode ARIMA lebih mendekati realisasi dilihat dari nilai selisih volume dan juga produksi listrik yang dihasilkan.

SARAN

Dalam studi ini peramalan debit inflow waduk Selorejo digunakan metode ARIMA untuk keperluan peramalan data yang pendek (1 tahun), untuk peramalan data yang lebih panjang dapat menggunakan metode ARFIMA.

Dapat dibandingkan metode peramalan ARIMA dengan metode peramalan yang lain.

Hasil peramalan debit dengan metode ARIMA dapat digunakan juga untuk keperluan lain seperti alokasi air, pembuatan pola tata tanam, perencanaan bangunan air, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

Arsyad, L. 1994. *Peramalan Bisnis*. Yogyakarta: BPFE.  
 Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden Day.  
 Cryer, J.D. 1986. *Time Series Analysis*. Boston: PWS-KENT Publishing Company.  
 Hanke, J.E., Arthur G Reitsch, and Dean W. Wichern. 2003. *Peramalan Bisnis*. Jakarta: PT. Prenhallindo.

- Makridakis, S., S. C. Wheelwright dan V. E. McGee. 1988. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Erlangga.
- Nigam, R., Sohail Bux, Sudhir Nigam, K.R. Pardasani, S.K. Mittal, Ruhi Haque. 2009. *Time series modeling and forecast of river flow*. *Current World Environment* Vol. 4(1), 79-87 (2009).
- Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 45. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Valipour, M., Mohammad Ebrahim Banihabib, Seyyed Mahmood Reza Behbahani. 2012. *Parameters Estimate of Autoregressive Moving Average and Autoregressive Integrated Moving Average Models and Compare Their Ability for Inflow Forecasting*. *Journal of Mathematics and Statistics* 8 (3): 330-338, 2012.