

## KAJIAN PENENTUAN KEBIJAKAN PENGOPERASIAN EMBUNG SURUHAN KABUPATEN BLORA DENGAN DEBIT BANGKITAN

Adeline Larisa, Hari Abrianto, Suharyanto\*), Hari Nugroho\*)

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Semarang 50239, Telp: (024) 7474770, Fax: (024) 7460060

### ABSTRAK

Penelitian yang berkaitan dengan sistem DAS (Daerah Aliran Sungai) membutuhkan seri data debit sungai yang berupa runtun waktu. Data debit tersebut dapat digunakan untuk menentukan pola pengoperasian embung dan untuk mengetahui kinerja embung. Namun untuk mengetahui kinerja pengoperasian pada waktu yang akan datang, data debit historis perlu dibangkitkan untuk disimulasikan. Pembangkitan data debit dapat menggunakan model simulasi hidrologi untuk memperkirakan debit suatu aliran sungai dari data curah hujan yang tersedia. Model Thomas-Fiering dapat digunakan untuk pembangkitan data debit tersebut. Adapun penelitian ini menggunakan kasus lokasi di Embung Suruhan, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah yang merupakan bagian wilayah SUB DAS Lusi. Embung Suruhan merupakan salah satu embung potensial yang diprioritaskan untuk dibangun. Hasil penelitian yang telah dilakukan, volume tampungan Embung Suruhan mencapai 4,489 juta m<sup>3</sup> untuk mengairi areal irigasi seluas 376 Ha dengan pola tanam padi-padi-palawija. Melihat potensi dari Embung Suruhan, maka perlu kajian lebih lanjut agar kinerja embung dapat dioptimalkan untuk masa yang akan datang. Dalam mengkaji nilai kinerja embung tersebut diperlukan simulasi pengoperasian terlebih dahulu. Simulasi pengoperasian yang dilakukan dengan dua cara yaitu Simulasi SOP dan Simulasi *Rule Curve*. Debit yang digunakan merupakan debit dari pembangkitan data selama 25 tahun menggunakan metode Thomas-Fiering, data tersebut merupakan data pembangkitan dari data debit historis yang didapat menggunakan metode FJ. Mock untuk memprediksi data inflow, karena tidak ada data debit hasil pencatatan. Hasil kajian akan menentukan kebijakan pengoperasian embung dengan menilai kinerja pengoperasian Embung Suruhan yaitu berupa keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*) dan kerawanan (*vulnerability*). Dari simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa Simulasi *Rule Curve* dapat meningkatkan kinerja dan mengoptimalkan tampungan yang ada di Embung Suruhan.

**Kata kunci:** Embung Suruhan, Thomas-Fiering, Kinerja operasi embung.

### ABSTRACT

*Study of watershed system (Watershed) requires a series of river flow data in the form of time series (historical). The data can be used for the reservoir operation and to know the performance it. However, in order to know the operating performance in the future, historical debit data needs to be generated for do simulation. The result of debit generation is used to analyze the similarity of characteristics with historical debit data. The generation of the debit data can use a hydrological simulation model to estimate the flow of a stream from the available rainfall data. The Thomas-Fiering model can be used to generate of the debit data. This study is using case location in Suruhan Reservoir, Blora Regency, Central Java Province which is part of Lusi watershed. Suruhan Reservoir is one of the potential reservoir priority to be built. The result of the research has been done, the volume of Suruhan Reservoir collection reached 4.489 million m<sup>3</sup> to irrigate the irrigated area of 376 Ha with the rice-rice-palawija cropping pattern. Seeing the potential of Suruhan Reservoir, it is necessary to further study so that the performance of the reservoir can be optimized for the future. In assessing the value of the*

*reservoir performance it is necessary to simulate the operation first. The simulation of operation is done in two ways namely SOP Simulation and Simulation Rule Curve. The debit used is a debit from data generation for 25 years using Thomas-Fiering method, the data is generating from historical debit data obtained using FJ method. Mock to predict data inflow, because there is no data of recording. The results of the assessment will evaluate the performance of the operation of Suruhan Reservoir namely in the form of reliability, resilience and vulnerability. From the simulation conducted can be concluded that Simulation Rule Curve can improve performance and optimize the existing containment in the Suruhan Reservoir.*

**Keywords:** *Suruhan Reservoir, Thomas-Fiering, Operating performance of reservoir.*

## **PENDAHULUAN**

Pengumpulan data debit air suatu sungai yang berupa deret yang cukup panjang untuk keperluan bangunan air seperti bendungan, waduk, embung dan bendung tidaklah mudah. Untuk dapat melakukan studi-studi simulasi, khususnya studi simulasi stokastik, yang berkaitan dengan sistem DAS (Daerah Aliran Sungai) maka dibutuhkan seri data debit sungai yang cukup panjang. Seri data debit ini dapat berupa runtun waktu. Akan tetapi data historis sering ditemukan tidak cukup panjang. Sebagai jalan keluarnya maka dapat digunakan seri data sintetik hasil bangkitan (Soetopo dkk, 2015).

Data historis yang tercatat merupakan data representatif dari kinerja embung yang ada, sehingga data tersebut perlu dibangkitkan untuk proyeksi kinerja embung yang akan datang. Pembangkitan data historis menjadi data baru digunakan untuk mengkaji hubungan antara kemiripan karakteristik data hasil bangkitan dengan data historisnya. Kinerja hasil pembangkitan diukur dari nilai kesalahan realtif hasil pembangkitan data historis. Beberapa metode pembangkitan data (model stokastik) yang dapat digunakan salah satunya seperti Thomas-Fiering yang dapat meramalkan data untuk proyeksi kinerja beberapa tahun kedepan.

Adapun penelitian ini menggunakan kasus lokasi di Embung Suruhan, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah. Embung Suruhan merupakan salah satu embung potensial dan yang diprioritaskan untuk dibangun. Dari hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Departemen Pekerjaan Umum dalam Studi dan Basic Desain Rencana Pengelolaan SDA Sub DAS Lusi pada tahun 2008, mengenai potensi Embung Suruhan dalam analisisnya mempunyai kapasitas tampungan sebesar 0,71 juta m<sup>3</sup>. Kemudian pada tahun 2010 menurut hasil Paparan Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (SDA), volume tampungan Embung Suruhan sebesar 4,811 juta m<sup>3</sup>. Pada tahun 2013 dilakukan penelitian kembali oleh Direktorat Pekerjaan Umum dalam Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air WS Jratunseluna, merencanakan volume tampungan Embung Suruhan mencapai 6,69 juta m<sup>3</sup>. Namun dari hasil penelitian terkini yang dilakukan oleh Bertha Silvia Pratiwi dalam tesisnya mengenai Kajian Peramalan Ketersediaan Air Daerah Irigasi Layanan Embung Suruhan tahun 2017, volume tampungan Embung Suruhan sebesar 4,489 juta m<sup>3</sup>. Pola tanam yang digunakan adalah padi-padi-palawija (Pratiwi, 2017). Daerah studi termasuk daerah yang sulit air, sehingga pemanfaatan penampungan/embung tergolong sangat penting/vital. Namun yang menjadi kendala adalah ketidaktentuan ketersediaan air (debit sungai) yang relatif tinggi, sehingga perlu dilakukan analisa stokastik.

Oleh karena itu, melihat adanya potensi dari Embung Suruhan, embung perlu kajian lebih detail. Hasil kajian terhadap pembangkitan data yang representatif pada model stokastik ini dapat digunakan sebagai evaluasi masa operasi embung pada tahun berikutnya.

## **METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini untuk mendapatkan luasan panen yang optimal dilakukan dengan simulasi beberapa alternatif luasan areal irigasi. Kapasitas embung dengan ukuran eksisting dan debit yang dibandingkan dari debit historis 10 tahun terakhir.

Secara garis besar, kegiatan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan, yaitu:

### **Tahap Awal Penelitian**

Tahap awal penelitian ini adalah pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan untuk kepentingan analisa yang akan diteliti. Sumber data diperoleh dari data sekunder, yaitu data yang didapatkan dari sumber yang telah dikumpulkan oleh pihak lain. Data yang digunakan, meliputi:

#### **1. Data Curah Hujan**

Data ini merupakan hasil rekaman dari stasiun hujan terdekat yang berpengaruh pada wilayah penelitian. Lamanya data curah hujan 10 tahun, yaitu stasiun hujan: Tempuran. Data yang diperlukan meliputi data hujan harian yang diolah menjadi data hujan 2 mingguan. Data tersebut diperoleh dari pengelola BBWS Pemali Juana.

#### **2. Data Klimatologi**

Data ini terdiri dari data suhu udara, data kelembaban udara, data kecepatan angin dan data lamanya penyinaran matahari. Diperlukan untuk menghitung evaporasi potensial yang selanjutnya dipakai sebagai dasar perhitungan kebutuhan konsumtif tanaman. Data Klimatologi yang digunakan diambil dari stasiun yang terdekat, yaitu: Stasiun Tempuran. Lamanya data klimatologi 10 tahun, yaitu dari tahun 2003-2012.

#### **3. Data Luas Areal Irigasi**

Data ini sebagai dasar acuan untuk perhitungan analisis kebutuhan air irigasi. Dalam penelitian ini menggunakan data luas lahan irigasi adalah 376 ha. Data ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik, BDA (Blora Dalam Angka) dan studi terdahulu.

#### **4. Pola Tanam dan Awal Waktu Tanam**

Awal waktu tanam adalah waktu mulai tanam dalam satu tahun, yaitu masa tanam 1 (MT 1), masa tanam 2 (MT 2), dan masa tanam 3 (MT 3). Awal tanam dihitung setiap dua minggu (setengah periode) sampai menemukan kebutuhan air yang paling minimal. Pola tanam adalah urutan jenis tanaman yang ditanam pada masa tanam 1 (MT1), masa tanam 2 (MT 2), dan masa tanam 3 (MT 3). Pola tanam mempengaruhi luas tanam atau indeks penanaman (IP). Pola tanam yang sering digunakan adalah Padi-Padi-Palawija dan Padi-Palawija-Palawija. Mayoritas urutan tanaman palawija yang di gemari petani di Kabupaten Blora adalah: jagung dan kedelai. Data jenis tanaman palawija diperoleh dari Kalender Tanam Terpadu Kabupaten Blora 2014, Blora Dalam Angka 2013-2015 dan berdasarkan SK Bupati Kabupaten Blora.

#### **5. Data Teknis Embung**

Data teknis Embung Suruhan diambil dari DED pada penelitian-penelitian sebelumnya. Disamping data teknis konstruksi, data yang penting adalah grafik hubungan antara tinggi-volume-luas genangan Embung Suruhan. Bentuk hubungan tersebut berupa garis yang menghubungkan tinggi muka embung (m) dengan besarnya volume tampungan ( $m^3$ ) dan luas genangan ( $m^2$ ). Data ini untuk mengetahui volume kapasitas embung agar dapat diketahui berapa ketersediaan air yang dapat tertampung. Data diperoleh dari studi terdahulu (Departemen Pekerjaan Umum, 2008; Departemen Pekerjaan Umum, 2013).

### **Tahap Analisa dan Pembahasan**

#### **1. Curah Hujan Rerata DAS**

Analisis curah hujan rerata DAS menggunakan persamaan Metode Thiessen. Data yang digunakan untuk perhitungan adalah data curah hujan harian yang diolah menjadi data dua mingguan. Perhitungan metode Thiessen dilakukan setelah plotting lokasi stasiun hujan untuk

mendapatkan bobot luas pengaruh hujan, sehingga akan didapat stasiun hujan yang berpengaruh terhadap DAS Suruhan.

2. Evapotranspirasi

Analisis evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan Metode Penman yang telah dimodifikasi. Data yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi adalah data klimatologi, yaitu suhu udara (°C), kelembaban relatif (%), kecepatan angin (m/detik), penyinaran matahari (%).

3. Analisis Debit

Analisis debit digunakan mendapatkan hasil debit andalan atau ketersediaan air. Dalam penelitian ini, analisis debit berdasar data hujan, hari hujan dan evapotranspirasi dengan menggunakan Metode Mock.

Urutan perhitungan debit dengan Metode Mock terdapat empat tahapan perhitungan, yaitu:

Tahap I – Evapotranspirasi Terbatas (Et)

Tahap II – Keseimbangan air permukaan.

Tahap III – Limpasan dan Penyimpanan Air Tanah (*Run Off & Groundwater Storage*).

Tahap IV – Debit Aliran Sungai (*River Flow*).

4. Pembangkitan Data Model Thomas-Fiering

Thomas dan Fiering mengembangkan model untuk membangkitkan aliran sungai seperiode. Model Thomas-Fiering secara implisit memungkinkan untuk ketidakstationeran yang diamati pada data aliran seperiode (Gunawan, 2006). Dalam cara ini, data selama n tahun dibagi menjadi 12 bagian. Langkah pertama dengan menghitung debit rata-rata tiap periode dari data aliran historis yang dilanjutkan dengan menghitung standar deviasi tiap periode semua data debit historis. Kemudian menghitung koefisien korelasi serial, koefisien regresi, koefisien variasi, dan koefisien asimetri tiap periode data debit historis. Selanjutnya membuat bilangan acak berdistribusi seragam antara 0 dan 1. Mengubah menjadi bilangan acak berdistribusi normal baku dengan nilai tengah 0 dan variasi 1, dan mengoreksi menjadi distribusi gamma. Membangkitkan data sintetik model Thomas-Fiering sebagai berikut :

$$q_{i,j} = \bar{q}_i + \beta_j \cdot (q_{i,j} - \bar{q}_{j-1}) + t_{i,\gamma,j} \cdot \sigma_j \sqrt{(1 - \rho_j^2)} \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $q_{i,j}$  = debit tahun ke-i, periode ke-j,  $q_j$  = debit rata-rata periode ke-j,  $q_{i,j-1}$  = debit rata-rata periode ke-j-1,  $\beta_j$  = koefisien korelasi serial periode ke-j dengan periode ke-j-1,  $\rho_j$  = koefisien korelasi serial debit rata-rata periode ke-j dan periode ke-j-1,  $t_{i,\gamma,j}$  = nilai acak berdistribusi normal baku pada tahun ke-i periode ke-j,  $\sigma_j$  = standar deviasi periode ke-j.

5. Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Variasi Pola tanam lahan sawah yang digunakan petani adalah pola tanam bergilir antara padi dan palawija. Hal ini dilakukan mengingat sebagian besar lahan sawah di kabupaten Blora khususnya di DAS Suruhan adalah lahan sawah tanpa irigasi (tadah hujan). Pola tanam yang digunakan dalam yaitu pola tanam dengan padi-padi-palawija.

6. Simulasi Pengoperasian Embung

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi berdasarkan SOP (*Standard Operating Policy*) (Budiman, 2007).. Langkah pertama simulasi embung dapat dilakukan dengan memasukkan data input berupa debit *inflow*. Kemudian menentukan besarnya evaporasi yang merupakan fungsi dari luas genangan awal embung dikalikan koefisien periode dikalikan besar *annual* evaporasi, memasukkan data *demand* dan menentukan besarnya pelepasan. Setelah itu, Menentukan kapasitas awal embung pada awal periode pengoperasian dengan *trial and error* agar elevasi akhir yang dihasilkan mendekati elevasi akhir eksisting yang ada, menentukan kapasitas akhir embung dengan menggunakan persamaan kesetimbangan air :

$$S_t = S_{t-1} + I_t - RL_t - Evt \dots\dots\dots(2)$$

dengan  $S_t$  = tampungan waduk pada akhir periode ke-t (juta  $m^3$ / periode),  $S_{t-1}$  = tampungan waduk awal periode ke-t (juta  $m^3$ / periode),  $I_t$  = debit inflow waduk pada periode ke-t (juta  $m^3$ / periode),  $RL_t$  = release waduk pada periode ke-t (juta  $m^3$ / periode),  $E_{vt}$  = Evapotranspirasi. *Spill* terjadi jika volume tampungan akhir embung melebihi kapasitas maksimum. Elevasi awal dan akhir ditentukan dengan menggunakan persamaan lengkung kapasitas embung. Langkah terakhir adalah menentukan indikator unjuk kerja kebutuhan yaitu dengan membandingkan antara pelepasan dengan *demand*.

7. Analisa Unjuk Kerja Embung

Kinerja pengoperasian embung merupakan indikator embung dalam pengoperasian untuk memenuhi kebutuhan. Beberapa indikator untuk menilai besarnya kinerja operasi embung (Budiman, 2007), yaitu keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*), dan kerawanan (*vulnerability*).

- Keandalan (*Reliability*)

Keandalan merupakan indikator seberapa sering waduk untuk memenuhi kebutuhan yang ditargetkan selama masa pengoperasiannya.

Menghitung tingkat keandalan embung dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\sum (Z_t)}{n} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dengan  $\alpha$  = tingkat keandalan ( %),  $Z_t$  = banyaknya periode sukses,  $n$  = banyaknya periode pengoperasian.

- Kelentingan (*Resiliency*)

Indikator ini untuk mengukur kemampuan waduk untuk kembali ke keadaan memuaskan dari keadaan gagal.

Menghitung tingkat kelentingan embung dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum W_t \dots\dots\dots(4)$$

$$\gamma_1 = \frac{\rho}{1 - \alpha_1} \dots\dots\dots(5)$$

dengan  $\rho$  = probabilitas terjadinya transisi embung dari keadaan gagal ke keadaan memuaskan,  $W_t$  = jumlah rerata terjadi transisi embung dari keadaan gagal menjadi keadaan memuaskan,  $\gamma_1$  = kinerja kelentingan,  $n$  = banyaknya periode pengoperasian.

- Kerawanan (*Vulnerability*)

Jika terjadi kegagalan, kinerja kerawanan menunjukkan/ mengukur seberapa besar (seberapa rawan) suatu kegagalan yang terjadi.

Menghitung tingkat kerawanan embung dengan rumus sebagai berikut:

$$v_1 = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{DEF_t}{D_t}}{\sum_{t=1}^n (1 - Z_t)} \dots\dots\dots(6)$$

$$v_2 = \max \left( \frac{DEF_t}{D_t} \right) \dots\dots\dots(7)$$

$$v_3 = \max \{ DEF_t \} \dots\dots\dots(8)$$

dengan  $Z_t$  = banyaknya periode sukses,  $v_1$  = nilai rerata “*deficit-ratio*”,  $v_2$  = nilai maksimum “*deficit-ratio*”,  $v_3$  = nilai maksimum “*deficit*”.

**ANALISA DAN PEMBAHASAN**

**Analisa Ketersediaan Air**

Ketersediaan air didapat dengan Metode Mock menggunakan input data evapotranspirasi potensial dan curah hujan rerata. Selain itu ada beberapa parameter yang mempengaruhi, yaitu

evapotranspirasi terbatas, keseimbangan air, aliran dan penyimpanan air tanah (*Run Off*) dan luas DAS. Dari perhitungan FJ Mock, didapat debit aliran selama 10 tahun terakhir dari tahun 2003-2012, data ini dianggap sebagai data historis. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1** Rekapitulasi data Historis debit ketersediaan air Tahun 2003-2012

Bulan ke-		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Rata2	St. dev	Korel	Varian
												Qj	Sj	tj	bj
Jan	1	0.483	1.366	0.683	1.230	0.391	0.155	1.021	1.923	0.097	1.069	<b>0.842</b>	<b>0.583</b>	<b>0.174</b>	<b>0.567</b>
	2	0.176	0.459	0.740	0.805	0.306	0.973	6.596	1.094	0.485	0.732	<b>1.237</b>	<b>1.905</b>	<b>0.221</b>	<b>0.072</b>
Feb	1	2.247	0.702	0.851	1.850	0.338	1.023	1.595	0.596	1.400	0.641	<b>1.124</b>	<b>0.622</b>	<b>0.165</b>	<b>0.117</b>
	2	0.802	0.673	1.036	1.294	1.264	0.952	2.023	1.179	0.592	0.553	<b>1.037</b>	<b>0.440</b>	<b>0.533</b>	<b>0.652</b>
Mar	1	0.952	1.560	0.645	0.546	0.991	0.470	1.883	1.680	0.498	0.571	<b>0.980</b>	<b>0.538</b>	<b>0.478</b>	<b>0.614</b>
	2	0.272	1.638	1.686	1.118	0.652	0.539	0.879	2.524	0.716	0.600	<b>1.063</b>	<b>0.691</b>	<b>0.081</b>	<b>0.062</b>
Apr	1	1.023	0.775	1.853	0.407	0.507	0.125	0.755	0.271	0.158	1.041	<b>0.691</b>	<b>0.526</b>	<b>0.182</b>	<b>0.131</b>
	2	1.118	0.158	0.360	0.924	0.574	0.100	0.788	0.217	0.112	0.142	<b>0.449</b>	<b>0.377</b>	<b>0.773</b>	<b>0.869</b>
May	1	1.424	0.319	0.742	1.177	0.219	0.080	0.941	0.805	0.619	0.526	<b>0.685</b>	<b>0.424</b>	<b>0.114</b>	<b>0.114</b>
	2	0.371	1.106	1.249	0.516	0.469	0.060	0.633	1.083	0.171	0.216	<b>0.587</b>	<b>0.423</b>	<b>0.767</b>	<b>0.696</b>
Jun	1	0.166	0.406	1.375	0.502	0.268	0.051	0.351	0.658	0.077	0.485	<b>0.434</b>	<b>0.384</b>	<b>0.180</b>	<b>0.132</b>
	2	0.114	0.114	0.196	0.128	0.544	0.041	0.147	0.947	0.233	0.081	<b>0.255</b>	<b>0.281</b>	<b>0.480</b>	<b>0.458</b>
Jul	1	0.091	0.745	0.258	0.103	0.079	0.033	0.118	0.693	0.057	0.065	<b>0.224</b>	<b>0.268</b>	<b>0.594</b>	<b>0.651</b>
	2	0.068	0.092	0.571	0.077	0.168	0.025	0.128	0.917	0.042	0.049	<b>0.214</b>	<b>0.294</b>	<b>0.944</b>	<b>0.250</b>
Aug	1	0.058	0.079	0.118	0.066	0.055	0.021	0.077	0.293	0.036	0.041	<b>0.084</b>	<b>0.078</b>	<b>0.961</b>	<b>1.495</b>
	2	0.102	0.059	0.088	0.049	0.098	0.016	0.058	0.431	0.027	0.031	<b>0.096</b>	<b>0.121</b>	<b>0.989</b>	<b>1.733</b>
Sep	1	0.099	0.050	0.095	0.042	0.210	0.013	0.049	0.715	0.023	0.029	<b>0.133</b>	<b>0.213</b>	<b>0.949</b>	<b>1.524</b>
	2	0.034	0.101	0.122	0.092	0.037	0.011	0.178	1.141	0.065	0.021	<b>0.180</b>	<b>0.342</b>	<b>0.844</b>	<b>0.608</b>
Oct	1	0.335	0.034	0.363	0.088	0.291	0.009	0.300	0.817	0.016	0.124	<b>0.238</b>	<b>0.246</b>	<b>0.869</b>	<b>2.010</b>
	2	0.415	0.160	0.591	0.024	0.101	0.006	0.088	1.890	0.367	0.040	<b>0.368</b>	<b>0.569</b>	<b>0.510</b>	<b>0.543</b>
Nov	1	0.043	0.422	0.753	0.037	1.644	0.006	0.716	1.535	1.210	0.539	<b>0.690</b>	<b>0.606</b>	<b>0.580</b>	<b>0.519</b>
	2	0.034	0.893	1.310	0.074	0.739	0.004	1.507	1.058	0.905	1.054	<b>0.758</b>	<b>0.542</b>	<b>0.385</b>	<b>0.386</b>
Dec	1	0.027	0.628	0.348	0.707	1.213	0.004	0.572	1.813	0.924	0.550	<b>0.679</b>	<b>0.543</b>	<b>0.678</b>	<b>0.783</b>
	2	0.021	0.953	1.547	1.236	1.732	0.003	1.322	1.474	0.861	0.395	<b>0.954</b>	<b>0.627</b>	<b>0.371</b>	<b>0.103</b>
Rata-rata		<b>0.437</b>	<b>0.562</b>	<b>0.733</b>	<b>0.545</b>	<b>0.537</b>	<b>0.197</b>	<b>0.947</b>	<b>1.073</b>	<b>0.404</b>	<b>0.400</b>				

**Pembangkitan Data Debit**

Tujuan dari pembangkitan data debit adalah untuk menganalisa berbagai kemungkinan data *series* debit yang mungkin terjadi sepanjang pengoperasian embung. Pada pembangkitan data debit, input yang digunakan adalah debit historis tahun 2003-2012, yang berupa debit dua mingguan. Data debit tersebut (data historik) kemudian dibangkitkan dengan menggunakan metode Thomas-Fiering. Analisis dengan Metode Thomas-Fiering dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Ms Excel.

**Tabel 2** Rekapitulasi debit bangkitan selama 25 tahun

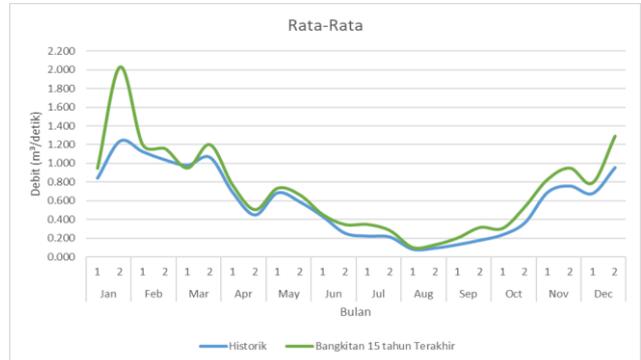
Bulan ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Jan	1	0.842	1.117	0.957	0.000	0.848	0.518	0.934	0.633	1.578	0.341	2.010	0.293	0.553	1.475	0.867	0.793	0.916	0.270	0.000	1.169	1.669	1.039	1.044	1.693	0.417
	2	4.650	2.222	3.261	3.279	0.000	0.000	0.710	0.245	2.984	0.078	1.886	0.101	2.025	0.135	3.016	3.718	0.000	2.244	3.091	4.285	3.050	2.801	0.000	0.108	0.000
Feb	1	2.263	1.466	1.220	1.122	0.558	1.096	0.722	0.206	0.000	0.594	2.051	0.672	1.267	0.953	0.961	1.828	0.867	0.552	1.430	1.867	1.267	1.391	0.661	1.303	0.960
	2	1.658	1.350	1.191	0.934	0.422	0.653	0.952	0.996	0.312	0.842	1.718	0.711	1.448	1.825	0.220	1.422	0.962	1.304	0.459	1.060	0.851	1.415	0.911	1.549	1.508
Mar	1	1.773	1.826	1.112	1.137	0.652	0.870	1.895	1.503	0.231	0.853	1.031	0.383	1.456	1.274	0.653	1.405	0.207	0.979	0.567	1.360	0.508	1.142	0.431	1.553	1.301
	2	1.528	3.362	2.165	0.752	1.054	0.000	1.614	2.529	0.332	0.701	0.086	0.000	0.578	1.131	1.439	0.851	1.232	0.580	0.735	1.334	1.599	2.374	1.659	1.389	3.017
Apr	1	0.373	0.113	1.785	1.586	0.224	1.172	0.374	1.804	0.213	0.137	0.806	0.909	0.711	0.418	0.332	1.206	0.255	0.475	1.590	1.274	1.760	0.345	0.723	0.000	0.743
	2	0.111	0.589	0.602	0.356	0.421	0.744	0.055	0.492	0.168	0.623	0.000	0.839	0.450	0.512	0.499	0.318	0.896	0.751	0.888	0.060	1.050	0.435	0.343	0.110	0.425
May	1	0.772	0.431	0.521	0.641	0.264	0.562	0.084	0.922	0.859	0.656	0.552	1.032	0.347	0.968	0.877	0.567	0.811	1.447	1.015	0.329	1.395	0.104	0.678	0.192	0.696
	2	0.528	1.010	1.547	0.797	0.155	0.903	0.406	0.607	1.000	0.789	1.008	0.086	0.445	0.846	0.443	0.039	1.042	1.166	0.943	1.661	0.000	0.097	1.229	0.152	0.768
Jun	1	0.251	0.700	1.075	0.844	0.373	0.850	0.000	0.938	0.719	0.689	0.897	0.110	0.676	0.597	0.152	0.072	0.267	1.036	0.735	0.988	0.000	0.119	0.652	0.000	0.514
	2	0.000	0.548	0.567	0.573	0.000	0.702	0.017	0.224	0.033	0.591	0.000	0.680	0.200	0.182	0.376	0.139	0.302	0.197	0.392	0.443	0.668	0.378	0.326	0.472	0.428
Jul	1	0.000	0.706	0.416	0.295	0.000	0.098	0.000	0.453	0.151	0.130	0.113	0.852	0.380	0.328	0.474	0.000	0.380	0.533	0.160	0.011	0.577	0.228	0.361	0.280	0.525
	2	0.181	0.464	0.186	0.150	0.139	0.082	0.000	0.354	0.007	0.062	0.155	0.459	0.211	0.055	0.423	0.000	0.000	0.259	0.225	0.181	0.694	0.152	0.192	0.580	0.635
Aug	1	0.088	0.176	0.061	0.058	0.047	0.108	0.000	0.134	0.000	0.040	0.074	0.159	0.090	0.085	0.155	0.000	0.007	0.074	0.075	0.048	0.233	0.074	0.090	0.167	0.190
	2	0.084	0.256	0.032	0.044	0.012	0.216	0.000	0.203	0.000	0.008	0.068	0.188	0.177	0.131	0.186	0.000	0.000	0.096	0.001	0.005	0.384	0.066	0.113	0.241	0.207
Sep	1	0.098	0.469	0.077	0.047	0.029	0.393	0.000	0.347	0.000	0.000	0.062	0.320	0.321	0.168	0.299	0.000	0.000	0.123	0.172	0.000	0.633	0.081	0.187	0.384	0.290
	2	0.233	0.771	0.051	0.044	0.000	0.514	0.008	0.323	0.204	0.040	0.000	0.512	0.394	0.081	0.393	0.000	0.055	0.099	0.408	0.078	1.149	0.000	0.421	0.790	0.349
Oct	1	0.126	0.541	0.201	0.098	0.121	0.533	0.194	0.435	0.081	0.145	0.086	0.446	0.475	0.080	0.229	0.086	0.208	0.000	0.453	0.187	1.164	0.027	0.204	0.590	0.342
	2	0.230	0.984	0.363	0.293	0.683	0.761	0.122	1.021	0.000	0.562	0.322	1.031	0.623	0.000	0.450	0.343	0.894	0.000	0.679	0.000	2.124	0.042	0.412	0.853	0.300
Nov	1	1.584	1.160	0.492	1.448	0.881	1.121	0.497	1.299	0.068	0.653	0.971	1.057	1.132	1.482	0.852	1.183	0.620	0.000	0.000	0.691	1.678	0.000	0.745	0.896	1.125
	2	0.696	0.340	0.250	0.692	0.806	0.937	0.204	1.061	0.304	0.521	0.943	1.767	1.152	1.603	1.176	0.000	0.596	0.585	0.658	0.690	0.838	0.800	0.932	0.854	1.644
Dec	1	1.138	0.000	0.536	0.575	0.694	0.560	0.350	1.158	0.222	0.980	0.510	1.239	1.136	1.036	1.076	0.424	0.052	0.557	0.909	0.951	0.813	0.339	0.572	0.404	1.862
	2	1.322	1.292	0.000	0.000	1.147	1.273	0.372	1.544	0.868	0.881	0.839	1.823	1.867	1.528	1.071	1.059	1.316	0.731	1.634	1.032	1.001	1.617	1.453	0.548	1.844

**Perbandingan Data Historis dan Bangkitan**

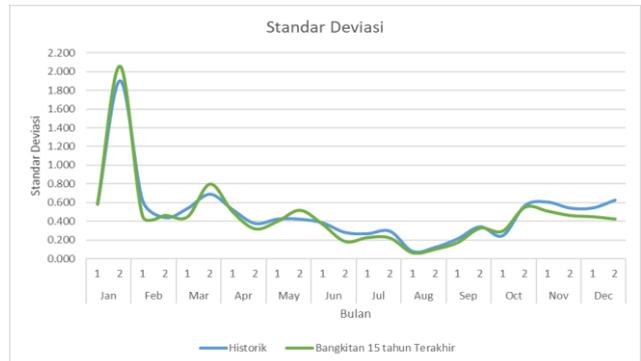
Bangkitan data dapat digunakan sebagai basis utama dalam mengkaji kinerja operasi embung di masa mendatang hanya dengan syarat, yaitu hasil bangkitan memiliki kesamaan karakteristik statistik. Hasil perbandingan parameter statistik disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 3 s/d 6.

**Tabel 3** Perbandingan Parameter Statistik Data Historis dan Data Bangkitan

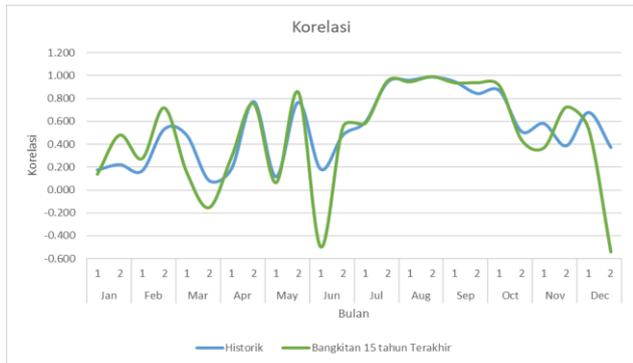
Bulan ke-	Historik				Bangkitan 15 tahun Terakhir				
	Rata2	St. dev	Korel	Varian	Rata2	St. dev	Korel	Varian	
	Qj	Sj	rj	bj	Qj	Sj	rj	bj	
Jan	1	0.842	0.583	0.174	0.567	0.947	0.586	-0.044	-0.117
	2	1.237	1.905	0.221	0.072	1.764	1.559	0.607	0.179
Feb	1	1.124	0.622	0.165	0.117	1.202	0.459	0.274	0.278
	2	1.037	0.440	0.533	0.652	1.157	0.466	0.717	0.692
Mar	1	0.980	0.538	0.478	0.614	0.950	0.450	0.154	0.274
	2	1.063	0.691	0.081	0.062	1.200	0.800	-0.154	-0.097
Apr	1	0.691	0.526	0.182	0.131	0.770	0.505	0.285	0.182
	2	0.449	0.377	0.773	0.869	0.505	0.322	0.755	0.942
May	1	0.685	0.424	0.114	0.114	0.734	0.402	0.064	0.082
	2	0.587	0.423	0.767	0.696	0.662	0.521	0.854	0.608
Jun	1	0.434	0.384	0.180	0.132	0.454	0.371	-0.497	-0.250
	2	0.255	0.281	0.480	0.458	0.346	0.186	0.551	0.678
Jul	1	0.224	0.268	0.594	0.651	0.347	0.229	0.583	0.570
	2	0.214	0.294	0.944	0.250	0.281	0.224	0.954	0.282
Aug	1	0.084	0.078	0.961	1.495	0.101	0.066	0.945	1.489
	2	0.096	0.121	0.989	1.733	0.130	0.104	0.990	1.662
Sep	1	0.133	0.213	0.949	1.524	0.203	0.175	0.937	1.760
	2	0.180	0.342	0.844	0.608	0.315	0.329	0.937	0.850
Oct	1	0.238	0.246	0.869	2.010	0.305	0.298	0.912	1.691
	2	0.368	0.569	0.510	0.543	0.538	0.554	0.437	0.404
Nov	1	0.690	0.606	0.580	0.519	0.829	0.511	0.368	0.335
	2	0.758	0.542	0.385	0.386	0.949	0.465	0.724	0.704
Dec	1	0.679	0.543	0.678	0.783	0.792	0.452	0.535	0.505
	2	0.954	0.627	0.371	0.103	1.291	0.427	-0.541	0.056



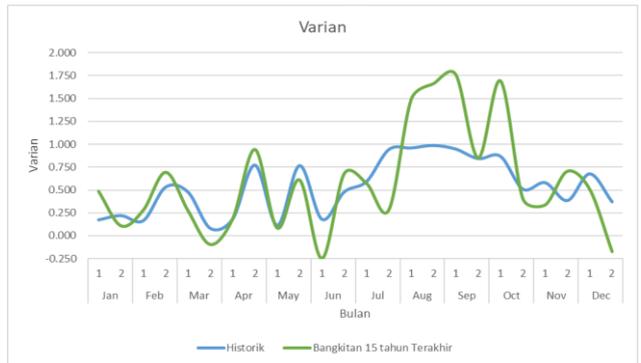
**Gambar 3** Data Historis dan Data Bangkitan Rata-rata



**Gambar 4** Data Historis dan Data Bangkitan Deviasi



**Gambar 5** Data Historis dan Data Bangkitan Korelasi



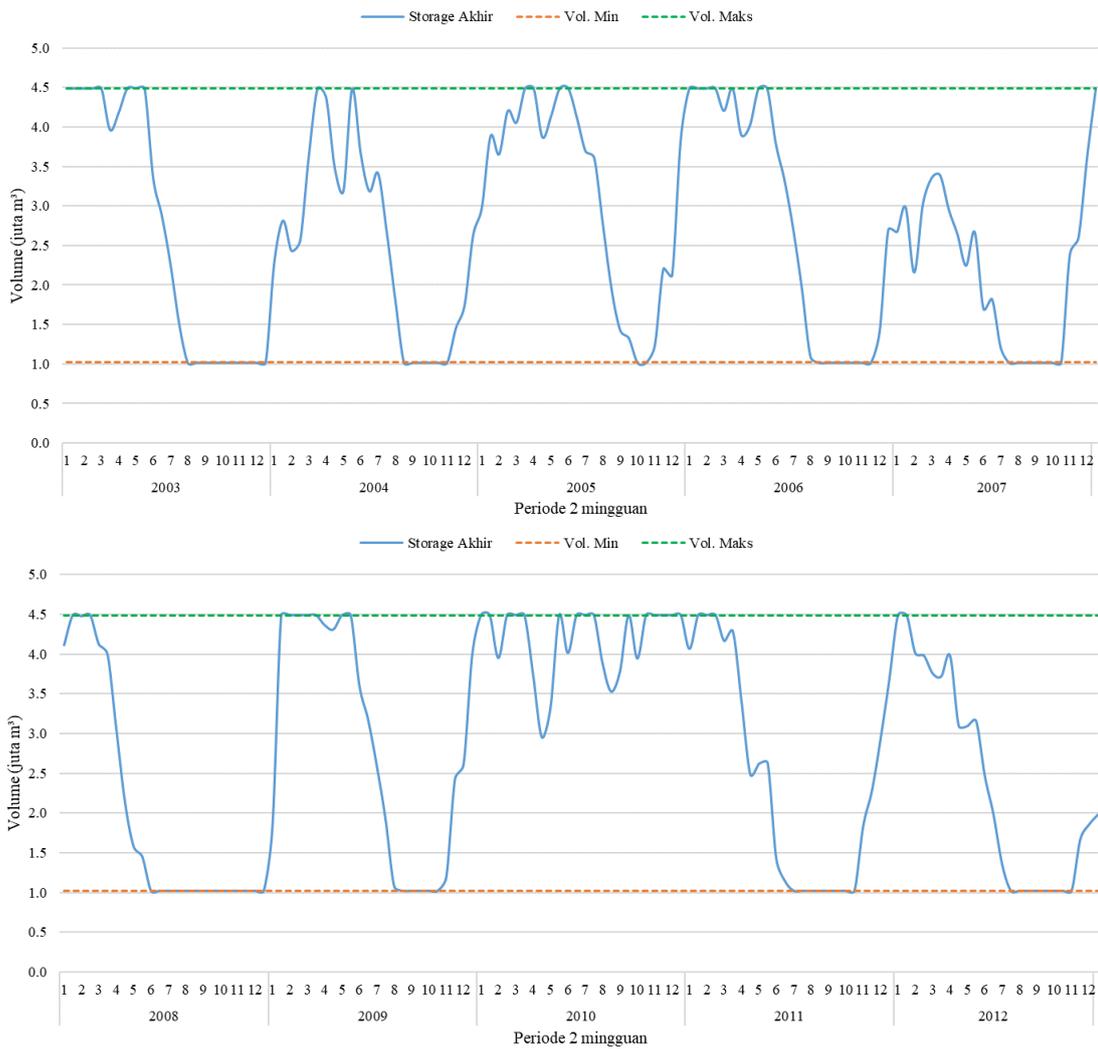
**Gambar 6** Data Historis dan Data Bangkitan Varian

Dari hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa data hasil bangkitan sudah memiliki kesamaan statistik dengan data historis. Sehingga data dapat dipakai untuk analisa selanjutnya.

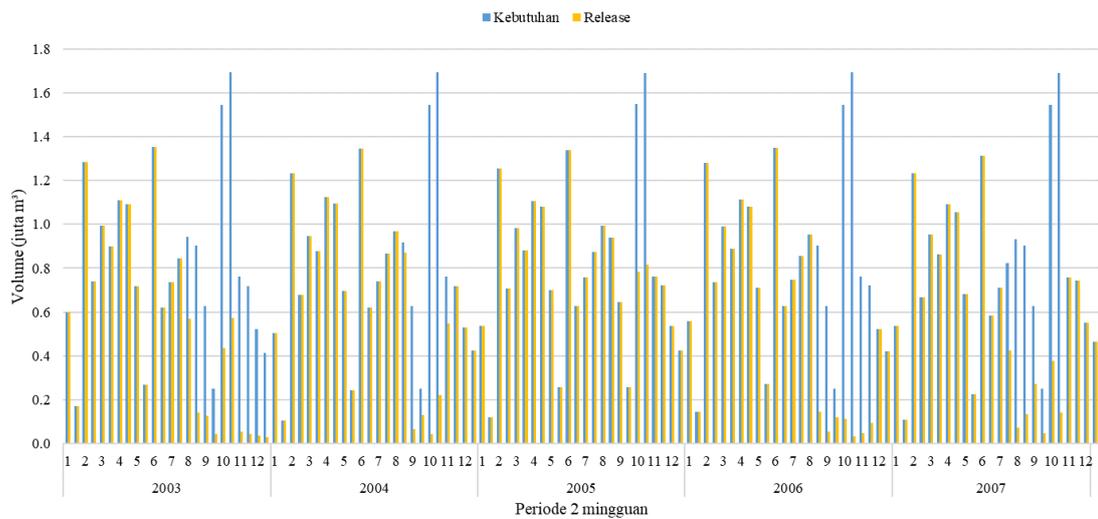
**Simulasi Pengoperasian Embung debit historis dengan SOP**

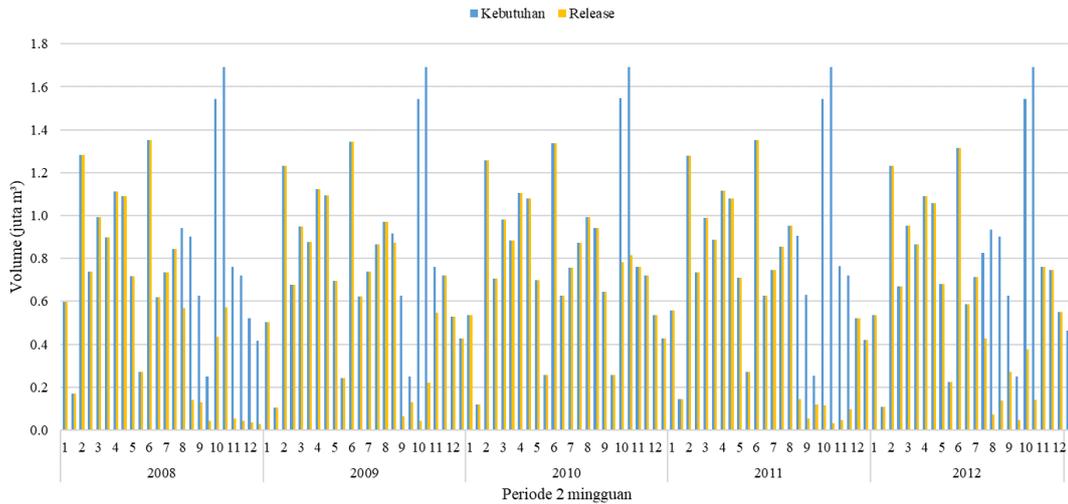
Simulasi lepasan dengan SOP merupakan pedoman dalam melepaskan jumlah air dari waduk untuk memenuhi berbagai kebutuhan sesuai dengan kondisi yang berlaku. Dengan kata lain maka lepasan air waduk tidak tergantung pada berapa tampungan di waduk atau volume air yang

tersisa di waduk. Apabila tampungan waduk mencapai nol (tampungan waduk kosong), maka pemenuhan kebutuhan hanya tergantung pada besarnya debit inflow ke waduk (Soetopo, 2010).



**Gambar 7** Volume Tampungan Embung Suruhan Debit Historis Tahun 2003-2012 dengan SOP



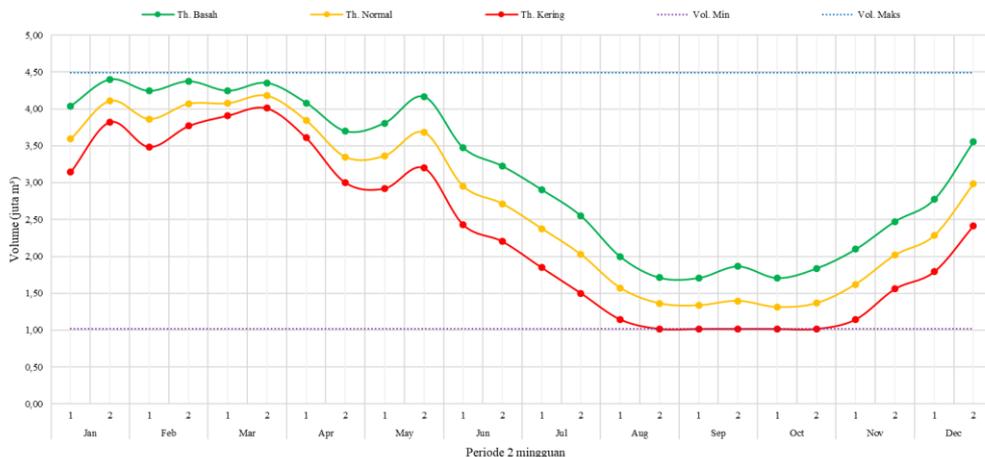


Gambar 8 Kebutuhan dan Release Debit Historis Tahun 2003-2012 dengan SOP

Dari hasil simulasi operasi embung metode SOP diatas, dapat diketahui bahwa terjadi keadaan kritis (volume tampungan minimum). Hal ini disebabkan tidak adanya pola pengoperasian, dan berdampak terjadinya kekeringan pada beberapa periode tertentu. Untuk mengoptimasikan embung maka digunakan *rule curve* sebagai pedoman operasi embung nantinya.

Tabel 4 Rekapitulasi rata-rata tampungan akhir setiap periode dengan SOP

Bulan ke-	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	St dev	Kering	Normal	Basah	
Jan	1	4,489,000.00	2,286,425.46	2,980,128.72	4,489,000.00	2,672,373.22	4,112,042.52	1,842,842.09	4,489,000.00	4,064,936.35	4,489,000.00	1,037,985.46	3,145,141.09	3,591,474.84	4,037,808.58
	2	4,489,000.00	2,815,966.42	3,883,222.81	4,489,000.00	2,986,231.92	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	666,190.28	3,824,380.29	4,110,842.11	4,397,303.94
Feb	1	4,489,000.00	2,432,766.48	3,657,038.26	4,489,000.00	2,162,105.39	4,475,847.25	4,489,000.00	3,949,848.64	4,489,000.00	4,010,772.20	878,981.42	3,486,475.81	3,864,437.82	4,242,399.83
	2	4,489,000.00	2,568,100.19	4,204,142.08	4,489,000.00	3,022,283.19	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	3,978,266.46	701,837.59	3,768,889.03	4,070,679.19	4,372,469.36
Mar	1	4,489,000.00	3,641,840.53	4,058,277.23	4,206,911.72	3,352,862.74	4,122,717.10	4,489,000.00	4,489,000.00	4,164,212.79	3,754,782.15	387,831.35	3,910,092.95	4,076,860.43	4,243,627.91
	2	3,966,898.08	4,489,000.00	4,489,000.00	4,489,000.00	3,389,921.56	3,994,678.32	4,489,000.00	4,489,000.00	4,284,604.92	3,719,991.28	394,959.29	4,010,276.92	4,180,109.42	4,349,941.91
Apr	1	4,181,092.78	4,369,895.62	4,489,000.00	3,901,772.85	2,957,261.87	3,065,537.50	4,363,728.72	3,737,903.49	3,395,301.09	3,979,068.86	548,008.26	3,608,412.73	3,844,056.28	4,079,699.83
	2	4,489,000.00	3,479,235.91	3,874,898.88	4,020,099.54	2,644,197.82	2,143,289.85	4,309,194.76	2,952,658.37	2,485,007.32	3,094,697.82	808,579.12	3,001,539.00	3,349,228.03	3,696,917.05
May	1	4,489,000.00	3,196,507.35	4,135,583.19	4,489,000.00	2,247,402.76	1,577,386.41	4,489,000.00	3,322,447.55	2,617,090.63	3,093,090.17	1,026,970.30	2,924,053.58	3,365,650.81	3,807,248.04
	2	4,489,000.00	4,482,080.60	4,489,000.00	4,489,000.00	2,670,727.01	1,447,815.74	4,489,000.00	4,489,000.00	2,627,397.73	3,156,262.07	1,120,476.29	3,201,123.51	3,682,928.32	4,164,733.12
Jun	1	3,353,131.11	3,663,175.63	4,489,000.00	3,790,083.29	1,703,513.20	1,019,000.00	3,601,812.80	4,013,363.72	1,416,760.92	2,467,771.55	1,209,537.24	2,431,660.21	2,951,761.22	3,471,862.24
	2	2,881,105.51	3,189,167.10	4,116,509.98	3,328,723.90	1,822,833.58	1,019,000.00	3,174,849.78	4,489,000.00	1,139,358.14	1,977,799.76	1,185,576.53	2,204,036.87	2,713,834.77	3,223,632.68
Jul	1	2,263,734.40	3,415,388.82	3,693,152.89	2,715,140.85	1,212,367.34	1,019,000.00	2,593,561.56	4,489,000.00	1,019,000.00	1,350,848.50	1,226,685.01	1,849,644.88	2,377,119.44	2,904,593.99
	2	1,513,358.23	2,676,278.78	3,609,802.22	1,965,831.27	1,019,000.00	1,019,000.00	1,924,703.50	4,489,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,217,033.61	1,502,172.95	2,025,497.40	2,548,821.85
Aug	1	1,019,000.00	1,808,716.21	2,770,537.81	1,096,219.13	1,019,000.00	1,019,000.00	1,076,840.78	3,878,603.85	1,019,000.00	1,019,000.00	989,586.91	1,147,069.40	1,572,591.78	1,998,114.15
	2	1,019,000.00	1,019,000.00	1,952,415.07	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	3,524,877.07	1,019,000.00	1,019,000.00	814,303.42	1,019,000.00	1,362,929.21	1,713,079.68
Sep	1	1,019,000.00	1,019,000.00	1,428,937.02	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	3,779,313.34	1,019,000.00	1,019,000.00	868,096.86	1,019,000.00	1,336,025.04	1,709,306.68
	2	1,019,000.00	1,019,000.00	1,329,855.19	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	4,489,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,090,771.61	1,019,000.00	1,397,085.52	1,866,117.31
Oct	1	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	3,942,932.82	1,019,000.00	1,019,000.00	924,628.74	1,019,000.00	1,311,393.28	1,708,983.64
	2	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	4,489,000.00	1,019,000.00	1,019,000.00	1,097,310.35	1,019,000.00	1,366,000.00	1,837,843.45
Nov	1	1,019,000.00	1,019,000.00	1,234,137.61	1,019,000.00	2,389,997.88	1,019,000.00	1,187,762.87	4,489,000.00	1,829,915.12	1,019,000.00	1,106,032.91	1,146,987.20	1,622,581.35	2,098,175.50
	2	1,019,000.00	1,456,000.53	2,209,798.93	1,019,000.00	2,602,652.54	1,019,000.00	2,420,872.44	4,489,000.00	2,274,580.58	1,668,602.72	1,061,681.63	1,561,327.68	2,017,850.78	2,474,373.87
Dec	1	1,019,000.00	1,741,567.33	2,125,174.84	1,412,677.69	3,624,249.24	1,019,000.00	2,615,268.63	4,489,000.00	2,930,058.41	1,851,963.91	1,137,793.93	1,793,544.61	2,282,796.01	2,772,047.40
	2	1,019,000.00	2,632,515.09	3,838,402.87	2,701,458.02	4,489,000.00	1,019,000.00	3,999,040.81	4,489,000.00	3,673,415.47	1,974,436.83	1,321,223.88	2,415,400.64	2,983,526.91	3,551,653.18

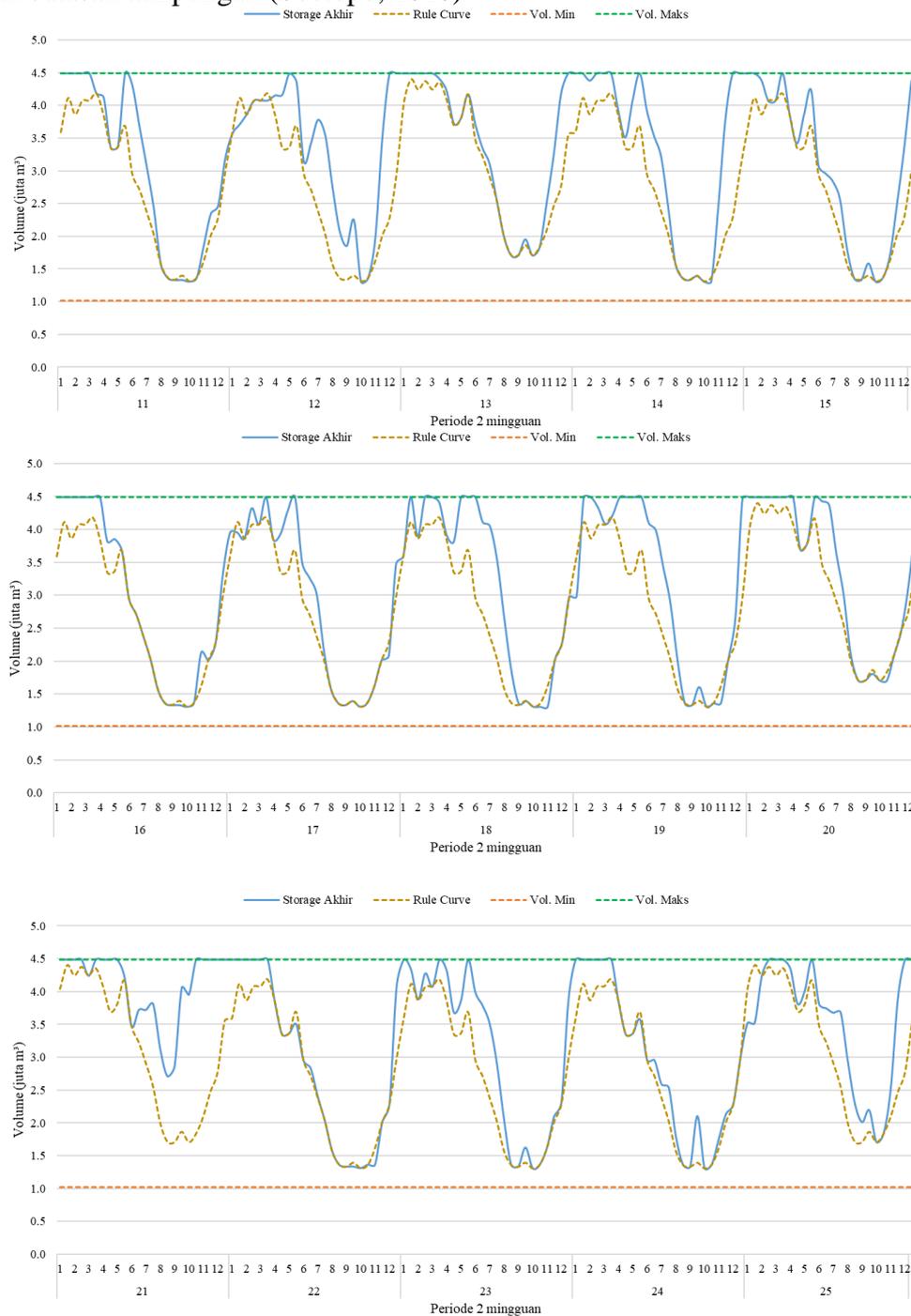


Gambar 9 Rule Curve Embung Suruhan

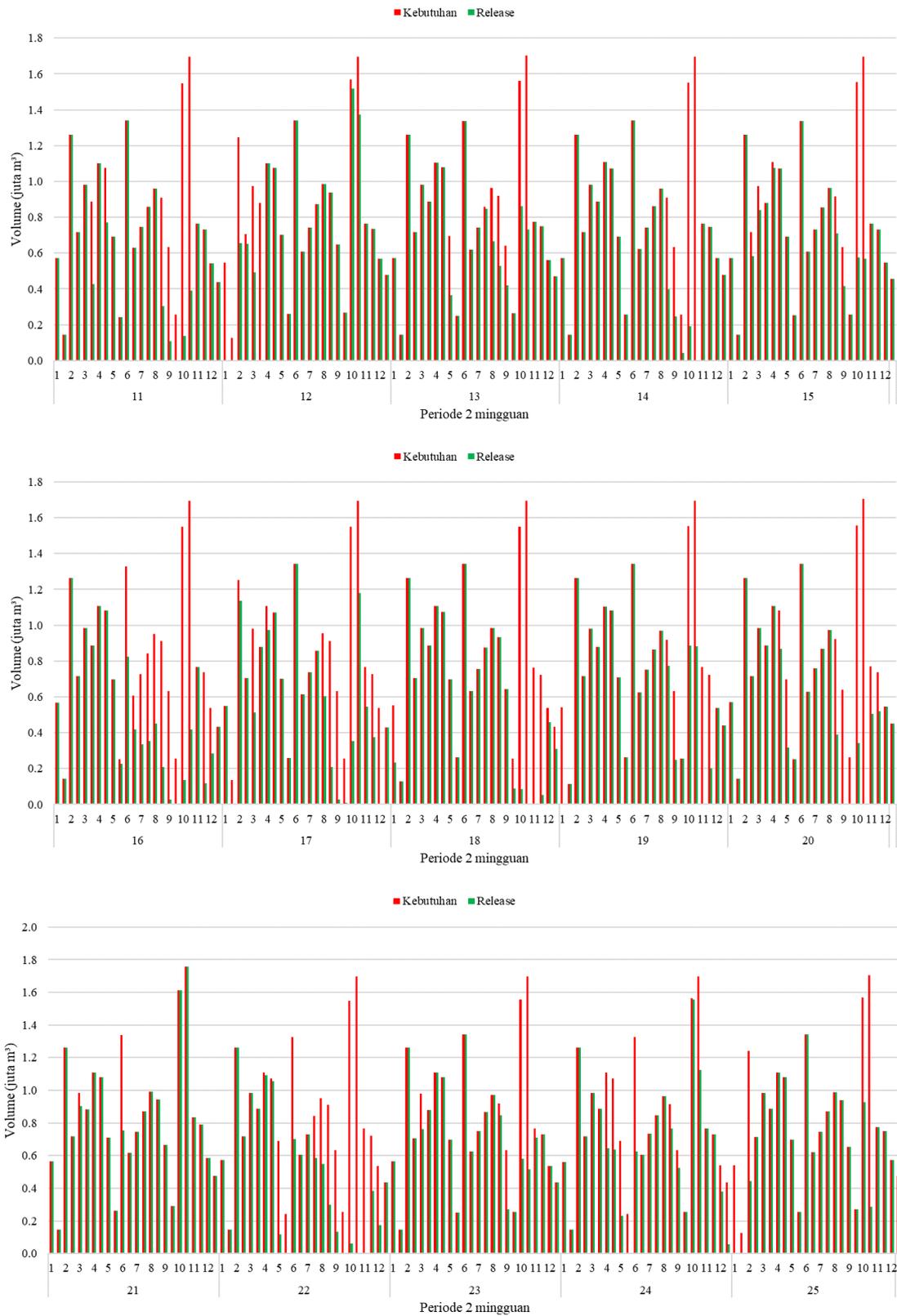
Setelah didapat *Rule Curve* (**Gambar 9**), maka ini sebagai acuan dalam pengoperasian embung. Hal ini diharapkan untuk menjaga tampungan embung, dan dilanjutkan dalam simulasi debit bangkitan. Untuk mengetahui tahun basah, normal dan kering maka dilakukan pembagian data dengan menghitung probabilitas masing-masing tahun

**Simulasi Pengoperasian Embung debit bangkitan dengan *Rule Curve***

*Rule curve* adalah aturan operasi menyatakan nilai tampungan yang ideal dan menyediakan suatu mekanisme bagi aturan lepasan yang dispesifikasikan sebagai suatu fungsi tampungan. *Rule curve* digunakan pada operasi embung dengan tujuan pasokan untuk irigasi dan air baku karena menyatakan batasan tampungan (Soetopo, 2010).



**Gambar 10** Volume Tampungan Embung Suruhan Tahun Bangkitan ke 11 sd 25 dengan *Rule Curve*



**Gambar 11** Kebutuhan dan Release Embung Suruhan Tahun Bangkitan ke 11 sd 25 dengan *Rule Curve*

Setelah melakukan simulasi debit bangkitan dengan metode *Rule Curve* dapat diketahui bahwa, sedapat mungkin diusahakan untuk mengikuti batasan tampungan daripada *Rule Curve* tersebut.

Dengan demikian tampungan waduk dapat saja berada dibawah *Rule Curve* dikarenakan debit inflow yang kurang besar. Dan setelah menggunakan *Rule Curve* tidak terjadinya tampungan embung yang kritis atau kering.

### **Kinerja Embung**

Untuk mengetahui pengaruh debit bangkitan terhadap pengoperasian Embung Suruhan dapat dilihat pada kinerja yang didapat dari simulasi operasi embung. Simulasi dilakukan dengan cara SOP dan *Rule Curve*. Simulasi SOP dilakukan menggunakan debit historis untuk mengetahui gambaran dan karakteristik tampungan embung. Setelah didapat, maka dapat direncanakan *Rule Curve* yang digunakan sebagai acuan pengoperasian embung suruhan pada masa yang akan datang (pada saat operasi). Untuk mengetahui kinerja embung pada saat operasi diperlukannya pembangkitan data debit seperti yaang dilakukan pada bab sebelumnya. Kinerja Embung dapat dilihat di Tabel 4.

**Tabel 4** Kinerja Embung Suruhan dengan metode SOP dan *Rule Curve*

Kinerja Embung	Debit Historis Dengan SOP	Debit Bangkitan Dengan <i>Rule Curve</i>
Keandalan	77,66%	80,42%
Kerawanan	25,90%	21,58%
Kelentingan	15,63%	32,35%

Dari tabel diatas diketahui bahwa kinerja embung pada saat operasi lebih baik dibandingkan dengan kinerja embung kondisi eksisting. Dapat dilihat keandalan embung menjadi lebih baik dari 77,66% menjadi 80,42%. Kerawanan embung turun dari 25,90% menjadi 21,58%. Dan kelentingan embung meningkat dari 15,63% menjadi 32,35%. Dapat disimpulkan bahwa *Rule Curve* yang direncanakan dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja embung pada saat operasi.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan analisis dan hasil pembahasan seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembangkitan data dengan Model Thomas Fierring dapat dilakukan dengan data debit historik dengan rentang waktu yang sama atau lebih lama dari rentang data eksisting. Dalam Tugas Akhir ini data debit tahun 2003-2012 dapat membangkitkan data 25 tahun kedepan.
2. Dari hasil perbandingan data debit historik dan data debit bangkitan dengan melihat perbandingan rata-rata, standar deviasi, varian, dan korelasi, disimpulkan bahwa data hasil bangkitan mempunyai karakteristik yang sama dengan data historik.
3. Dengan mensimulasikan data debit bangkitan dengan menggunakan metode *Rule Curve* yang didapat dari karakteristik tampungan historik, dapat disimpulkan bahwa kinerja Embung Suruhan mengalami peningkatan pada tahun yang mendatang, dan dapat disimpulkan bahwa *Rule Curve* cukup baik dalam mengoptimalkan operasi dan tampungan Embung Suruhan.
4. Dengan menggunakan *Rule Curve* didapat kinerja yang lebih baik dari metode SOP dan frekuensi terjadinya tampungan kritis lebih kecil dibanding dengan menggunakan metode SOP.

### **SARAN**

Berkaitan dengan kesimpulan tersebut, disarankan hal-hal sebagai berikut untuk dipertimbangkan :

1. Dalam membangkitkan data menggunakan model Thomas-Fiering, angka acak yang digunakan sangat mempengaruhi hasil bangkitannya.
2. Simulasi menggunakan *Rule Curve* yang direncanakan dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja Embung Suruhan.
3. *Rule Curve* dapat digunakan pedoman pengoperasian embung untuk masa yang akan datang dan mengurangi resiko terjadinya tampungan kritis

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Budiman, A. dan Natarbora O., B. (2007). *Kinerja Pengoperasian Waduk Sempor Jawa Tengah dan Perbaikan Jaringan Irigasinya*. Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2008). *Studi dan Basic Desain Rencana Pengelolaan SDA Sub DAS Lusi*. PT. Tera Buana Manunggal Jaya. Semarang.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2013). *Laporan Akhir, Studi Pengembangan dan Pengelolaan SDA di Sub DAS Lusi*. PT. Gracia Widyakarsa. Semarang.
- Gunawan, S. (2006). *Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik*. Tesis, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Pratiwi, B. S. (2017). *Kajian Peramalan Ketersediaan Air Daerah Irigasi Layanan Embung Suruhan*. Tesis, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Soetopo, W. (2010). *Operasi Waduk Tunggal*. Asrori, Malang.
- Soetopo, W., dkk. (2015). "Model-model Pembangkitan Data Sintetis untuk Curah Hujan Harian di Wilayah Brantas Tengah". *Teknik Pengairan*, Vol. VI, No. 1, 88-94.