

PERAMALAN (*FORECASTING*) SEDIMENTASI WADUK LAHOR MENGUNAKAN ANALISA REGRESI DAN DEBIT BANGKITAN MODEL STOKASTIK

FORECASTING LAHORD DAM SEDIMENTATION USING REGRESSION ANALYSIS AND INFLOW DISCHARGE GENERATION BY STOCHASTIC MODEL

Ernawan Setyono¹, Sulianto², Arif Prasetyo³

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang

Alamat : Jl. Raya Tlogomas, No. 246 Malang

Email : ernawan_s@umm.ac.id

Abstract

Lahor Dam located at Karangates village, Sumberpucung subdistrict, Malang, East Java Province. Lahor Dam operated since 1977 with age of plan for 50 years so it is expected to operate until 2027, the main problem encountered in reservoir Dam menegement is how to keep the reservoir to persist according the age of plan because the sediments settle in bottom of reservoir and over time will dimish the evecrive capacity storage of reservoir, and in 2015 the storage Recervoirs Lahor Dam leaves 2.517.357,31 m³ dead capacity storage. From the result of the study found an association between sedimen discharge (Qs) with discharge water inflow (Qw) using power regresion models with the function $Q_s = 1,623.Q_w^{0,72}$. The model testing shows that the stocastic model of Thomas-Fiering more representative for generation synthetic data than Markov Chain Model because have smaller deviation value with RMSE value 4,19 m³/sec and MAE with value 2,92 m³/sec. From the results of synthetic data generation throughout the life of plan and the regression equation obtainet sedimen volume in 2015 – 2027 with trap efficiency value 88% is 1.822.200,05 m³, so in 2027 predicted dead capacity Dam storage leave capaity only 695.159,26 m³ and it concluded Reservoirs Lahor Dam can operated up to the age of the plan.

Keywords: *Lahor Reservoirs Dam; Sedimentation; Stochastic; Markov Chain; Thomas-Fiering*

Abstrak

Waduk Lahor terletak pada desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Waduk Lahor mulai beroperasi sejak tahun 1977 dengan usia rencana selama 50 tahun sehingga diharapkan dapat beroperasi hingga tahun 2027, masalah utama yang dihadapi dalam pengelolaan waduk adalah bagaimana menjaga agar umur layanan waduk dapat sesuai dengan yang direncanakan dikarenakan adanya sedimen yang mengendap pada dasar waduk dan seiring waktu akan semakin mengurangi tampungan efektif waduk., dan pada tahun 2015 tampungan mati Waduk Lahor menyisakan kapasitas 2.517.357,31 m³. Dari hasil studi didapatkan adanya keterkaitan antara debit sedimen (Qs) dengan debit inflow waduk (Qw) menggunakan model Regresi Berpangkat dengan fungsi $Q_s = 1,623.Q_w^{0,72}$, pada pengujian model didapatkan bahwa model stokastik Thomas-Fiering lebih representatif untuk pembangkitan data sintetik daripada model Rantai Markov dikarenakan memiliki simpangan lebih kecil dengan nilai RMSE 4,19 m³/detik dan nilai MAE 2,92 m³/detik. Dari hasil bangkitan data sintetik sepanjang usia rencana dan persamaan regresi berpangkat didapatkan volume sedimen tahun 2015 – 2027 dengan nilai trap efisiensi 88% sejumlah 1.822.200,05 m³, sehingga pada tahun 2027 diprediksi tampungan mati hanya menyisakan kapasitas 695.159,26 m³ dan dapat disimpulkan bahwa Waduk Lahor dapat beroperasi hingga usia rencana

Kata Kunci : Waduk Lahor; Sedimentasi; Stokastik; Rantai Markov; Thomas-Fiering

PENDAHULUAN

Kapasitas efektif suatu waduk semakin tahun akan semakin berkurang, seiring dengan penambahan jumlah sedimen yang

masuk ke dalam waduk, laju sedimen yang masuk ke dalam waduk tentunya memiliki keterkaitan dengan debit inflow yang masuk,

hal tersebut yang menjadi dasar utama

Peramalan (*forecasting*) aliran inflow yang akan masuk ke dalam waduk menjadi penting dikarenakan hal tersebut dapat memprediksi laju dan jumlah sedimen yang diperkirakan masuk ke dalam suatu waduk, sehingga umur suatu waduk dapat diramalkan secara ilmiah.

Model stokatik merupakan suatu model statistik yang kerap digunakan dalam pembangkitan data guna keperluan pada bidang rekayasa, ekonomi dan lain – lain, dalam studi ini model stokastik yang digunakan yakni model Rantai Markov dan Model Thomas-Fiering, adapun bentuk persamaan model Markov adalah :

$$(y_{t-\mu}) = \beta_1(y_{t-1-\mu}) + \beta_2(y_{t-2-\mu}) + \dots + \beta_k(y_{t-k-\mu}) + \epsilon_t$$

Dimana:

μ = rata – rata dari populasi, yang diperlukan sama dengan rata – rata per sampel.

β = parameter yang didapat dari koefisien korelasi antara satu variabel dan variabel sebelumnya

ϵ_t = bilangan acak dengan rata – rata nol dan deviasi standart tertentu

Sedangkan model Thomas-Fiering memiliki persamaan :

$$q_{i+1,j} = \bar{q}_j + b_j(q_{i,j-1} - \bar{q}_{j-1}) + t_i.Sd_j(1 - r_j)^{1/2}$$

Dimana :

$q_{i+1,j}$ = aliran hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i+1)

$q_{i,j-1}$ = aliran pada tahun ke i, pada bulan sebelumnya (j-1)

r_j = korelasi antara aliran bulanan sebelumnya (j-1) dan bulan j b_j = koefisien regresi antara aliran bulan j dan j-1

Untuk mengetahui debit sedimen yang akan masuk ke dalam waduk, maka diperlukan sebuah persamaan regresi, adapun model regresi yang digunakan yakni model regresi berpangkat (*Power Resresion*) yang memiliki persamaan $Y = b X^a$.

Adapun tujuan dari studi ini adalah :

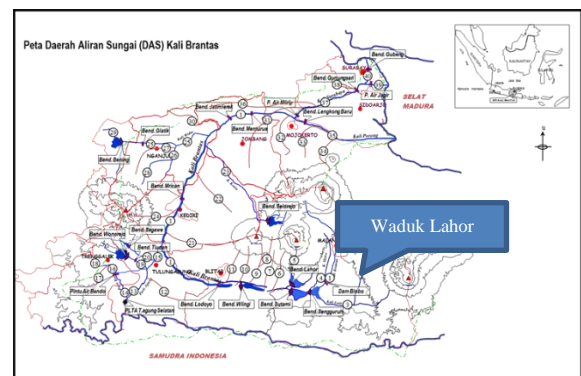
- Mengetahui model stokatik yang representatif antara model Rantai Markov dan Thomas-Fiering untuk pembangkitan data sintetik.

dalam studi ini.

- Mengetahui hubungan debit dan kandungan sedimen yang masuk ke dalam Waduk Lahor.
- Menghitung volume sedimen yang mengendap di Waduk Lahor hingga umur rencana waduk.
- Memprediksi kondisi tampungan mati Waduk Lahor pada akhir umur rencana.

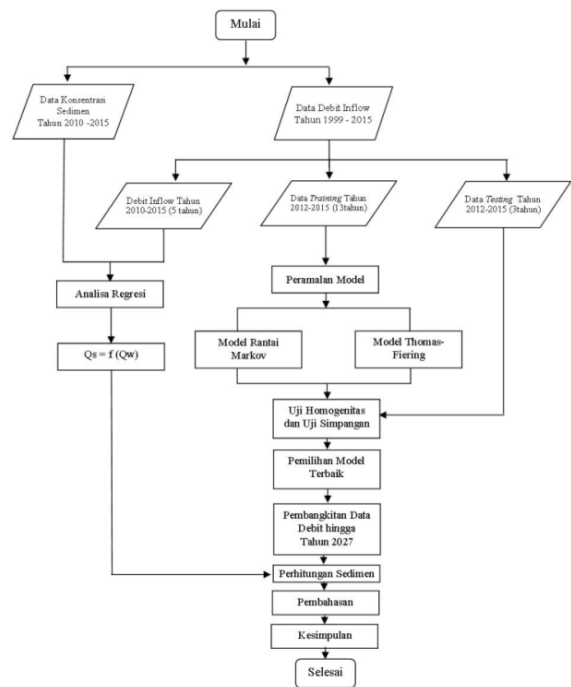
METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada pada Waduk Lahor, yang berlokasi pada desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tahap Kegiatan Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian Data

Tahap kegiatan penelitian secara berurutan adalah pengumpulan data debit inflow waduk lahor tahun 1999 – 2015, data konsentrasi sedimen tahun 2010 – 2015, dan data lengkung kapasitas tahun 2015.

Untuk data debit inflow diklasifikasikan menjadi tiga :

- Data Inflow Tahun 2010 – 2015 untuk mencari persamaan regresi
- Debit Inflow Tahun 1999 – 2012 untuk membentuk model stokastik
- Debit Inflow Tahun 2012 – 2015 untuk uji homogenitas dan uji simpangan.

Analisa Regresi

Mencari debit sedimen dengan persamaan :

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w$$

Dimana :

C = Konsentrasi sedimen (mg/l)

Q_w = Debit inflow (m³/detik)

Tujuan penggunaan regresi adalah mencari keterkaitan antara debit inflow dan debit sedimen, hingga didapatkan persamaan regresi

Perpanjangan Data Testing

Perpanjangan data testing menggunakan model Rantai Markov dan Thomas – Fiering sepanjang 3 tahun.

Uji Homogenitas

Homogenitas data hasil luaran dari bangkitan model dan data historis (data *testing*) harus diuji dengan uji statistik agar dapat diketahui apakah data luaran model dapat dikatakan homogen dengan populasi. Untuk maksud ini maka digunakan uji t-Student yang menguji kestabilan rerata data dan *Fisher Test* yang menguji kehomogenan nilai variansi data.

Uji Kinerja Model

Untuk mencari nilai simpangan terkecil dari kedua model stokastik diatas digunakan parameter *root mean square error* (RMSE) direpresentasikan sebagai rata – rata kuadrat simpangan antara data luaran model dan data historis (data *testing*) dan *Mean Absolute Error* (MAE) direpresentasikan sebagai selisih rata – rata absolut dari data luaran model stokastik dan data *training*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Regresi Berpangkat

Dalam studi ini penulis menggunakan model regresi berpangkat (*power regression*) guna mencari keterkaitan antara debit inflow (Q_w) dan debit sedimen (Q_s), persamaan regresi yang didapatkan nantinya digunakan untuk menaksir debit sedimen dari hasil bangkitan data sintetik model stokastik.

Berikut contoh perhitungan untuk periode pertama tahun 2010 – 2011 :

Diketahui :

$$Q_w = 10,77 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C = 6,55 \text{ mg/l}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} Q_s &= 0,0864 \times C \times Q_w \\ &= 0,0864 \times 6,50 \times 10,77 \\ &= 6,047 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Hasil lebih lanjut disajikan dalam bentuk tabel :

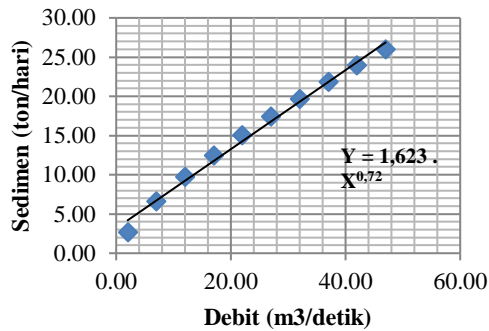
Tabel 1. Debit inflow waduk dan konsentrasi sedimen

No	Tahun	Periode 3 Bulan	C mg/l	Q _w m ³ /det.	Q _s ton/hari
1		1	6,50	10,77	6,047
2	2010-	2	6,77	14,76	8,629
3	2011	3	8,57	10,93	8,090
4		4	6,83	5,02	2,966
5		1	6,83	3,42	2,019
6	2011-	2	7,20	6,43	4,002
7	2012	3	8,93	8,93	6,895
8		4	6,53	6,53	3,688
9		1	79,30	3,27	22,382
10	2012-	2	22,57	18,48	36,032
11	2013	3	6,63	11,63	6,667
12		4	5,30	47,62	21,806
13		1	15,75	3,95	5,375
14	2013-	2	33,53	8,96	25,950
15	2014	3	13,03	6,11	6,884
16		4	6,73	5,11	2,971
17		1	12,77	2,89	3,188
18	2014-	2	12,63	6,54	7,142
19	2015	3	11,40	14,70	14,479
20		4	8,45	6,13	4,472

Sumber : Hasil perhitungan

Dari hasil perhitungan didapatkan persamaan regresi $Q_s = 1,623 \cdot Q_w^{0,72}$, dengan koefisien korelasi (R) 0,61

(hubungan langsung positif baik), dan kesalahan standar SEY = ± 1,89 ton/hari.



Gambar 3. Grafik Hubungan Debit dan Sedimen

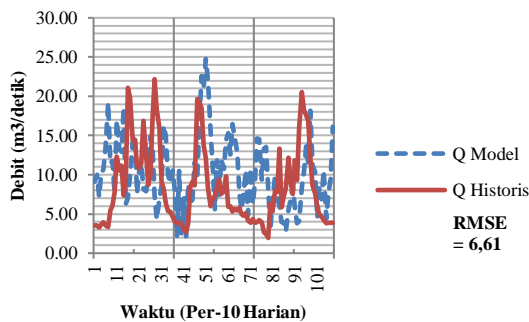
Perpanjangan data Debit *Testing* Rantai Markov

Pembangkitan data sepanjang 3 tahun dihitung dari 2012-2015 bertujuan untuk menguji data luaran model dengan data historis (data testing) dari segi homogenitas dan simpangan. Pada model Rantai Markov, nantinya akan membentuk 3 model yakni Lag-1, 2 dan 3 yang memiliki koefisien korelasi yang berbeda – beda nilai.

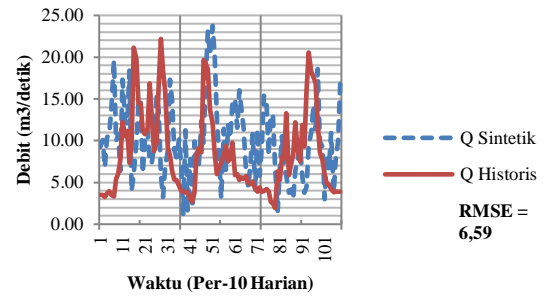
Adapun hasil dari hasil analisa perhitungan model Markov didapatkan :

- Koef. Korelasi Markov Lag-1 (r1) = 0,62
- Koef. Korelasi Markov Lag-2 (r2) = 0,57
- Koef. Korelasi Markov Lag-3 (r3) = 0,46

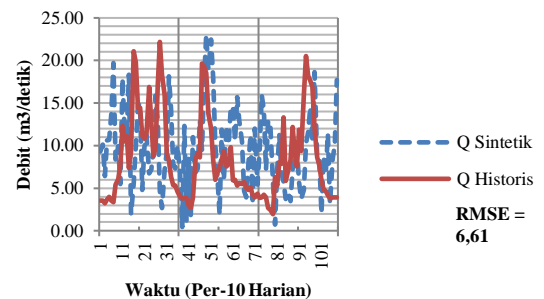
Dalam pembangkitan model Markov, yang menjadi parameter kesesuaian bentukan data sintetik yakni, koefisien korelasi model (r), standar deviasi (S), dan angka acak berdistribusi normal (ti). Adapun hasil bangkitan model adalah sebagai berikut



Gambar 4. Hasil bangkitan Model Markov Lag-1



Gambar 5. Hasil Bangkitan Model Markov Lag-2

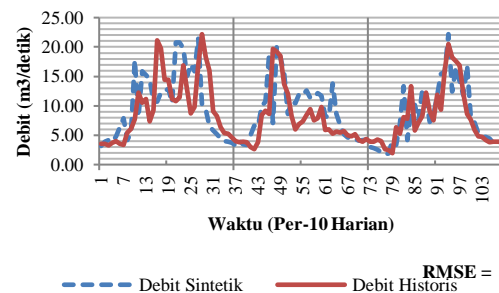


Gambar 6. Hasil Bangkitan Model Markov Lag-3

Perpanjangan data Debit *Testing* Thomas-Fiering

Untuk mencari model yang lebih representatif guna perbandingan maka penulis menggunakan model Thomas-Fiering dan memperpanjang data sepanjang bangkitan data testing yakni tahun 2012-2015. Model Thomas-Fiering memiliki parameter pembentukan data sintetik yang berbeda dengan Model Markov, adapun parameter kesesuaiannya berupa deviasi standar setiap periodenya (S), koefisien korelasi setiap periode (rj), koefisien regresi setiap periodenya (bj) dan angka acak berdistribusi normal.

Adapun hasil bangkitan data sintetik model Thomas-Fiering adalah sebagai berikut :



Gambar 7. Hasil Bangkitan Model Thomas-Fiering

Uji Homogeitas

Uji homogenitas bertujuan menguji luaran model stokatik dan data historis (data testing), sehingga dapat diketahui apakah data luaran model dapat dikatan berasal dari

populasi yang sama dengan data historis, dalam studi ini digunakan dua pengujian yakni uji t-student dan uji F (*Fisher Test*). Berikut hasil dari uji homogenitas :

Tabel 2. Hasil Uji T-Student Model Markov

No	Parameter	Q Historis	Rantai Markov			Q Thomas-Fiering	Keterangan
			Q Lag-1	Q Lag-2	Q Lag-3		
1	Jumlah Data	108	108	108	108	108	
2	Rerata	8,45	10,23	9,91	9,68	9,12	
3	Standar Dev	5,04	4,61	4,76	4,86	5,27	
4	DK	106	106	106	106	106	H ₀ : μ ₁ = μ ₂ diterima jika: -t _{cr} < t < t _{cr}
5	Alfa		4,85	4,92	4,98	5,18	
6	t		2,69	2,17	1,82	0,94	
7	Derajat Kep.		1%	1%	1%	5%	
8	Tcr		2,326	2,326	2,326	1,645	
9	Uji T		Ditolak	Diterima	Diterima	Diterima	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 3. hasil Uji F Model Markov

No	Parameter	Q Historis	Rantai Markov			Q Thomas-Fiering	Keterangan
			Q Lag-1	Q Lag-2	Q Lag-3		
1	Jumlah Data	108	108	108	108	108	
2	Rerata	8,45	10,23	9,91	9,68	9,12	
3	Standar Dev	5,04	4,61	4,76	4,86	5,27	
4	DK	106	106	106	106	106	H ₀ : μ ₁ = μ ₂ diterima jika: f < f _{cr}
5	F		0,84	0,89	0,93	0,96	
6	Derajat kep		5%	5%	5%	5%	
7	Fcr		1,35	1,35	1,35	1,35	
8	Uji F		Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	

Sumber : Hasil Perhitungan

Uji Kinerja Model

Pengujian kinerja model bertujuan untuk menguji dan mencari simpangan terkecil antara data luaran model stokastik dan data historis (data testing) dalam studi ini

digunakan dua pengujian yakni MAE (*Mean Absolute Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*). Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil RMSE dan MAE

Parameter		Prediksi			
		Rantai Markov			Thomas Fiering
		Lag1	Lag2	Lag3	
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>	5,41	5,34	5,34	2,93
RMSE	<i>Root Mean Absolute Error</i>	6,61	6,59	6,61	4,19
	Rerata	5,51	5,96	5,97	3,56

Sumber : Hasil Perhitungan

Pemilihan Model Terbaik

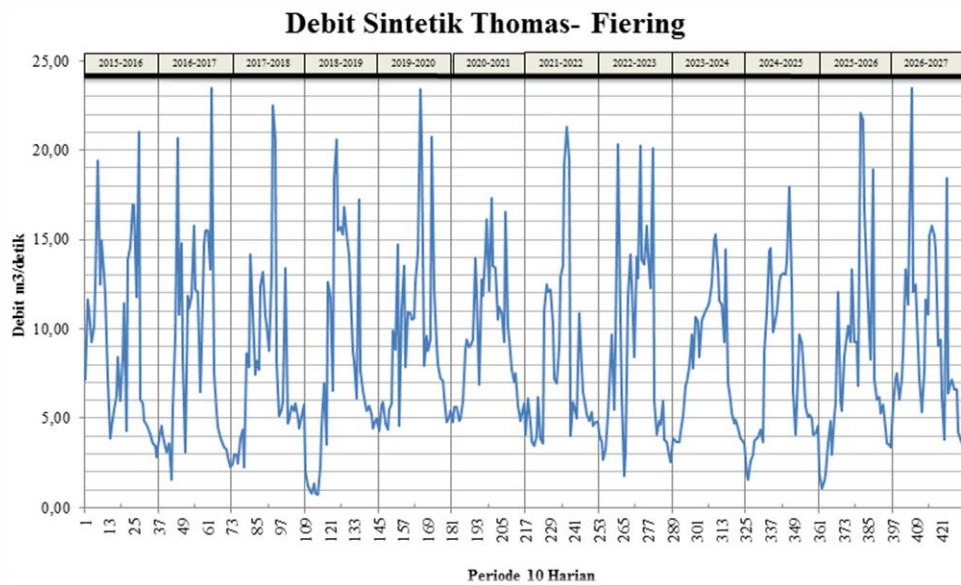
Dikarenakan model Markov lag-1 tidak lolos uji t-student maka model tersebut tidak dapat digunakan untuk pembangkitan data, kemudian untuk model Markov lag -2, 3 dan model Thomas-Fiering berhasil lolos uji homogenitas, maka model tersebut dapat digunakan.

Dari hasil pengujian kinerja model dapat diketahui bahwa Model Thomas-Fiering memiliki simpangan lebih kecil daripada model Markov Lag-2 dan 3, dengan nilai MAE 2,93 m³/detik dan RMSE 4,19

m³/detik. Maka untuk selanjutnya perpanjangan data sintetik menggunakan model Thomas-Fiering.

Pembangkitan Debit Inflow Hingga Tahun 2027

Untuk mencari debit sedimen yang ada maka model debit historis perlu diperpanjang hingga umur rencana yaitu tahun 2027, adapun hasil pembangkitan data sintetik menggunakan model Thomas-Fiering adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Hasil Data Bangkitan Thomas Fiering Tahun 2015 - 2025

Volume Sedimen Melayang

Volume sedimen melayang dihitung menggunakan persamaan regresi dan debit sintetik hasil bangkitan data. Adapun Contoh perhitungan untuk periode pertama bulan september 2015-2016 :

Diketahui :

Debit inflow peramalan : 7,19 m³/detik

Rumus regresi : $Y = 1,623 X^{0,72}$

Rapat massa sedimen : 1,35 t/m³

Sehingga :

$Y = 1,623 (7,29)^{0,72} = 6,72 \text{ ton/hari}$

$6,72 \text{ ton/hari} \times 10 \text{ hari} = 67,20 \text{ ton}$

$\text{Volume Sedimen} = \frac{67,2 \text{ ton}}{1,35 \text{ ton/m}^3} = 49,78 \text{ m}^3$

Hasil lebih lanjut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Volume Sedimen Layang Setiap Tahun

No	Tahun	t	volume air (juta m3)	Volume Sedimen	
				ton	m ³
1	1999-2000	23	237,76	2.458,37	1.821,01
2	2000-2001	24	282,05	2.775,62	2.056,02
3	2001-2002	25	339,27	3.102,96	2.298,49
4	2002-2003	26	184,41	2.042,50	1.512,96
5	2003-2004	27	237,98	2.444,01	1.810,38
6	2004-2005	28	250,11	2.518,56	1.865,60

Tabel 5. Volume Sedimen Layang Setiap Tahun

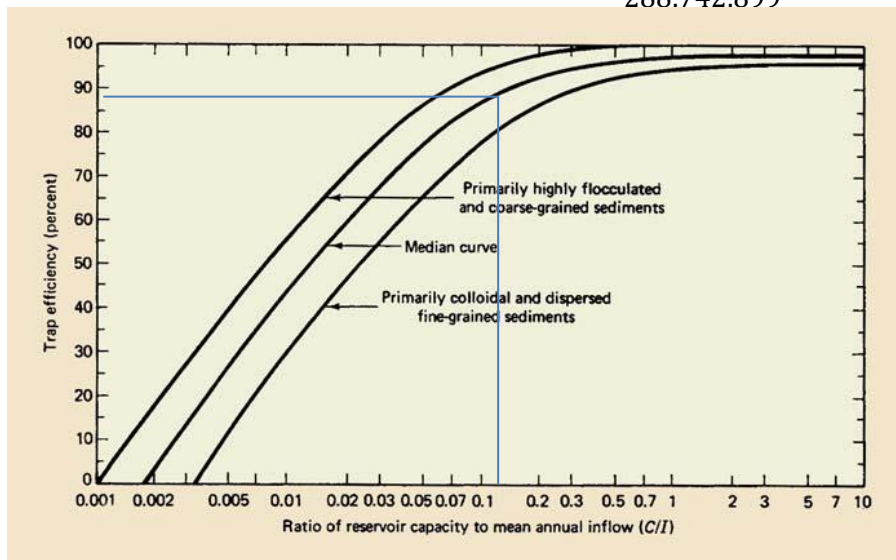
No	Tahun	t	volume air (juta m ³)	Volume Sedimen	
				ton	m ³
7	2005-2006	29	248,90	2.527,95	1.872,56
8	2006-2007	30	176,92	1.988,19	1.472,73
9	2007-2008	31	271,92	2.618,87	1.939,90
10	2008-2009	32	200,78	2.177,99	1.613,33
11	2009-2010	33	325,76	2.994,04	2.217,81
12	2010-2011	34	303,68	2.950,63	2.185,66
Sub total 1999-2011					22.666,44
13	2011-2012	35	238,71	2.451,30	1.815,77
14	2012-2013	36	309,52	2.963,86	2.195,45
15	2013-2014	37	230,92	2.405,18	1.781,61
16	2014-2015	38	248,78	2.520,50	1.867,03
Total 1999-2015				40.940,52	30.326,31

Sumber : Hasil Perhitungan

Trap Efisiensi Waduk

Trap efisiensi waduk atau kemampuan suatu waduk untuk menangkap sedimen, dicari menggunakan grafik *Brune*, adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Tampungannya (C)} &= 36.100.100 \text{ m}^3 \\
 \text{Debit inflow september 2015- agustus 2016} &= 288.742.899 \text{ m}^3 \\
 \text{Sehingga} &: \\
 C/I &= \frac{36.100.100}{288.742.899} = 0,12
 \end{aligned}$$



Gambar 9. Grafik Trap Efisiensi Brune

Presentase Volume Sedimen

Untuk mengetahui sedimen yang mengendap pada Waduk Lahor, tolak ukur yang dapat digunakan adalah selisih tampungan efektif antara awal pengoprasian hingga tahun 2011. Adapun perhitungannya yaitu :

Sedimen yang mengendap hingga tahun 2011 :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas tampungan efektif 1977} &- \text{kapasitas} \\
 \text{tampungan efektif 2011} &= 29.241.000 \text{ m}^3 - 24.411.000 \text{ m}^3 = 4.830.000 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kemudian adapun volume sedimen layang hingga tahun 2011 sejumlah 55.201,26 m³ yang mana telah didapatkan

dari perhitungan sebelumnya, sehingga terdapat selisih :
 $4.830.000,00\text{m}^3 - 55.201,26\text{m}^3 = 4.774.798,74\text{m}^3$

Sehingga kita dapat membuat perbandingan :

$$\frac{4.830.000,00\text{ m}^3}{55.201,26\text{ m}^3} = \frac{100\%}{x\%}$$

$$4.830.000,00x = 5.520.126$$

$$x = \frac{5.520.126}{4.830.000}$$

Tabel 6. Presentase Volume Sedimen 2011

Parameter	Volume	Presentase
Selisih kapasitas efektif dan kap. kotor waduk tahun 2011	4.830.000,00 m ³	100 %
<i>Suspended Load</i>	55.201,26 m ³	1,14 %
Sampah dll	4.774.798,74 m ³	98,86 %

Sumber : Hasil Perhitungan

Data Lengkung Kapasitas Waduk

Dengan Rumus :
 $312.003.479.556,838 + -6.116.444.359,94761$
 $EI + 47.797.099.6286342EI^2 + 186.027,103352$
 Sehingga didapatkan kapasitas waduk pada setiap elevasi sebagai berikut :

$$012 EI^3 + 360,384643039175 EI^4 + -0,2777+7635508 EI^5$$

Tabel 7. Kapasitas Waduk Setiap Elevasi Tahun 2015

Elevasi	Kapasitas Waduk		Elevasi	Kapasitas Waduk	
	m ³	juta m ³		m ³	juta m ³
234	146.260,05	0,146	254	4.993.061,71	4,993
235	258.852,61	0,259	255	5.507.015,63	5,507
236	389.940,10	0,390	256	6.076.515,02	6,077
237	535.846,16	0,536	257	6.707.189,79	6,707
238	693.676,42	0,694	258	7.404.785,12	7,405
239	861.285,21	0,861	259	8.175.128,16	8,175
240	1.037.242,14	1,037	260	9.024.094,67	9,024
241	1.220.798,88	1,221	261	9.957.575,69	9,958
242	1.411.855,69	1,412	262	10.981.444,21	10,981
243	1.610.928,22	1,611	263	12.101.521,82	12,102
244	1.819.114,06	1,819	264	13.323.545,38	13,324
245	2.038.059,48	2,038	265	14.653.133,72	14,653
246	2.269.926,04	2,270	266	16.095.754,23	16,096
247	2.517.357,31	2,517	267	17.656.689,60	17,657
248	2.783.445,49	2,783	268	19.341.004,43	19,341
249	3.071.698,09	3,072	269	21.153.511,93	21,154
250	3.386.004,60	3,386	270	23.098.740,55	23,099
251	3.730.603,14	3,731	271	25.180.900,68	25,181
252	4.110.047,14	4,110	272	27.403.851,30	27,404
253	4.529.171,99	4,529	272,7	29.045.563,96	29,046

Sumber : Data dan Hasil Perhitungan

Volume Sedimen Hingga Tahun 2027

Dengan cara yang sama seperti sub bab 4.11 dan presentase sedimen yang didapat dari sub-bab 4.13. maka didapatkan

volume sedimen tahun 2015 – 2027. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Volume Sedimen Tahun 2015 – 2027

No	Tahun	t	Vol. <i>Suspended Load</i>	Vol. Sampah, dll.	Total
			m ³	m ³	m ³
1	2015-1016	39	1.842,79	159.805,11	161.647,89
2	1016-2017	40	1.705,35	147.886,83	149.592,18
3	2017-2018	41	1.625,63	140.973,10	142.598,72
4	2018-2019	42	1.617,01	140.225,71	141.842,72
5	2019-2020	43	1.886,61	163.605,55	165.492,16
6	2020-2021	44	1.906,37	165.319,26	167.225,63
7	2021-2022	45	1.652,16	143.274,55	144.926,72
8	2022-2023	46	1.741,27	151.001,81	152.743,08
9	2023-2024	47	1.693,22	146.834,42	148.527,64
10	2024-2025	48	1.619,34	140.427,82	142.047,16
11	2025-2026	49	1.614,31	139.991,52	141.605,83
12	2026-2027	50	1.869,03	162.081,29	163.950,33
Jumlah			20.733,08	1.801.426,97	1.822.200,05

Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan data lengkung kapasitas tahun 2015 dapat diketahui bahwa kapasitas tampungan mati (pada El. +247) masih menyisakan volume sebesar 2.517.357,31 m³. Prediksi tampungan mati

didapatkan dari pengurangan kapasitas tampungan mati tahun 2015 dengan penambahan jumlah sedimen setiap tahunnya. Adapun hasil perhitungan disajikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 9. Kapasitas Tampungan Mati

t	Tahun	Volume Sedimen	Kapasitas Tampungan Mati
		m ³	m ³
39	2015-2016	161.647,89	2.355.709,42
40	1016-2017	149.592,18	2.206.117,24
41	2017-2018	142.598,72	2.063.518,51
42	2018-2019	141.842,72	1.921.675,80
43	2019-2020	165.492,16	1.756.183,64
44	2020-2021	167.225,63	1.588.958,01
45	2021-2022	144.926,72	1.444.031,29
46	2022-2023	152.743,08	1.291.288,21
47	2023-2024	148.527,64	1.142.760,57
48	2024-2025	142.047,16	1.000.713,41
49	2025-2026	141.605,83	859.107,58
50	2026-2027	163.950,33	695.157,26

Sumber : Hasil Perhitungan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Model Thomas-Fiering lebih representatif untuk pembangkitan data sintetik bila dibandingkan dengan model Rantai Markov karena memiliki

simpangan lebih kecil bila ditinjau dari RMSE dan MAE, di mana model Thomas-Fiering memiliki nilai RMSE 4,19 m³/detik dan MAE 3,59 m³/detik sedangkan model Rantai Markov Lag-2 memiliki nilai RMSE 5,34 m³/detik dan nilai MAE 6,59 m³/detik.

- Debit sedimen melayang Waduk Lahor (Qs) memiliki keterkaitan dengan debit inflow (Qw) dengan nilai koefisien korelasi 0,61, dari hubungan dua variabel tersebut didapatkan persamaan regresi $Q_s = 1,623 Q_w^{0,72}$.
 - Waduk Lahor memiliki nilai *trap efficiency* sebesar 88%, sehingga didapatkan volume sedimen melayang tahun 2015 – 2027 sejumlah 20.733,08 m³ dan keseluruhan sedimen yang mengendap pada waduk sejumlah 1.822.200,05 m³.
 - Mengacu pada data pengukuran lengkung kapasitas tahun 2015, batas tampungan mati (pada El. + 247,00) masih menyisakan volume sebesar 2.517.357,31 m³, kapasitas tampungan mati seiring tahun akan semakin berkurang, sehingga tahun 2027 diprediksi bahwa volume tampungan mati hanya akan tersisa sebesar 695.159,26 m³, sehingga dapat disimpulkan Waduk Lahor dapat beroperasi hingga usia rencana waduk.
- Secara teknis :
 - Pembuatan *check dam* di hulu waduk
 - Pengerukan Waduk
 - Secara Non-Teknis :
 - Melakukan konservasi di daerah pengaliran sungai (DPS).
 - Menggencarkan penyuluhan terkait larangan pembuangan sampah ke sungai.

DAFTAR PUSTAKA

Saran

- a. Peramalan pada penelitian ini hanya terfokus pada sedimen melayang (*Suspended Sedimen*) sehingga dibutuhkan analisa lebih dalam untuk meramalkan sedimentasi waduk secara komprehensif.
- b. Tidak semua sedimen yang mengendap didalam waduk akan mengisi tampungan mati, karena sedimen yang mengendap memiliki kemungkinan akan mengendap pada hulu waduk, mengingat aliran air yang masuk kedalam waduk akan mengalami penyusutan gaya turbulensi dikarekan bertambahnya luasan penampang aliran.
- c. Meskipun diprediksi bahwa Waduk Lahor aman hingga usia rencana, namun alangkah lebih baik bila dilakukukan usaha – usaha guna menekan laju sedimentasi yang masuk ke dalam Waduk Lahor agar waduk dapat beroperasi jauh lebih lama daripada usia yang telah direncanakan, adapun usaha – usaha yang sekiranya dapat dilakukan adalah :

- Asdak, Chay. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press:Yogyakarta.
- Devi Ismijayanti. (2013). *Tugas Akhir : Prediksi Beban Sedimentasi Waduk Selorejo Menggunakan Debit Ekstrapolasi Dengan Rantai Markov*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Dyah Ari W. (2004). *Tesis: Evaluasi Penggunaan Lengkung Laju Debit Sedimen (Sediment-Discharge Rating Curve) untuk Memprediksi Sedimen Melayang*. Skripsi. Universitas Diponegoro:Semarang.
- Gunawan, Setiarso. (2005). *Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik*. Tesis. Universitas Diponegoro:Semarang.
- Harisuseno, Donny. (2015). *Kuliah Matematika Rekayasa : Teknik Peramalan (Model Thomas-Fiering)*, Handout Perkuliahan program S3, Universitas Brawijaya.
- Priyantoro, Dwi. (1987). *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang : Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Universitas Bawijaya.
- Soemarto, C.D. (1986). *Hidrologi Teknik Jilid 2*. Erlangga : Jakarta.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometer)*. Nova: Bandung.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data Jilid 2*. Nova : Bandung.