Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia p–ISSN: 2541-0849
e-ISSN: 2548-1398
Vol. 9, No. 10, Oktober 2024

KAJIAN PANJANG DATA DAN KARAKTERISTIK DEBIT BANGKITAN PADA POLA OPERASI WADUK JRAGUNG

Muhamamad Airlangga Ahmadi[1], Suharyanto[2], Dyah Ari Wulandari[3], Tri Pambudi[4]
Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia[1,2,3,4]
Email: airlangga.ahmadi@gmail.com[1]

Abstrak

Pengelolaan sumber daya air sangat diperlukan untuk menjaga ketersediaan air, salah satu upaya dalam menjaga ketersediaan air adalah dengan membangun Waduk. Waduk Jragung merupakan Waduk multifungsi yang diharapkan dapat memenuhi penyediaan air irigasi, air baku, PLTMH, pengendali banjir, dan pemeliharaan sungai. Peramalan debit *inflow* waduk pada masa mendatang diperlukan untuk megetahui bagaimana pola pola waduk setelah bendungan selesai dibangun. Salah satu kendala dalam meramalkan debit inflow adalah ketersediaan data historis, terkadang data yang tersedia lengkap dan cukup panjang, tetapi terkadang ada juga yang tersedia terbatas atau relatif lebih pendek. Panjang data hidrologi yang mewakili suatu daerah pengaliran berpengaruh dalam proses perencanaan infrastruktur keairan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh panjang data dan karakteristik debit bangkitan dengan metode *Thomas-Fiering* pada Pola Operasi Waduk Jragung. Berdasarkan hasil analisis masing-masing data seri memberikan keandalan yang berbeda-beda. Semakin besar rerata debit maka keandalannya dapat mecapai 100% dan luas layanan irigasi 4.053 ha dapat terpebuhi.

Kata kunci: panjang data, debit, bangkitan, pola operasi waduk, keandalan

Abstract

Water resources management is needed to maintain water availability, one of the efforts in maintaining water availability is by building reservoirs. Jragung Reservoir is a multifunctional reservoir that is expected to fulfill the supply of irrigation water, raw water, PLTMH, flood control, and river maintenance. Forecasting the reservoir inflow discharge in the future is needed to know how the reservoir pattern will be after the dam is completed. One of the problems in forecasting inflow discharge is the availability of historical data, sometimes the available data is complete and long enough, but sometimes there is also limited or relatively shorter available. The length of hydrological data that represents a drainage area is influential in the water infrastructure planning process. The purpose of this study is to determine the effect of data length and characteristics of the Forcasting Inflow with the Thomas-Fiering method on the Jragung Reservoir Operating Pattern. Based on the analysis of each series data provides different reliability. Based on the results of the analysis of each data series provides different reliability. The higher the average discharge, the reliability can reach 100% and the irrigation service area of 4,053 ha can be fulfilled.

Keywords: *data length, discharge, generating, reservoir operation pattern, reliability*

Pendahuluan

Waduk Jragung ini merupakan Waduk yang dibangun oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Manfaat Waduk Jragung adalah untuk penyediaan air irigasi, air baku, Pembangkit Listrik Tenaga *Mini Hidro*, dan pengendali banjir. Waduk Jragung direncanakan akan selesai pada akhir tahun 2024. Dokumen perencanaan

How to cite: Ahmadi, et al. (2024). Kajian Panjang Data dan Karakteristik Debit Bangkitan pada Pola Operasi Waduk Jragung. *Syntax Literate. (9)10.* http://dx.doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i10
E-ISSN: 2548-1398

untuk menghitung pola operasi Waduk Jragung menggunakan data sebelum Tahun 2000 sampai Tahun 2017, sedangkan pelaksanaan operasi Waduk Jragung akan dimulai setelah tahun 2024 sehingga diperlukan pembangkitan data debit historis karena data debit saat perencanaan belum tentu dapat mewakili kondisi hidrologi pada tahun mendatang.

Salah satu kendala dalam meramalkan debit *inflow* adalah ketersediaan data historis, terkadang data yang tersedia lengkap dan cukup panjang. Data dianggap panjang bila panjang sampel data lebih dari 30 buah, dan bila data kurang dari atau sama dengan 30 buah maka dianggap data pendek (Soewarno, 1995). Panjang data historis dapat mempengaruhi proses perencananaan bangunan keairan. Panjang data historis yang cukup dan mewakili suatu daerah pengaliran sungai mempengaruhi proses dan hasil perencanaan bangunan sumber daya air (Soemarto, 1987).

Pembangkitan data yang dilakukan bertujuan untuk memprediksi data sintesis dan runtut waktu yang berpeluang terjadi di masa yang akan datang dengan mengacu pada data di masa kini dan masa lalu (Afifah et al., 2016). Data bangkitan atau sintetis ini adalah data baru yang berasal dari data historis yang lebih pendek untuk memperoleh data yang lebih panjang yang memiliki karakter statistik yang relatif sama dengan data historis sumbernya (Gunawan, 2005; Harto et al., 1989; Jayanti, 2012)

Terdapat beberapa metode untuk melakukan perhitungan debit *inflow* bangkitan dengan menggunakan *generating techniques/forcasting* (pembangkitan) sehingga akan didapatkan *artifically generating time series* (data deret berkala buatan) yang dapat digunakan dalam analisa keandalan waduk. Penelitian ini bermaksud untuk mengetahui pengaruh panjang data dan karakteristik debit bangkitan dengan metode *Thomas-Fiering* pada Pola Operasi Waduk Jragung.

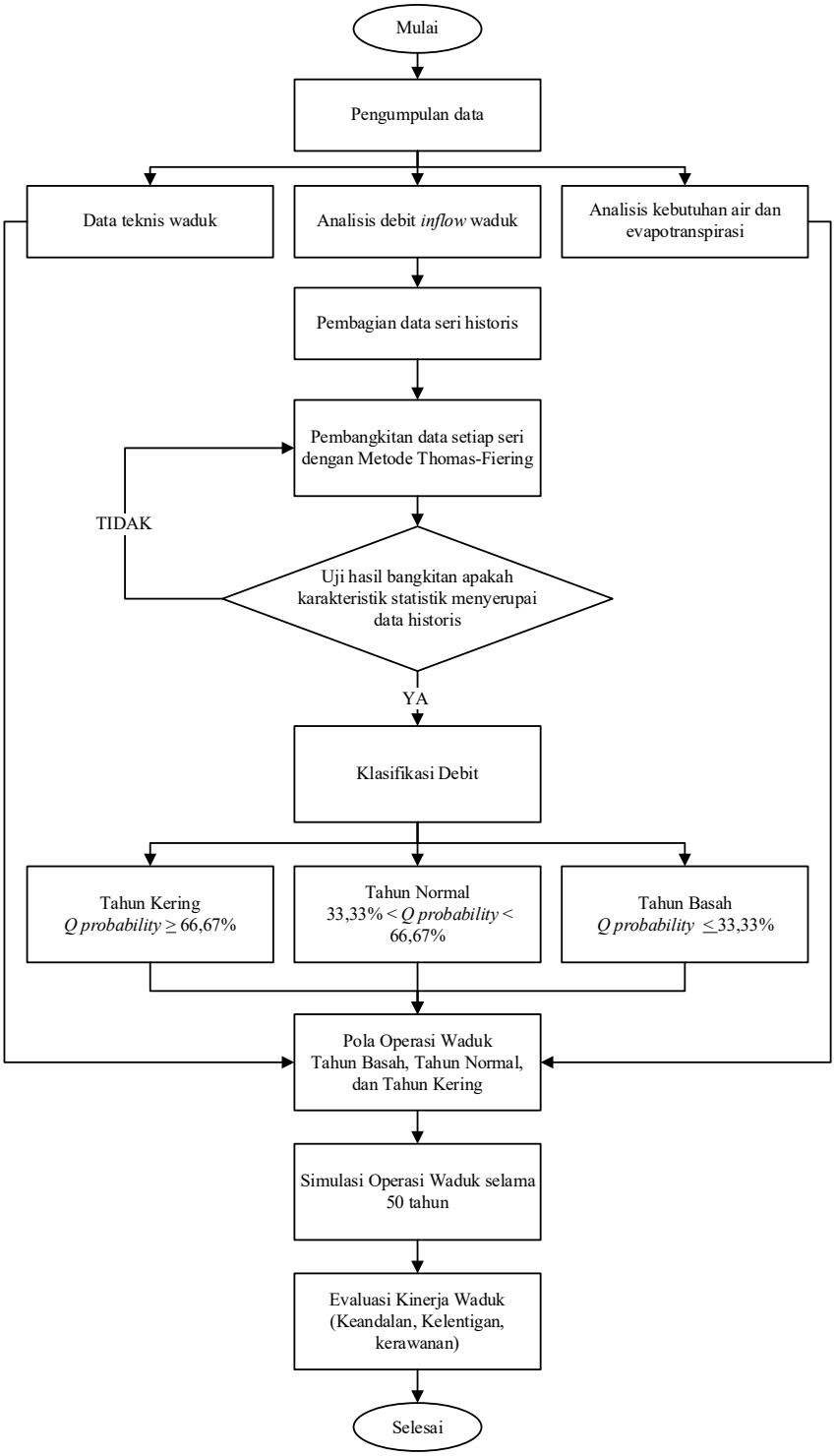
Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

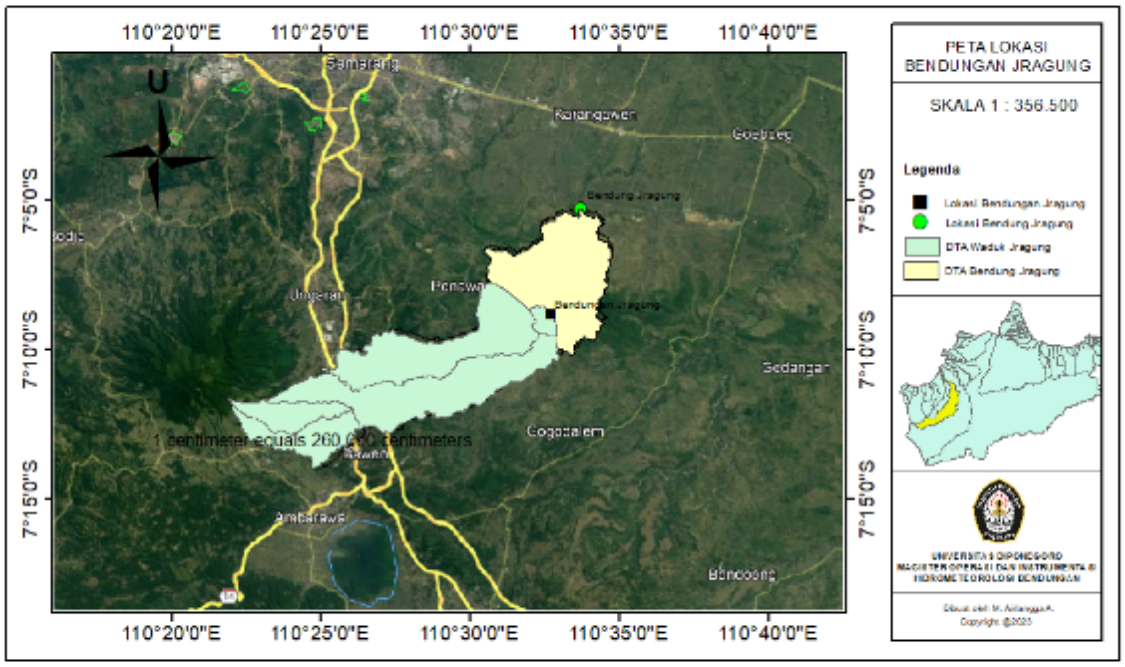
Penelitian dilakukan pada Waduk Jragung dan daerah layanan airnya. Waduk Jragung terletak di Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah pada koordinat 7^o 8’ 49,588” LS dan 110^o 32’ 44,081” BT. Data yang digunakan penelitian ini adalah data sekunder yaitu data debit harian, data klimatologi, peta Waduk Jragung, dan data pemanfaatan air. Lokasi Waduk Jragung dapat dilihat pada Gambar 2.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahapan seperti pada bagan alir Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



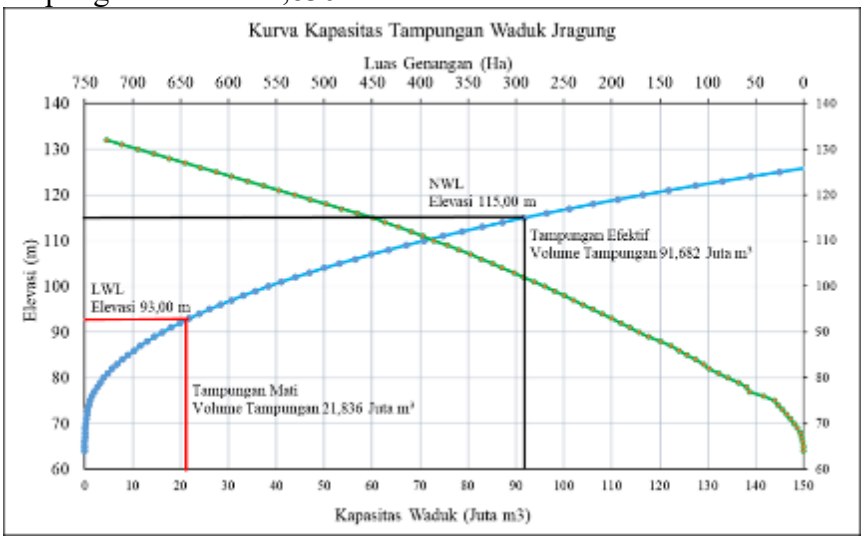
Gambar 2. Lokasi Waduk Jragung

Data Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan mengumpulkan data-data yang akan digunakan, anatara lain :

1. Data Teknis Waduk

   Data teknis waduk yang digunakan pada penelitian ini antara lain kurva lengkung kapastitas waduk, dapat dilihat pada Gambar 2. Waduk Jragung pada muka air normal berada pada elevasi 115,00 m memiliki volume tampungan sebesar 91,682 juta m^3. Tampungan mati (muka air minimum) berada pada elevasi 93,00 m memiliki volume tampungan sebesar 21,836 m^3.



Gambar 3. Lengkung Kapasitas Waduk Jragung

2. Data Debit Pencatatan

   Data debit historis yang digunakan adalah data pencatatan debit Bendung Jragung yang terletak ± 6,96 km di hilir Waduk Jragung. Jumlah data yang digunakan sebanyak 22 tahun (Tahun 2001 s.d. 2022). Perhitungan debit pada waduk

menggunakan perbandingan luas daerah tangkapan air waduk dengan luas daerah tangkapan air bendung. Data historis kemudian dibagi menjadi 7 data seri yaitu seri 7-1 (Tahun 2001 s.d 2007), seri 7-2 (Tahun 2006 s.d. 2012), seri 7-3 (Tahun 2011 s.d. 2017), seri 7-4 (Tahun 2016 s.d 2022), seri 11-1 (Tahun 2001 s.d. 2011), seri 11-2 (Tahun 2012 s.d. 2022), dan seri 22-1 (Tahun 2001 s.d 2022).

3. Data Klimatologi
   Data klimatologi yang digunakan berasal dari stasiun klimatologi yang terletak bersebelahan dengan Bendung Jragung. Data yang digunakan antara lain kelembaban udara, suhu udara, kecepatan angin, kecerahan matahari, dan evaporasi. Jumlah data yang tercatat pada stasiun klimatologi sebanyak 9 tahun (2014 s.d. 2022).
4. Data Pemanfaatan Air
   Pemanfaatan air pada Waduk Jragung yaitu :
   a) Irigasi seluas 4.053 Ha, sesuai dengan Peraturan Bupati Demak tentang Nomor 98 Tahun 2020 tentang Pola Tanam dan Rencana Tata Tanam Musim Hujan Tahun 2020/2021 dan Musim Kemarau Tahun 2021 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Air Daerah Irigasi Jragung

Daerah Irigasi Jragung										
4.053 ha										
Bulan		m^3/s	Ket.	Bulan		m^3/s	Ket.	Bulan		m^3/s	Ket.
Nov	I	0,00	MT I	Mar	I	1,38	MT II	Jul	I	1,38	MT III
	II	2,23	MT I		II	2,01	MT II		II	0,51	MT III
Des	I	4,46	MT I	Apr	I	4,03	MT II	Agt	I	1,01	MT III
	II	3,68	MT I		II	3,47	MT II		II	1,01	MT III
Jan	I	2,91	MT I	Mei	I	2,91	MT II	Sep	I	1,01	MT III
	II	2,91	MT I		II	2,91	MT II		II	1,01	MT III
Feb	I	2,91	MT I	Jun	I	2,91	MT II	Okt	I	1,01	MT III
	II	2,85	MT I		II	2,83	MT II		II	0,51	MT III

   b) Air baku direncanakan guna melayani wilayah Kota Semarang, dan wilayah sekitar waduk (Mranggen, Karangawen, Tanggungharjo, dan Kecamatan Kedungjati di Kabupaten Demak) adalah sebesar ± 1 m^3/s.
   c) Untuk kebutuhan PLTMH saat ini belum ada informasi lebih lanjut terkait pelaksanaanya sehingga tidak diperhitungkan.
   d) Pemeliharaan sugai sesuai Peraturan Pemerintah Tentang Sungai (2011), besarnya kebutuhan air untuk aliran pemeliharaan sungai dihitung menggunakan debit andalan 95% (Q95).

Evapotranspirasi Metode Penman

Proses penguapan air dari lingkungan biotik dan abiotik disebut Evapotranspirasi. Terdapat beberapa faktor yang saling berhubungan dalam proses evapotranspirasi, seperti

suhu air, suhu udara (atmosfir), kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, dan sinar matahari (Limantara & Putra, 2016; Sosrodarsono & Takeda, 1993).

Pada metode ini indikator yang paling mempengaruhi adalah letak lintang (L), suhu udara rerata bulanan (t), kelembaban rerata relatif bulanan (RH), kecepatan angin (u), dan angka koreksi (c), persamaannya adalah sebagai berikut :

$$ET_0 = c \, . \, ET_0^{\,*} \quad (1)$$

$$ET_0^{\,*} = w \, (0{,}75 \, Rs - Rn1) + (1 - w) f(U)(\varepsilon\gamma - \varepsilon d) \quad (2)$$

Dimana ET_0 adalah evaporasi potensial (mm/hari), c adalah Angka koreksi (berdasarkan keadaan iklim), ET_0* adalah Evaporasi potensial sebelum dikoreksi (mm/hari), w adalah faktor yang berhubungan dengan suhu dan elevasi daerah, Rs adalah radiasi gelombang pendek yang diterima bumi (mm/hari), Rγ adalah radiasi gelombang pendek yang memenuhi batas luar atmosfer, Rn adalah radiasi bersih gelombang panjang (mm/hari), f (t) adalah fungsi suhu, f (ɛd) adalah fungsi tekanan uap, ɛd adalah tekanan uap sebenarnya, f (n/N) adalah fungsi kecerahan matahari, f (u) adalah fungsi kecepatan angin, dan RH adalah kelembaban relatif.

Metode Bangkitan Thomas-Fiering

Pada penelitian ini metode pembangkitan data menggunakan model *autoregressive Markov* oleh *Thomas Fiering* yang mana merupakan metode probabilitas yang telah banyak diterapkan oleh para ilmuwan untuk membuat data *forecasting*. *Thomas Fiering* (1962) mengembangkan persamaan *Markov* tersebut untuk membuat data sintetis setiap tahap bulanan, khususnya untuk aspek hidrologi, yang dituliskan sebagai berikut (Clarke, 1973; Gunawan, 2005; Iskahar, 2002) :

$$q_{i,j+1} = \overline{q_i} + r_j(q_{i,j-1} - \overline{q_{i,j-1}}) + ti \, . \, Sdj \, . \, (1 - kj)^{0{,}5} \quad (1)$$

Dimana $\boldsymbol{q_{i,j+1}}$ adalah debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke (i+1), $\boldsymbol{\overline{q_i}}$ adalah debit rata-rata bulan j, $\boldsymbol{q_{i,j-1}}$ adalah debit pada tahun ke I, pada bulan sebelumnya (j-1), $\boldsymbol{\overline{q_{iJ-1}}}$ adalah debit rerata tahun ke I, pada bulan sebelumnya (j-1), $\boldsymbol{r_j}$ adalah koefisien regresi antara debit bulan j dan j-1, $\boldsymbol{ti}$ adalah bilangan random normal, $\boldsymbol{Sdj}$ adalah simpangan baku bulan j, dan $\boldsymbol{kj}$ adalah korelasi debit bulan sebelumnya (j-1) dan bulan j.

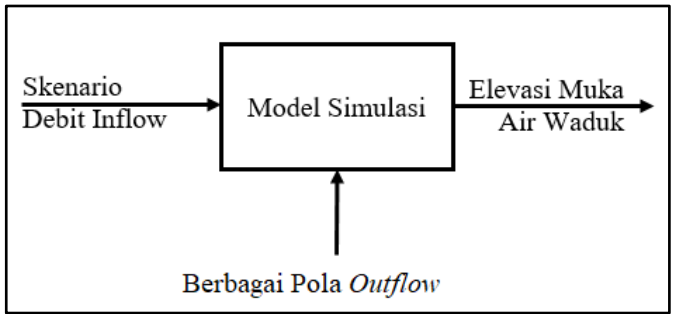
Klasifikasi Debit

Debit bangkitan diklasifikasikan menjadi debit tahun basah, tahun normal dan tahun kering. Tahun basah adalah klasifikasi debit rerata tahunan dengan probabilitas di atas 33,33%. Tahun normal adalah klasifikasi debit rerata tahunan dengan probabilitas antara 33,33% sampai 66,67%. Tahun kering adalah klasifikasi debit rerata tahunan dengan probabilitas dibawah 66,67%.

Simulasi Operasi Waduk

Simulasi operasi waduk dilakukan dengan t*rial and error* tinggi muka air waduk dengan beberapa kondisi debit *inflow* dan karakteristik waduk, sehingga dihasilkan ambang atau kurva pola pengoperasian. Parameter ambang batas yang digunakan yaitu ambang batas operasi normal atas (BON-A) dan batas operasi normal bawah (BON-B). Pelaksanaan operasi waduk menggunakan parameter tersebut dilaksanakan agar debit *outflow* dapat terkendali dan dapat terhindar dari kondisi kritis pada akhir pelaksanaan

operasi serta diharapkan elevasi muka air waduk dapat kembali seperti saat awal periode atau melebihi elevasi awal periode operasi. Skema untuk model simulasi dapat dilihat seperti Gambar 2.



Gambar 4. Skema Model Simulasi

Kebijakan pola operasi waduk dalam penelitian ini menggunakan *Standard Operating Policy* (SOP) dimana ditentukan terlebih dahulu kebutuhan air, diusahakan agar *outflow* dapat memenuhi seluruh kebutuhan air dan volume tampungan masih berada pada zona tampungan efektif.

Unjuk Kerja Waduk

Unjuk kerja waduk yang ada dalam penelitian terbagi menjadi beberapa indikator yang memberikan parameter seberapa besar kegagalan dan berapa lama kegagalan terjadi. Parameter untuk kerja tersebut adalah keandalan (*reliability*), kelentingan (*resiliency*), dan kerawanan (*vulnerability*) (Suharyanto, 2005; Tarigan, 2001; Wulandari et al., 2021)

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan Debit Waduk Jragung

Analisis debit historis pada waduk jragung dihitung dengan perbandingan luas dimana dari hasil analisis luas daerah tangkapan air Waduk Jragung sebesar $\pm$ 94 km^2 dan luas daerah tangkapan air bendung jragung 130,79 km^2. Hasil perhitungan debit historis pada Waduk Jragung dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Debit DTA Waduk Jragung Periode Januari – Juni (m^3/s)

Tahun	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2001	4,66	7,97	6,21	4,24	7,72	11,24	9,83	4,27	2,19	2,17	5,66	5,58
2002	3,11	4,68	5,93	6,68	5,06	6,12	9,79	4,74	3,53	0,98	1,51	0,54
2003	3,50	4,36	6,75	6,51	6,39	2,98	6,61	2,57	2,25	1,06	0,35	0,64
2004	4,36	4,49	5,38	4,02	9,18	7,44	7,16	5,93	3,76	4,67	2,04	0,84
2005	3,85	4,85	3,10	4,06	4,31	5,06	5,91	2,97	4,13	0,91	2,11	1,94
2006	5,40	6,25	3,63	3,60	2,57	3,81	5,99	2,91	5,61	1,71	1,17	0,37
2007	1,61	1,15	1,06	1,29	4,72	4,44	5,10	5,36	1,17	1,79	1,38	0,96
2008	5,69	4,25	4,97	6,59	6,85	4,95	4,06	3,91	4,93	0,83	0,38	0,59
2009	7,22	7,13	10,90	6,15	6,80	4,13	3,73	5,82	3,76	5,94	3,64	0,45
2010	4,62	0,29	3,02	4,78	5,67	6,75	6,01	5,26	5,24	6,74	4,92	2,51
2011	6,79	3,94	1,72	1,66	3,63	3,60	5,23	2,92	7,67	7,19	0,51	0,00
2012	8,44	5,30	9,72	8,15	2,92	3,48	5,83	3,94	2,86	0,98	1,31	0,17
2013	6,61	6,61	3,23	5,21	1,20	2,43	6,81	5,65	3,19	6,42	2,67	3,97
2014	4,87	3,55	5,80	4,54	3,37	2,81	3,84	5,55	2,56	2,13	0,79	5,46
2015	4,83	6,34	5,37	3,12	4,36	7,82	5,50	6,66	6,41	1,02	0,58	0,23
2016	2,87	1,80	3,90	4,35	3,82	2,95	6,50	4,06	1,99	3,79	2,72	2,72
2017	3,80	9,57	6,47	7,87	4,93	4,28	4,80	3,61	3,21	1,68	2,16	1,23
2018	8,29	9,57	6,94	7,87	4,93	4,28	4,80	3,61	3,30	1,68	2,16	1,23

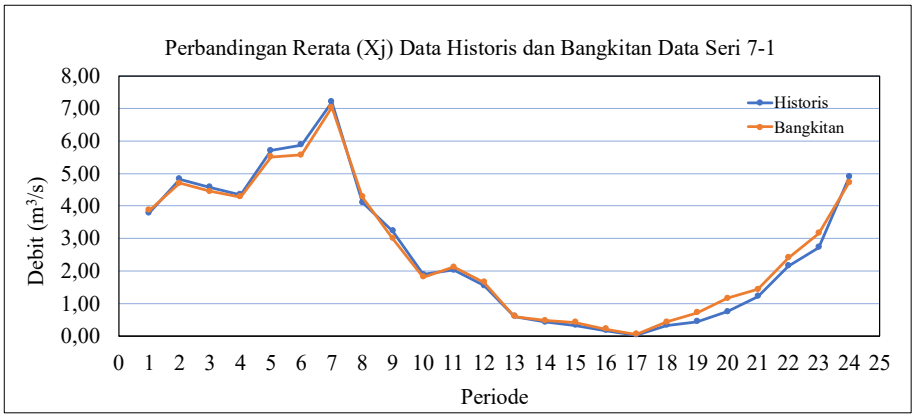
Tahun	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2019	1,87	7,72	8,46	6,27	5,50	7,04	7,64	6,77	4,59	1,66	0,23	0,16
2020	5,78	2,00	6,78	6,06	5,59	5,54	5,63	3,81	5,05	6,47	1,95	0,47
2021	6,05	9,08	11,08	9,29	5,18	5,36	5,98	3,22	2,32	4,26	3,34	9,09
2022	5,53	7,30	6,51	5,24	9,01	5,96	7,68	6,85	3,72	7,31	5,10	2,95

Tabel 3. Debit DTA Waduk Jragung Periode Juli – Desember (m^3/s)

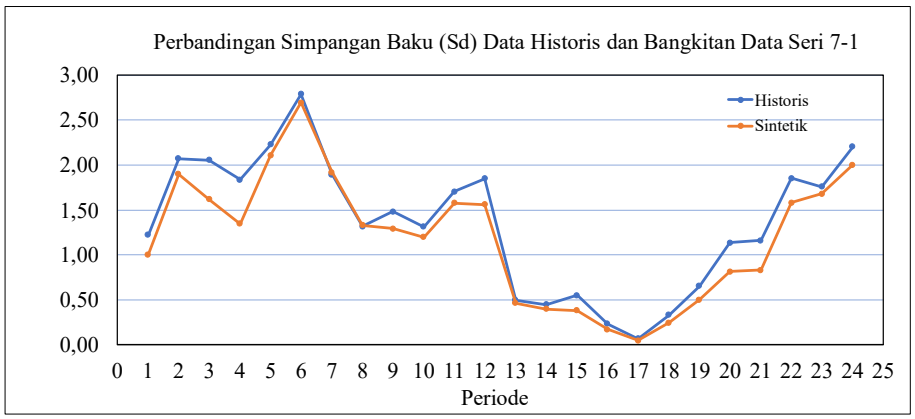
Tahun	Jul		Ags		Sep		Okt		Nov		Des	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2001	1,30	1,39	0,32	0,08	0,07	0,66	2,57	4,23	4,47	5,48	3,66	7,47
2002	0,58	0,37	0,37	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	4,23	6,13	6,66
2003	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,44	0,84	1,47	6,95	7,77	8,48
2004	1,22	1,04	0,37	0,23	0,04	1,14	0,00	0,00	0,22	2,03	4,07	5,79
2005	2,04	1,33	2,15	0,94	0,26	0,82	0,73	2,03	0,90	1,45	2,23	4,43
2006	0,09	0,02	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,19	1,60	2,67
2007	0,35	0,12	0,00	0,24	0,00	0,00	0,66	0,28	3,46	0,71	1,08	12,22
2008	0,40	0,40	0,40	0,89	0,55	0,50	1,79	3,08	3,75	4,64	5,71	7,10
2009	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	3,37	1,15	5,14
2010	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	1,21	7,36	8,47	5,87	5,23	9,59	8,76
2011	0,00	0,00	0,66	0,62	0,04	0,00	0,00	0,02	8,30	7,80	4,96	11,56
2012	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,83	5,83	6,18	6,17
2013	1,36	2,07	0,36	1,29	0,73	0,54	0,51	0,78	3,02	5,22	2,43	8,58
2014	4,74	3,21	0,53	1,51	1,51	0,02	0,00	0,38	0,85	5,43	5,51	6,46
2015	0,13	0,22	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,85	1,98	2,42
2016	5,52	3,68	1,08	3,36	1,23	1,32	8,61	4,01	9,27	8,78	0,59	6,89
2017	1,26	0,89	0,37	0,13	0,00	0,87	2,72	3,61	5,54	11,48	9,24	8,13
2018	1,26	0,89	0,37	0,12	0,00	0,87	2,72	3,61	5,61	11,48	9,24	8,20
2019	0,94	0,50	0,00	0,06	0,17	0,04	0,00	3,61	5,61	11,48	9,24	8,20
2020	1,49	1,78	1,37	1,92	0,74	1,64	2,68	2,80	2,14	3,17	11,84	9,88
2021	2,51	0,74	2,24	1,78	1,04	2,29	1,30	1,69	4,86	5,90	7,38	8,79
2022	3,07	1,96	1,73	1,55	5,90	3,78	8,17	5,17	10,73	9,22	6,51	7,91

Pembangkitan Data Debit

Data debit historis yang didapat kemudian dibagi menjadi 7 seri, lalu dibangkitkan menggunakan Metode *Thomas-Fiering* sepanjang 60 tahun lalu diambil data hasil bangkitan 50 tahun terakhir. Proses pembangkitan dilakukan hingga hasil bangkitan memiliki nilai karakteristik yang menyerupai data historisnya (Pratiwi et al., 2017; Suprayogi et al., 2013; Zalfi et al., 2023). Kesalahan relatif hasil data bangkitan diusakan tidak melebihi 5% (Gunawan, 2005). Hal ini terlihat dari perbandingan nilai rerata dan simpangan bakun dalam grafik. Contoh perbandingan debit historis dan debit bangkitan pada data seri 7-1 dapat dilihat pada Tabel 4. Grafik perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 5 dan gambar 6. Pembangkitan data debit untuk data seri lainya dilakukan dengan cara yang sama. Rekapitulasi perbandingan antara retata dan simpangan baku debit historis dengan debit bangkitan dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 5. Perbandingan Rerata Data Historis dan Bangkitan Seri 7-1



Gambar 6. Perbandingan Simpangan Baku Data Historis dan Bangkitan Seri 7-1

Tabel 4. Perbandingan Parameter Statistik Data Historis dan Bangkitan Seri 7-1

Periode		Rerata (Xj)		Simpangan Baku (Sd)		Periode		Rerata (Xj)		Simpangan Baku (Sd)	
		Historis	Bangkitan	Historis	Bangkitan			Historis	Bangkitan	Historis	Bangkitan
Jan	I	3,78	3,86	1,22	1,01	Jul	I	0,61	0,61	0,50	0,47
	II	4,82	4,70	2,07	1,90		II	0,44	0,48	0,45	0,40
Feb	I	4,58	4,45	2,06	1,62	Ags	I	0,33	0,43	0,55	0,38
	II	4,34	4,28	1,84	1,34		II	0,17	0,22	0,23	0,17
Mar	I	5,71	5,51	2,23	2,11	Sep	I	0,04	0,06	0,07	0,05
	II	5,87	5,57	2,79	2,70		II	0,33	0,44	0,33	0,25
Apr	I	7,20	7,03	1,89	1,92	Okt	I	0,45	0,72	0,66	0,50
	II	4,11	4,28	1,32	1,33		II	0,76	1,17	1,14	0,81
Mei	I	3,23	3,00	1,48	1,29	Nov	I	1,23	1,44	1,16	0,83
	II	1,90	1,81	1,31	1,20		II	2,16	2,41	1,85	1,58
Jun	I	2,03	2,13	1,70	1,58	Des	I	2,72	3,16	1,76	1,68
	II	1,55	1,65	1,85	1,56		II	4,90	4,72	2,20	2,00

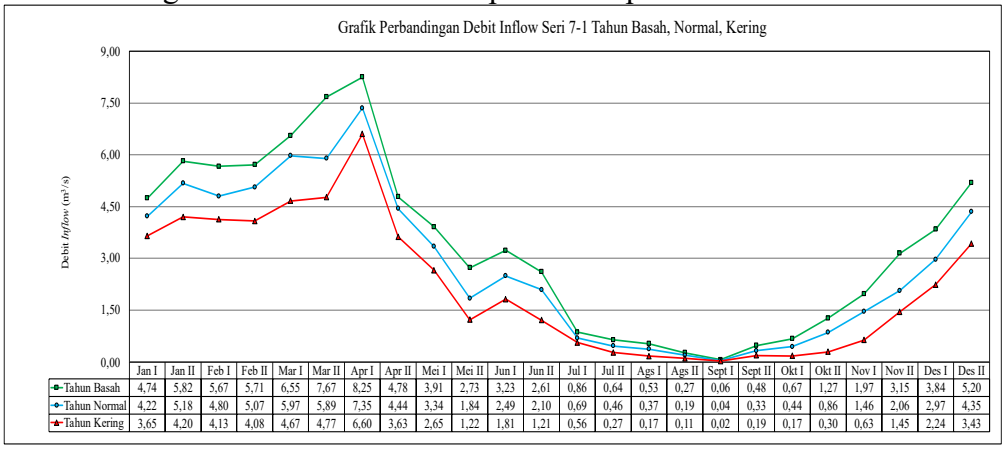
Tabel 5. Rekapitulasi Rerata dan Simpangan Baku Data Historis dengan Data Bangkitan

Data Seri	Jumlah Data	Rerata Debit Historis	Rerata Debit Bangkitan	Kesalahan Relatif (%)	Simpangan Baku Debit Historis	Simpangan Baku Debit Bangkitan	Kesalahan Relatif (%)
7-1	7	2,636	2,672	1,38%	2,542	2,428	4,48%
7-2	7	2,749	2,803	1,94%	2,663	2,524	5,24%
7-3	7	2,990	3,031	1,37%	2,515	2,453	2,47%
7-4	7	3,879	3,922	1,10%	2,704	2,650	1,99%
11-1	11	2,817	2,845	1,01%	2,616	2,505	4,23%
11-2	11	3,481	3,530	1,42%	2,681	2,613	2,55%

Data Seri	Jumlah Data	Rerata Debit Historis	Rerata Debit Bangkitan	Kesalahan Relatif (%)	Simpangan Baku Debit Historis	Simpangan Baku Debit Bangkitan	Kesalahan Relatif (%)
22-1	22	3,154	3,187	1,02%	2,665	2,636	1,09%
Perencanaan	18	3,093	3,624	4,69%	2,973	3,793	3,89%

Klasifikasi Debit

Klasifikasi debit dilakukan dengan mengurutkan data dua mingguan dari yang terbesar sampai terkecil. Contoh hasil klasifikasi debit pada data seri 7-1 dapat dilihat pada Tabel 5 dan grafik klasifikasi debit dapat dilihat pada Gambar 7.



	Jan I	Jan II	Feb I	Feb II	Mar I	Mar II	Apr I	Apr II	Mei I	Mei II	Jun I	Jun II	Jul I	Jul II	Ags I	Ags II	Sept I	Sept II	Okt I	Okt II	Nov I	Nov II	Des I	Des II
Tahun Basah	4,74	5,82	5,67	5,71	6,55	7,67	8,25	4,78	3,91	2,73	3,23	2,61	0,86	0,64	0,53	0,27	0,06	0,48	0,67	1,27	1,97	3,15	3,84	5,20
Tahun Normal	4,22	5,18	4,80	5,07	5,97	5,89	7,35	4,44	3,34	1,84	2,49	2,10	0,69	0,46	0,37	0,19	0,04	0,33	0,44	0,86	1,46	2,06	2,97	4,35
Tahun Kering	3,65	4,20	4,13	4,08	4,67	4,77	6,60	3,63	2,65	1,22	1,81	1,21	0,56	0,27	0,17	0,11	0,02	0,19	0,17	0,30	0,63	1,45	2,24	3,43

Gambar 7. Perbandingan Rerata Data Historis dan Bangkitan Seri 7-1

Perhitungan Evapotranspirasi

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan Metode Penman. Evaporasi akan menjadi salah satu faktor pengurang tampungan waduk dalam simulasi operasi waduk. Hasil perhitungan koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Evapotranspirasi

Minggu ke-	Bulan (mm/hari)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nov	Des
I	4,45	3,64	4,73	3,30	3,86	3,32	3,35	4,48	5,62	5,85	4,92	4,96
II	4,27	5,61	3,45	4,33	3,65	3,46	3,59	4,66	5,62	6,00	4,36	5,28

Simulasi Pola Operasi Waduk

Penentuan batas operasi normal atas dan batas operasi normal bawah diperlukan untuk mengetahui kapan lepasan air harus dikurangi atau lepasan air masih sesuai dengan kebutuhan. Debit klasifikasi basah dan kering hasil bangkitan menjadi masukan untuk perhitungan BON-A dan BON-B. Hasil perhitungan untuk mendapatkan elevasi BON-A dan BON-B dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Elevasi awal BON-A dan BON-B pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Maulana, 2020 berada sekitar 80% dari tampungan toal untuk batas atas dan 42,00% dari tampungan toal untuk batas bawah. Hasil perhitungan BON-A dan BON-B dapat dilihat bahwa semakin kecil rerata tahunan debit *inflow* maka elevasi akan semakin turun, semakin besar rerata *inflow* tahunan maka elevasi akan semakin naik.

Tabel 7. BON-A dan BON-B Data Seri 7-1, 7-2, 7-3, dan Perencanaan

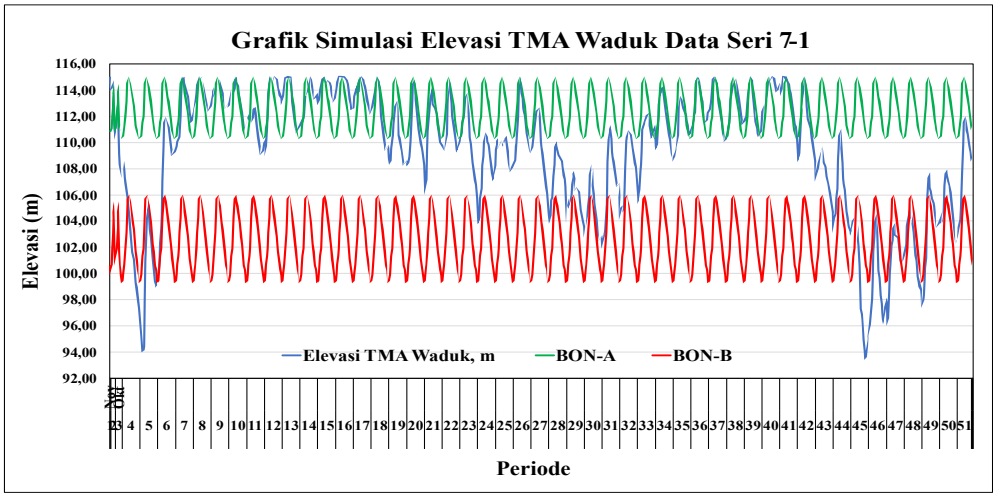
Periode		Pola Operasi Waduk Jragung							
		Perencanaan		seri 7-1		seri 7-2		seri 7-3	
		BON-A	BON-B	BON-A	BON-B	BON-A	BON-B	BON-A	BON-B
Elevasi Awal		110,81	100,61	110,81	100,61	110,81	100,61	110,81	100,61
Nov	I	111,35	100,92	111,02	100,31	111,50	101,29	111,93	101,32
	II	111,56	100,98	110,89	99,87	111,47	101,41	112,52	101,86
Des	I	111,17	100,39	110,27	99,26	110,87	101,16	112,00	101,38
	II	111,78	100,85	110,35	99,45	111,53	101,90	112,41	101,89
Jan	I	112,70	101,26	110,52	99,92	112,37	102,60	112,94	102,70
	II	113,94	102,02	111,07	100,68	112,51	102,79	113,40	102,83
Feb	I	114,90	102,58	111,54	101,35	113,07	102,96	113,91	103,29
	II	115,00	103,18	111,96	101,90	113,42	103,36	114,33	103,78
Mar	I	115,00	104,26	113,14	103,12	114,19	104,37	114,67	104,00
	II	115,00	105,21	114,50	104,28	114,63	105,27	115,00	104,27
Apr	I	115,00	106,11	115,00	105,69	114,65	105,88	115,00	105,06
	II	115,00	106,60	115,00	106,00	114,69	106,19	115,00	105,52
Mei	I	115,00	106,72	114,92	106,03	115,00	106,42	115,00	105,63
	II	115,00	106,37	114,47	105,48	114,99	106,45	114,89	105,59
Jun	I	114,70	105,75	114,20	105,20	114,39	106,04	114,27	105,06
	II	114,39	104,96	113,77	104,68	113,44	105,26	113,91	104,55
Jul	I	114,24	104,38	113,45	104,35	113,05	104,55	113,71	104,06
	II	114,15	104,06	113,16	103,90	112,65	103,95	113,60	103,65
Ags	I	113,66	103,36	112,78	103,40	112,25	103,28	113,04	103,01
	II	113,30	102,44	112,28	102,82	111,85	102,58	112,70	102,45
Sep	I	112,87	101,58	111,72	102,22	111,41	101,83	112,17	101,81
	II	112,76	100,98	111,29	101,68	111,00	101,12	111,58	101,12
Okt	I	112,86	100,63	110,92	101,13	110,86	100,77	111,70	100,86
	II	113,25	100,61	110,81	100,61	110,81	100,61	111,64	100,55

Tabel 8. BON-A dan BON-B Data Seri 7-4, 11-1, 11-2, 22-1

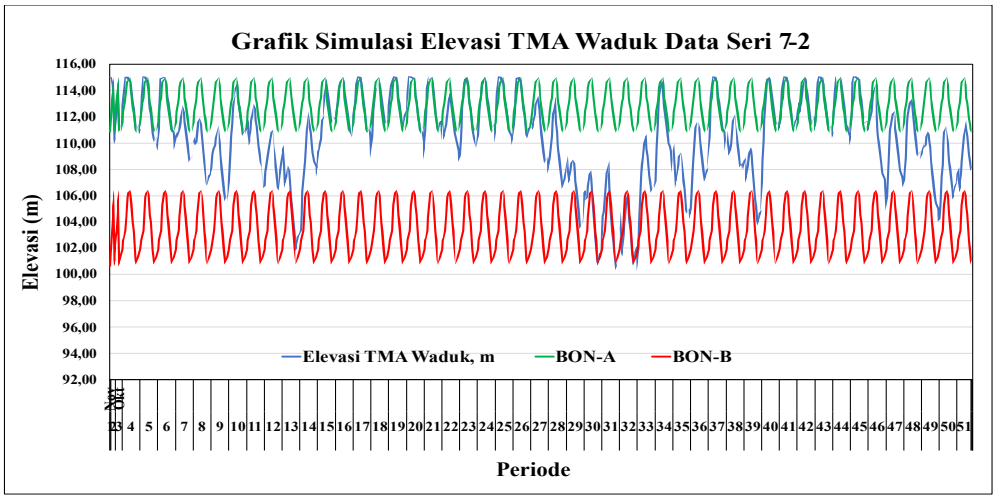
Periode		Pola Operasi Waduk Jragung							
		seri 7-4		seri 11-1		seri 11-2		seri 22-1	
		BON-A	BON-B	BON-A	BON-B	BON-A	BON-B	BON-A	BON-B
Elevasi Awal		110,81	100,61	110,81	100,61	110,81	100,61	110,81	100,61
Nov	112,06	101,75	111,13	100,66	111,73	101,21	111,59	100,96	101,32
	113,08	102,45	111,10	100,54	112,64	102,50	112,11	101,19	101,86
Des	113,30	102,28	110,58	99,99	112,43	103,38	111,86	100,95	101,38
	113,67	102,77	111,03	101,06	112,71	104,85	112,13	101,50	101,89
Jan	114,11	102,74	111,40	101,60	113,30	106,09	112,52	102,04	102,70
	115,00	103,24	111,69	101,87	114,28	107,59	113,19	102,72	102,83
Feb	115,00	104,13	112,10	102,06	115,00	109,36	113,98	103,50	103,29
	115,00	104,75	112,30	102,47	115,00	109,83	114,52	104,13	103,78
Mar	115,00	105,67	113,39	103,75	115,00	110,17	115,00	104,90	104,00
	115,00	106,12	114,36	104,69	115,00	110,36	115,00	105,52	104,27
Apr	115,00	106,33	114,79	105,49	115,00	110,41	115,00	106,22	105,06
	115,00	105,99	114,89	106,02	115,00	110,20	115,00	106,43	105,52
Mei	114,85	105,67	115,00	106,31	114,99	109,76	115,00	106,58	105,63
	114,90	105,14	115,00	106,26	114,96	109,11	114,92	106,39	105,59
Jun	114,60	104,42	114,65	105,85	114,55	108,22	114,45	105,90	105,06
	114,49	103,51	114,01	104,90	114,59	107,55	114,15	105,00	104,55
Jul	114,37	103,28	113,47	104,36	114,47	106,87	113,81	104,52	104,06
	114,26	102,96	113,08	103,83	114,37	106,60	113,53	104,10	103,65
Ags	113,83	102,37	112,53	103,22	113,93	105,88	112,97	103,49	103,01
	113,48	101,76	111,95	102,59	113,50	105,07	112,38	102,88	102,45
Sep	113,10	100,96	111,32	101,92	113,10	104,18	111,92	102,31	101,81
	112,76	100,42	110,78	101,28	112,69	103,41	111,50	101,76	101,12
Okt	113,22	100,30	110,64	100,86	112,69	102,85	111,42	101,20	100,86
	113,51	100,61	110,81	100,61	112,72	102,66	111,76	100,83	100,55

Selanjutnya, setelah diketahui batas operasinya maka setiap data seri dilakukan simulasi operasi waduk selama 50 tahun kedepan atau selama 1200 periode. Hasil debit bangkitan data seri 7-1 memiliki keberhasilan sebanyak 680 periode. Hasil debit bangkitan data seri 7-2 memiliki keberhasilan sebanyak 800 periode. Hasil debit bangkitan data seri 7-3 memiliki keberhasilan sebanyak 1180 periode. Hasil debit bangkitan data seri 7-4 memiliki keberhasilan sebanyak 1200 periode. Hasil debit bangkitan data seri 11-1 memiliki keberhasilan sebanyak 799 periode. Hasil debit bangkitan data seri 11-2 memiliki keberhasilan sebanyak 1196 periode. Hasil debit bangkitan data seri 22-1 memiliki keberhasilan sebanyak 944 periode.

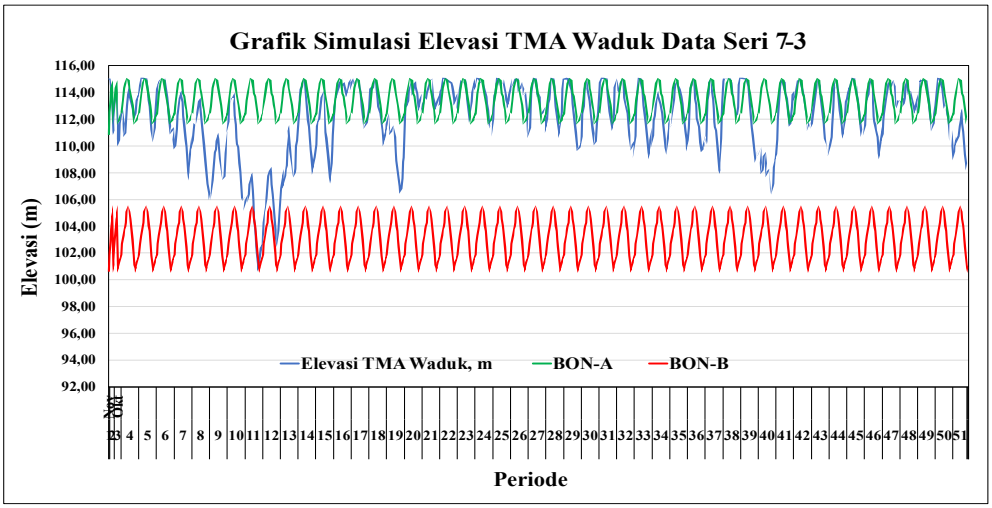
Grafik hasil simulasi selama 50 tahun pada setiap data ditampilkan pada Gambar 8 sampai Gambar 15.



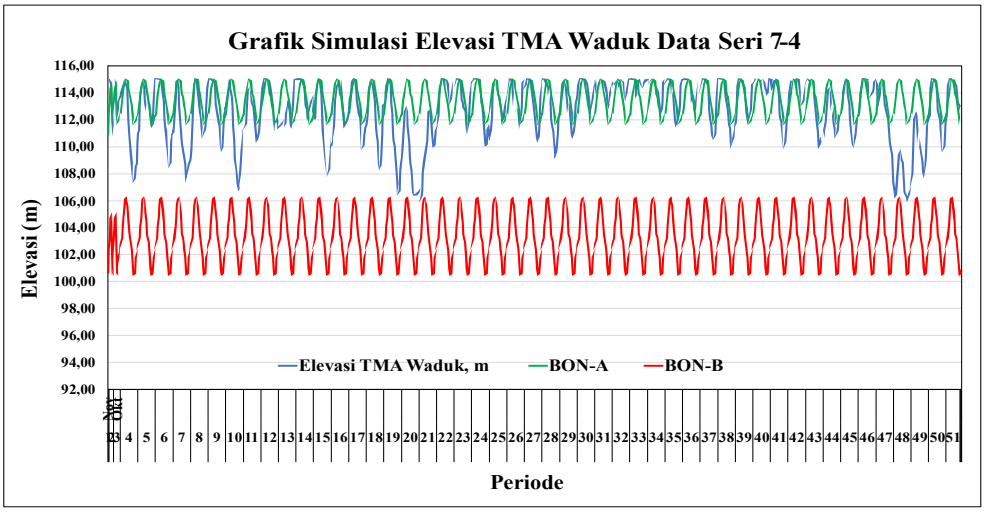
Gambar 8. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 7-1



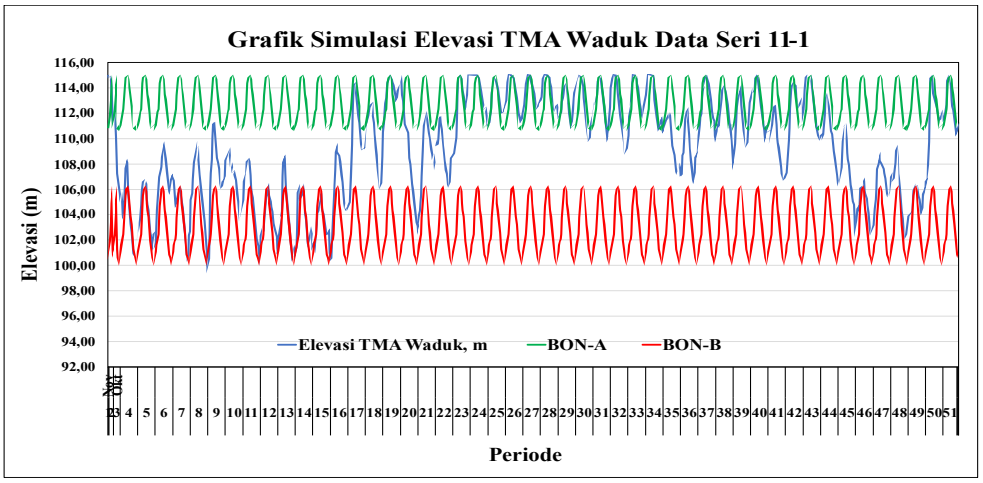
Gambar 9. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 7-2



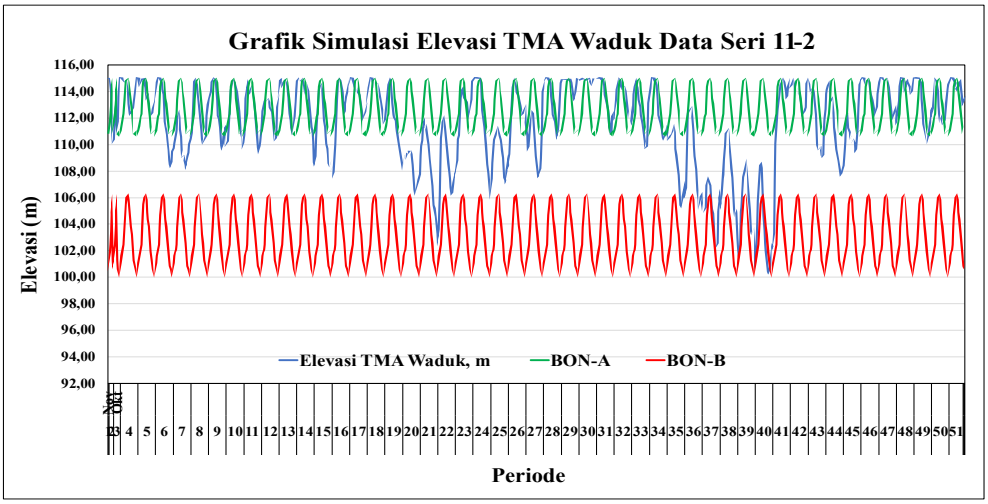
Gambar 10. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 7-3



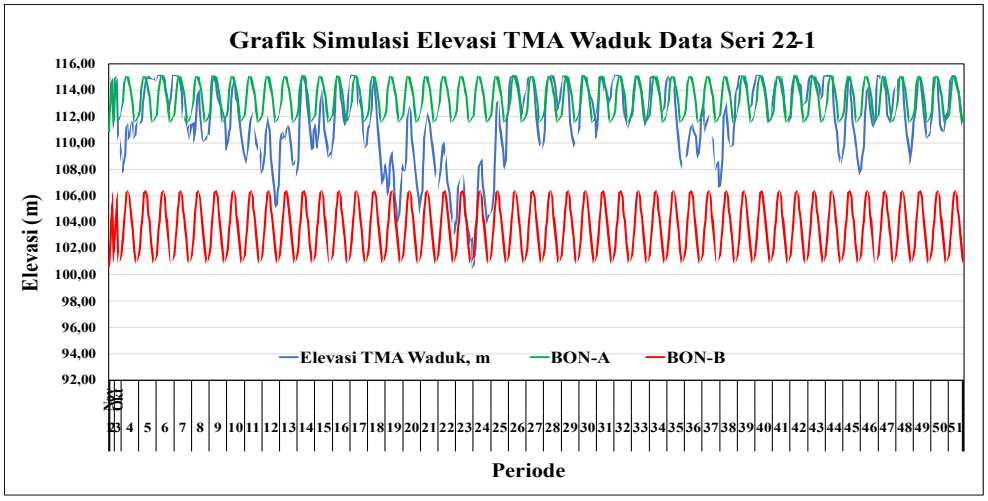
Gambar 11. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 7-4



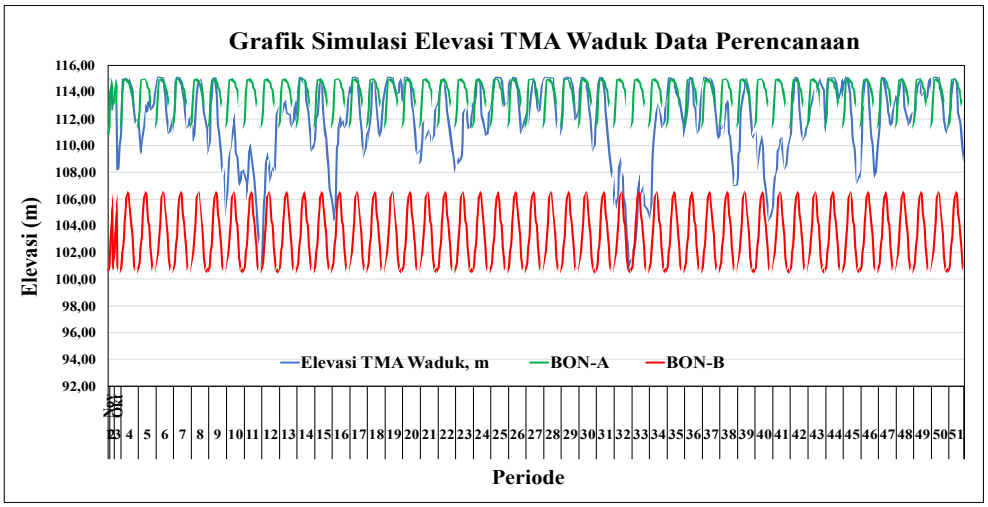
Gambar 12. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 11-1



Gambar 13. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 11-2



Gambar 14. Tinggi Muka Air Waduk Data Seri 22-1



Gambar 15. Tinggi Muka Air Waduk Data Perencanaan

Perhitungan pemenuhan kebutuhan air untuk irigasi menunjukan bahwa data historis yang memiliki karakteristik rerata yang tinggi cenderung dapat memenuhi seluruh

kebutuhan irigasi, sedangkan data yang memiliki rerata yang rendah cenderung tidak dapat memenuhi seluruh kebutuhan irigasi. Rekapitulasi pemenuhan irigasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Pemenuhan Kebutuhan Irigasi Data

Periode	Pemenuhan Kebutuhan Irigasi Simulasi 50 Tahun							
	Perencanaan	**seri 7-1**	**seri 7-2**	**seri 7-3**	**seri 7-4**	**seri 11-1**	**seri 11-2**	**seri 22-1**
MT I	92,64%	68,32%	73,68%	84,40%	100,00%	74,74%	92,74%	74,57%
Luas (Ha)	3.754,70	2.769,21	2.986,42	3.420,65	4.053,00	3.029,04	3.758,84	3.022,29
MT II	91,00%	63,80%	70,00%	81,48%	100,00%	70,24%	88,80%	70,60%
Luas (Ha)	3.688,23	2.585,81	2.837,10	3.302,38	4.053,00	2.846,83	3.599,06	2.861,40
MT III	82,00%	10,84%	25,00%	70,00%	100,00%	22,40%	74,40%	41,58%
Luas (Ha)	3.323,46	439,35	1.013,25	2.837,10	4.053,00	907,87	3.015,43	1.685,37

Grafik dimulasi selama 50 tahun yang ditampilkan Gambar 8 sampai dengan Gambar 15 menunjukan semakin kecil rerata data seri maka kecenderungan grafik pola operasi akan mendekati BON-B bahkan mendekati elevasi batas minimal operasi, sebaliknya semakin besar rerata debit historis maka grafik pola operasi cenderung semakin mendekati BON-A bahkan sampai elevasi air normal dan beberapa periode terjadi limpasan.

Hasil perhitungan keandalan waduk pada setiap panjang data seri memiliki nilai yang berbeda-beda, hal ini sama seperti hasil penelitian yang dilakukan Iskahar (2002) dimana untuk panjang data yang berbeda akan menghasilkan keandalan yang berdeda. Semakin kecil rerata data maka nilai keandalannya semakin kecil, begitu pula semakin besar rerata data maka nilai keandalannya semakin besar hingga 100%. Hal ini terlihat bahwa pada data seri 7-3, data seri 7-4, data seri 11-2, dan data debit perencanaan meiliki keandalan yang lebih baik dibandingkan data yang lain.

Hasil perhitungan kelentingan waduk menunjukan semakin kecil rerata data maka jumlah periode gagal semakin banyak dan lama periode yang dibutuhkan dari kondisi gagal kembali menjadi kondisi memuaskan semakin lama. Hal ini dapat dilihat dari nilai T_{gagal} dimana semakin besar nilai T_{gagal} mengindikasikan jangka waktu rerata jangka waduk berada dalam kondisi gagal yang panjang. Nilai kelentingan waduk akan semakin kecil seiring dengan T_{gagal} yang besar.

Hasil perhitungan kerawanan waduk menunjukan pada setiap data seri hampir tidak pernah terjadi kekurangan air tetapi dengan konsekuensi semakin kecil rerata data *inflow* maka luas layanan irigasi berkurang. Rekapitulasi unjuk kerja waduk dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Unjuk Kerja Waduk

No	Data	Unjuk Kinerja Waduk						
		Keandalan (*Reliability*)	**Kelentingan (*Resiliency*)**		**Kerawanan (Vulnerability)**			
		α_1	T_{gagal}	γ	v_1	v_2		v_3
1	Perencanaan	100,00%	-	-	0,00%	0,00%	-	Juta m3
2	7-1	56,67%	4,77	0,210	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
3	7-2	66,67%	4,04	0,248	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
4	7-3	98,33%	0,50	2,000	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
5	7-4	100,00%	-	-	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
6	11-1	66,58%	3,97	0,252	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
7	11-2	99,67%	0,50	2,000	0,00%	0,00%	-	Juta m^3
8	22-1	78,67%	4,06	0,246	0,00%	0,00%	-	Juta m^3

Kesimpulan

Data seri bangkitan Metode *Thomas-Fiering* menghasilkan data yang memiliki karakteristik yang menyerupai data historisnya. Hasil simulasi selama 50 tahun pada

setiap data seri mengindikasikan bahwa panjang data cenderung tidak berpengaruh terhadap keandalan waduk, akan tetapi karakteristik rerata dan sebaran data memiliki pengaruh terhadap keberhasilan waduk memenuhi kebutuhan air di hilir. Semakin besar rerata *inflow* maka keandalan waduk semakin baik. Pengaturan elevasi waduk saat beroperasi yang dilakukan untuk menjaga agar elevasi pengoperasian selalu diatas elevasi BON-B akan berdampak pada berkurangnya luas layanan irigasi tetapi meningkatkan keandalan waduk.

BIBLIOGRAFI

Afifah, R. C., Samto Atmodjo, P., & Sangkawati, S. (2016). Unjuk Kerja Waduk Jatigede. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *21*(2), 69.

Clarke. (1973). *Mathematical Modelling in Hydrology*.

Peraturan Bupati Demak tentang Pola Tanam dan Rencana Tata Tanam Musim Hujan Tahun 2020/2021 dan Musim Kemarau Tahun 2021, Pub. L. No. 98 (2020).

Gunawan, S. (2005). *Kajian Panjang Data Historis yang Representatif pada Model Stokastik*. Universitas Diponegoro.

Iskahar. (2002). *Analisa Pengaruh panjang Data Terhadap Keandalan Waduk*. Universitas Diponegoro.

Limantara, L. M., & Putra, W. R. (2016). Analisa Keandalan Tampungan Waduk di Embung Tambak Pocok Bangkalan. *Jurnal Teoretis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, *23*(2), 127–134.

Maulana, R. (2020). *Pemodelan Pola Operasi Bendungan Sangiran*. Universitas Sebelas Maret.

Peraturan Pemerintah tentang Sungai, Pub. L. No. 38 Tahun 2011 (2011).

Pratiwi, B. S., Sachro, S. S., & Suharyanto, S. (2017). Pembangkitan Data Debit dan Skenario Pola Tanam Daerah Irigasi Embung Suruhan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *23*(1), 29. https://doi.org/10.14710/mkts.v23i1.13805

Soemarto, C. D. (1987). Hidrologi Teknik. In *Usaha Nasional, Surabaya.*

Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I*. Nova. https://tacpdf.com/nigeria-family-planning-blueprint-health-policy-project.html

Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (1993). *Hidrologi Untuk Pengairan* (Sosrodarsono (ed.)). PT. Pradnya Paramita.

Suharyanto. (2005). Pengoperasian Waduk Dalam Rangka Penanganan Bahaya Kekeringan Dan Banjir. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, *13*(1), 60–70.

Suprayogi, I., Rinaldi, & Prasetio, T. D. (2013). *Bangkitan data debit pada daerah pengaliran sungai dengan menggunakan pendekatan metode thomas - fiering (studi kasus: lubuk ambacang –das indragri) 1*.

Tarigan, A. (2001). *Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Kedung Ombo Dengan Program Linier*. Universitas Diponegoro.

Wulandari, D. A., Sriyana, S., Salamun, S., Kurniani, D., Tristanto, A. N., Rinaldi, Z., Kandriani, R., & Rahardiyanti, A. R. (2021). Optimasi Operasi Danau Rawa Pening dengan Program Dinamik untuk Pemanfaatan Sumber Daya Air yang Optimal. *Teknik*, *42*(1), 241–252. https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.33765

Zalfi, B. R., Sujatmoko, B., & Fauzi, M. (2023). Pembangkitan Data Debit Daerah Aliran Sungai Batang Arau Menggunakan Metode Thomas Fiering (Studi Kasus : Pos Duga Air Batang Arau). *Sainstek*, *11*(1 SE-Articles), 18–24.

Copyright holder:
Muhamad Airlangga Ahmadi, Tri Pambudi, Suharyanto, Dyah Ari Wulandari (2024)

First publication right:
Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

