

**OPTIMALISASI PENGUSAHAAN HIDROELEKTRIK RIAM
KANAN DALAM RANGKA MEMENUHI KEBUTUHAN AIR
BAKU SPAM KAWASAN REGIONAL BANJARBARU**

***RIAM KANAN HYDROELECTRIC MANAGEMENT
OPTIMALIZATION TO SERVE BANJARBARU REGIONAL AREA
DWWS WATER RESOURCES RATE DEMAND***

Melisa Triandini Maulani¹ dan Arwin Sabar²

Program Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

Email: melisatm91@gmail.com dan arwinsabar@yahoo.com

Abstrak : Meningkatnya kebutuhan air minum seiring dengan pertumbuhan penduduk Kabupaten Banjar dan Kota Banjarbaru, provinsi Kalimantan Selatan serta komponen hidrologi yang stokastik mengakibatkan adanya ketidakpastian masa depan dalam pola pengelolaan PLTA Ir.P.M. Noor Waduk Riam Kanan sehingga dengan fungsi utilitas energi listrik harga konstan seperti saat ini, pemenuhan kebutuhan air baku di *downstream* kurang optimal. Waduk PLTA Riam Kanan di jadikan sebagai alternatif sumber air baku. Alokasi air minum menggunakan debit andalan kering R10-R20 yang bernilai 19,3-27,5 m³/detik. Korelasi debit hasil prakiraan kontinu dengan debit historis sebesar 0,72 sedangkan korelasi debit prakiraan diskrit markov dengan debit historis sebesar 0,62 sehingga debit prakiraan kontinu dianggap lebih adaptif terhadap debit historisnya. Pengelolaan waduk optimal menggunakan model kontinu memiliki koefisien korelasi sebesar 0,852 terhadap lintasan aktualnya sedangkan menggunakan model diskrit markov sebesar 0,846 sehingga model kontinu terpilih menjadi model pola pengusahaan waduk yang paling optimal untuk untuk kebutuhan air di *downstream*. Pengelolaan waduk optimal diperhitungkan dengan pengelolaan optimal berdasarkan ketidakpastian masa depan, sedangkan utilitas harga berubah dihitung dengan metode program dinamik Bellman dengan iterasi “Du Coloir”. Untuk diskritisasi volume sebesar 70, 35 dan 10 juta m³ didapatkan gain sebesar 1462,2525, 1207,6640 dan 990,1395; 1463,9817, 1209,8065 dan 996,2856; 1470,1043, 1238,1262 dan 1002,3623. Adapun korelasi untuk diskritisasi 70, 35 dan 10 juta m³ adalah 0,3810; 0,3822 dan 0,4700, membuktikan bahwa semakin besardiskritisasi, semakin besar korelasi yang didapatkan antara St pedoman dan St aktual..

Kata kunci : air baku, pengelolaan waduk, deterministik, optimal, program dinamik Bellman

Abstract : *The increased demand for drinking water along with the population growth of Banjar Regency and Banjarbaru City, South Kalimantan province and stochastic hydrology component resulted in future uncertainty in the management pattern of Riam Kanan Reservoir Ir. P. M. Noor hydropower plant so that with the electric utility function of constant price such as the present, fulfillment of raw water demand in downstream is less than optimal. The Riam Kanan reservoir hydropower plant is used as an alternative source of raw water. Allocation of drinking water uses dry R10-R20 mainstay discharge which is worth 19.3-27.5 m³/second. The discharge correlation results from continuous forecasts with historical debit of 0.72 while the discrete markov forecast correlation with historical discharge is 0.62 so that continuous forecasting debits are considered more adaptive to historical debit. Optimal reservoir management using a continuous model has a correlation coefficient of 0.988 on the actual trajectory while using the markov discrete model of 0.902 so that the continuous model is chosen to be the most optimal model of reservoir designation for downstream water needs. Optimal reservoir management is calculated by optimal management based on future uncertainties, while utility price changes are calculated by the Bellman dynamic program method and “Du Coloir iteration. For the discretization of the volume of 70, 35 and 10 Mm³ the gain obtained are 1462,2525, 1207,6640 and 990,1395; 1463,9817, 1209,8065 and 996,2856; 1470,1043, 1238,1262 and 1002,3623. Correlation for discretization of 70, 35, and 10 Mm³ are 0,3810, 0,3822 dan 0,4700, proving that the larger discretization is, the larger correlation between St trajectory dan St actual.*

Keyword : raw water, reservoir management, deterministic, optimal, Bellman’s dynamic program

PENDAHULUAN

Waduk Riam Kanan terletak di Desa Aranio, Kecamatan Karang Intan, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. Air Waduk Riam Kanan dimanfaatkan untuk sumber baku air minum, air irigasi, pembangkit listrik, parawisata, dll. Untuk fungsinya sebagai pembangkit listrik, waduk ini memiliki 3 turbin dengan kapasitas masing-masing 30 MW (Dinahkandy, 2015). Meningkatnya permintaan dan kebutuhan air minum seiring dengan pertumbuhan penduduk Kabupaten Banjar dan Kota Banjarbaru mengakibatkan adanya ketidakpastian masa depan dalam pola pengelolaan PLTA Waduk Riam Kanan sehingga dengan fungsi utilitas energi listrik harga konstan seperti saat ini, pemenuhan kebutuhan air baku di *downstream* kurang optimal.

Di bidang ekonomi, fungsi utilitas merupakan konsep penting yang mengukur preferensi atas satu set barang dan jasa (Blokhin, 2015). Dalam hubungannya dengan energi listrik, fungsi utilitas pada pengelolaan PLTA Waduk Riam Kanan saat ini dilakukan dengan harga konstan, artinya harga yang ditawarkan tidak berubah seiring waktu. Dengan harga yang konstan, maka akan terjadi ketidakseimbangan dalam *supply* dan *demand* energi listrik dan air di *downstream* seiring waktu. Karenanya dilakukan penelitian untuk mengelola PLTA waduk dengan fungsi utilitas energi listrik harga berubah untuk menemukan harga optimal pada setiap keadaan seiring waktu juga untuk memenuhi kebutuhan air baku minum serta kebutuhan air *downstream*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas model pengelolaan optimal pengoperasian hidroelektrik PLTA Riam Kanan untuk memenuhi kebutuhan *downstream* serta memperkirakan fungsi utilitas energi listrik untuk harga berubah seiring waktu. Penelitian mengambil lokasi di PLTA Riam Kanan, Aranio, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. Riam Kanan dipilih karena *downstream*-nya digunakan sebagai air baku PDAM Intan Banjar yang melayani cakupan wilayah Kabupaten Banjar dan Kota Banjarbaru.

Pengolahan Data Hujan dan Debit

Hujan (P) dan debit (Q) merupakan dua variabel acak dan juga merupakan komponen hidrologi yang penting. Hujan yang jatuh pada suatu DAS berpengaruh

terhadap debit sungai secara variatif dalam ruang dan waktu (Triane dan Suharyanto, 2015; Abdurachman dan Oginawati, 2019).

1. Melengkapi Data Kosong

Data hujan (P) dan debit (Q) kadang mengalami kekosongan akibat berbagai macam sebab, misalnya ketiadaan pengamat, alat ukur yang bermasalah, hilangnya rekaman, atau kekurangan dana pencatatan. Celleri (2007) dalam Villazon (2010) mengungkapkan untuk mengisi data kosong dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linear sederhana dan regresi linear ganda. Korelasi antara semua pasangan stasiun untuk setiap bulan, diurutkan dan bulan yang hilang diperkirakan menggunakan regresi linear stasiun yang memiliki korelasi tertinggi dengan data yang tercatat di bulan yang sama. Sedangkan regresi linear ganda menggunakan korelasi spasial dua variabel acak tersebut digunakan untuk membangun model kontinu prakiraan debit. Model korelasi dengan koefisien determinasi (R^2) terbesar dipilih untuk membangun data debit (Sabar, 2002).

2. Koreksi Penanggalan

Jumlah hari perbulan setiap tahun dapat berbeda, sehingga diperlukan koreksi penanggalan. Besar f_k adalah :

$$\text{Data hujan bulanan } f_k = 30,4167 / \text{jumlah hari dalam bulan} \quad (1)$$

3. Perhitungan Hujan Wilayah

Perhitungan curah hujan wilayah dilakukan dengan Metode Aritmatika untuk curah hujan wilayah bulanan dan curah hujan wilayah tahunan (Kamila dkk., 2016; Pradiko dkk., 2017).

keterangan :

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

\bar{R} = curah hujan daerah (mm)
 R_1, R_2, \dots, R_n = tinggi curah hujan masing-masing stasiun
 n = jumlah stasiun penakar hujan

(2)

Periode Ulang

Periode ulang mengacu pada waktu hipotetik suatu kejadian dengan nilai tertentu, akan disamai atau dilampaui 1 kali dalam jangka waktu hipotetik tersebut (Kamiana, 2011).

Penentuan Debit Andalan, Debit Rencana, Penentuan Tahun Kering, Normal dan Basah

Besaran debit dikonsepsikan menjadi debit yang diharapkan memenuhi kebutuhan pada setiap waktu dengan kemungkinan probabilitas tertinggi yang disebut debit andalan. Debit andalan dapat digunakan untuk menentukan debit rencana air baku. Sementara untuk menentukan tahun kering, normal dan basah digunakan metode diskrit Markov.

Prakiraan Debit Masa Depan

Ketidakpastian sistem hidrologi mengharuskan parameter inflow masa ini ditentukan dengan menggunakan beberapa metode peramalan (Ethan, 2009; Sudrajat, 2016; Hutagalung dan sabar, 2015).

1. Model Prakiraan Debit Masa Depan Korelasi Spartial Hujan-Debit (Kontinu)

Model prakiraan debit korelasi spasial dapat dilakukan dengan melakukan korelasi antara hujan dengan debit atau debit dengan debit, kemudian dicari koefisien determinasi paling tinggi, jika koefisien determinasi nilainya semakin mendekati 1 maka model prakiraan debit semakin mendekati nilai debit aktualnya.

2. Model Debit Prakiraan Masa Depan Diskrit-Markov

Probabilitas kejadian pada suatu waktu tertentu bergantung/ditentukan hanya dari kejadian waktu sebelumnya merupakan konsep dari metode diskrit Markov. Untuk membentuk matrik transisi, data dibagi dalam kelas yang ditetapkan berdasarkan kurva distribusi kumulatif. Besaran debit dalam matrik tiga kelas orde satu dibagi menjadi tiga yaitu debit kering (dinyatakan dengan 0), debit normal (dinyatakan dengan 1), dan debit basah (dinyatakan dengan 2).

3. Model Autoregresif *Integrated Moving Average* (ARIMA)

Mengabaikan independen variabel dalam membuat peramalan. Cocok digunakan jika observasi dari deret waktu (*time series*) secara statistik berhubungan satu sama lain (*dependent*)

Manajemen Waduk Riam Kanan

Waduk dioperasikan dengan pengelolaan sesuai kebutuhannya.

1. Lingkungan Ekonomi Waduk

Dalam pengoperasiannya manajemen waduk memiliki beberapa kendala/*constraint*, antara lain:

1. Kesetimbangan massa air, dimana ada batasan volume air dalam waduk sesuai dengan neraca massa

$$S_{t+1} = S_t + Q_{in} - Q_{out} - E$$

Keterangan: S_{t+1} = Volume air waduk
 S_t = Volume air pada waktu t
 Q_{in} = Debit air masuk
 Q_{out} = Debit air keluar
 E = Evaporasi

(4)

2. Batasan volume tampungan waduk, $S_{min} < S < S_{maks}$
3. Batasan debit masuk dan keluar, dimana debit masuk < daya tampung waduk dengan membuang kelebihan ke *spillway*, sedangkan debit keluar disesuaikan dengan kebutuhan air *downstream*.
4. Kendala operasional, dimana berbagai macam kendala seperti debit maksimum turbin yang diperbolehkan, biaya operasional, serta pemeliharaan alat dan sungai.

2. Pengoperasian Intuitif/Deterministik (*Avenir Connu*)

Pengusahaan ini memperlakukan fenomena yang terjadi sebagai sesuatu yang bersifat pasti (deterministik) dengan debit rencana.

3. Pengoperasian Optimal (*Avenir Aleatoire*)

Pengusahaan ini yang digunakan untuk mengantisipasi keacakan prakiraan debit masa depan dengan memanfaatkan memoar korelasi spasial komponen utama hidrologi (Sabar, 2002).

4. Program Dinamik Bellman

Dalam bentuk diskrit program dinamik Bellman, volume air yang tersimpan dalam waduk didiskritisasi menjadi sejumlah level untuk mendapatkan optimalitas global. Manajemen waduk menggunakan program dinamik Bellman dan metode iteratif "Du Coloir" yang ditemukan oleh Thirriot, Arwin, EDF-France, pada tahun 1991 untuk

mendapatkan keuntungan yang lebih tinggi dari produksi listrik dari sebuah waduk guna mencapai pengelolaan waduk optimal. Fungsi objektif metode ini adalah untuk memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dari produksi listrik dikalikan dengan unit harga dalam setiap bulannya.

$$G = \sum_1^{12} PV_i(t_i, S_i, T_i) \times NP_i$$

Keterangan: G = Keuntungan
 PV = Harga produksi
 NP = Niveau de prix (harga listrik)
 S = Volume air

(5)

(Marselina, 2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hidrologi yang digunakan adalah data curah hujan bulanan (mm) periode 1990-2016 seperti ditunjukkan pada Tabel 1 yang diambil pada 5 (lima) stasiun penakar hujan yang tersebar di wilayah DAS Riam Kanan yaitu Rantau Balai (P1) berkorelasi besar dengan Kalaan (P3), Tiwingan (P5) dan Belangian (P4) yang didapatkan dari PLTA Riam Kanan dan BMKG Banjarbaru.

Tabel 1. Ketersediaan Data Curah Hujan (1990-2016)

Pos	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Rantau Balai	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	x	√	√	√	x	x	√	√	x	x	x	√	√
Bunglai	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√	√	√	√	x	x	√	√	x	x	x	√	√
Kalaan	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	x	x	x	√	x	√	x	x	√	√	x	x	x	√	√
Belangian	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	x	√	x	√	x	√	x	x	√	√	x	x	x	√	√
Tiwingan Lama	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√	x	x	√	√	x	x	x	√	√

X Data tidak tersedia

√ Data tersedia

Sumber: PLTA Riam Kanan dan BMKG Banjarbaru 2017

Sedangkan untuk data debit di ambil dari pencatatan debit input (Qin) bulanan (m³) waduk PLTA riam kanan dari tahun 1990-2016 seperti ditunjukkan pada Tabel 2. pengisian data hujan yang kosong dilakukan dengan metode korelasi spasial antar pos hujan dimana korelasi tertinggi terpilih sebagai pos penjelas. dari pos penjelas yang terpilih, didapatkan persamaan regresi untuk pengisian hujan.

Tabel 2. Ketersediaan Data Debit (1990-2016)

Data Debit	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
DMA harian	X	√	√	X	√	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
DMA Bulanan	X	√	√	X	√	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Qin Harian	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Qout Harian	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Qin Bulanan	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Qout Bulanan	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	X	√	√	√	X	X	√	√	√	√	√	√
Q karang intan Bulanan	X	X	X	X	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X Data tidak tersedia

√ Data tersedia

Sumber: PLTA Riam Kanan dan BMKG Banjarbaru 2017

Keandalan Debit

Probabilitas keandalan sebuah data dari sejumlah data adalah nilai probabilitas kejadian dimana nilai yang terjadi adalah sama dengan atau lebih dari nilai data tersebut, atau ditulis $P(X \geq x)$. Dalam penelitian ini digunakan statistik hidrologi yang merupakan sekumpulan data stokastik atau (*random variabel*) dengan mengkaji data observasi historik. Perhitungan debit andalan Waduk Riam Kanan menggunakan durasi 30 hari untuk beberapa probabilitas keberhasilan.

Tabel 3. Keandalan debit bulanan waduk Riam Kanan (1990-2012)

Probabilitas Keandalan	Q (m ³ /s) 30 Hari
5%	97,8
10%	81,3
20%	67,4
50%	48,6
80%	36,3
90%	27,5
95%	19,3

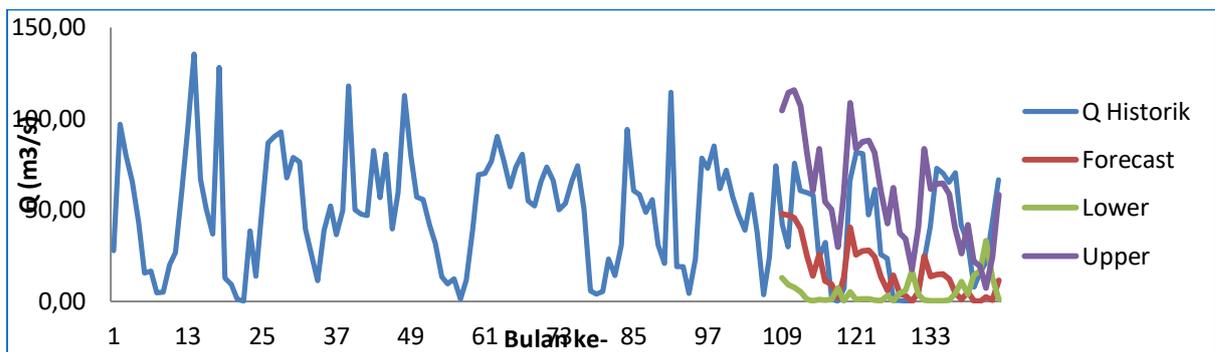
Sumber: Hasil Perhitungan

Model ARIMA

Model ini disebut juga metode runtun waktu Box-Jenkins. Metode ini cocok digunakan jika observasi dari deret waktu (time series) secara statistik berhubungan satu sama lain (dependent). Data dicek kestasionerannya, dan bila tidak lolos uji dilakukan proses transformasi dan differencing sebelum dilakukan uji plot ACF dan PACF. Model yang digunakan memiliki ordo $(p,d,q)(P,D,Q)^{12}$, kemudian dilakukan uji trial and error dengan nilai yang sesuai dengan kesimpulan plot ACF dan PACF sehingga model merupakan variasi dari $(p,d,q)(P,D,Q)^{12}$, yang memenuhi syarat:

1. $t \text{ hitung} > t \text{ tabel} \rightarrow t \text{ hitung} > \dots$
2. $P\text{-Value} < 0,05$
3. Uji *white noise* $P\text{-Value} > 0,05$

Dari uji trial and error, didapatkan model yang memenuhi syarat adalah model *Seasonal ARIMA* $(1,1,1)(0,1,1)_{12}$ sehingga model tersebut yang digunakan untuk peramalan.

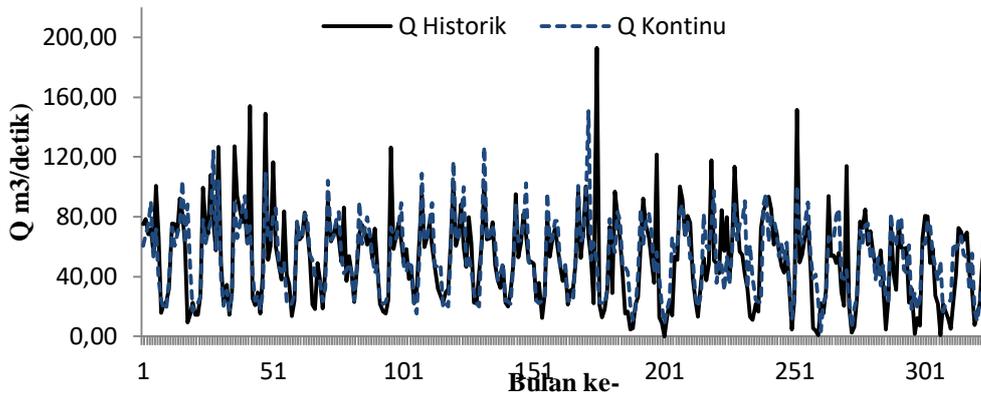


Gambar 1. Model ARIMA

Debit *forecast* kemudian dibandingkan dengan debit historik untuk mengetahui korelasinya. Korelasi antara debit historik dan debit *forecast* seasonal ARIMA bernilai 0,4835.

Model Spasial Korelasi Hujan dan Debit (Kontinu)

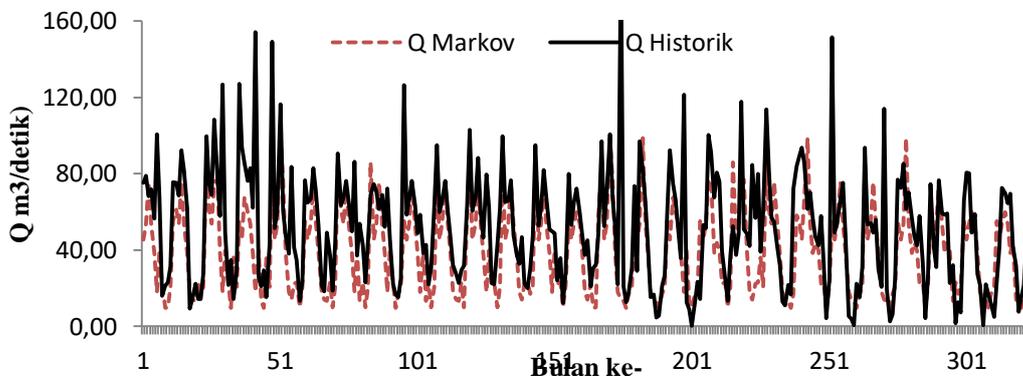
Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial kuarterner $Q_t = a.Q_{t-1} + b.P_1 + c.P_2 + d$ karena persamaan kuarterner memiliki koefisien korelasi antara debit prakiraan dengan debit historis yang lebih besar. Nilai-nilai koefisien korelasi hujan P dan debit Q dipergunakan dalam perhitungan model hujan-debit.



Gambar 2. Perbandingan debit prakiraan model Kontinu dan debit historis Waduk Riam Kanan 1990-2016

Model Diskrit Chain Markov Tiga Kelas Orde Satu

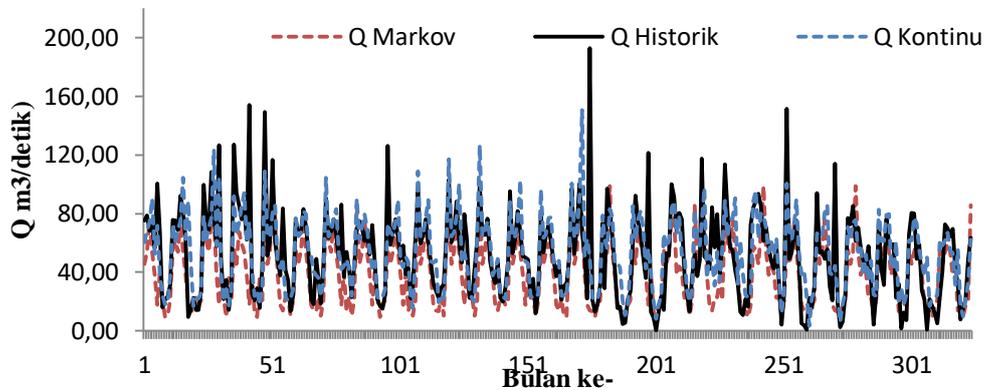
Dalam pengklasifikasian data debit, data debit tersebut dibagi secara diskrit menjadi tiga kategori, dengan mengurutkan data debit dari yang paling besar ke kecil. Kemudian dicari nilai batas kelas debit bulanan waduk Riam Kanan (1990-2016).



Gambar 3. Perbandingan debit prakiraan model Diskrit Markov dan debit historis Waduk Riam Kanan 1990-2016

Model prakiraan debit dengan metode Diskrit Markov 3 kelas memiliki nilai korelasi terhadap data historis nya 0,62 sedangkan metode kontinyu memiliki nilai korelasi yang lebih besar yaitu 0,72. Model prakiraan ketidakpastian masa depan metode Kontinu dianggap model yang lebih baik dibandingkan dengan metode Diskrit Markov.

Perbandingan kedua metode terhadap data historisnya seperti ditunjukkan pada Gambar.4.



Gambar 4. Perbandingan debit prakiraan model Diskrit Markov, kontinu dan debit historis Waduk Riam Kanan 1990-2016

Uji KAR dan RMS

Model-model bangkitan debit yang telah dihitung kemudian dibandingkan dengan debit historik untuk mendapatkan korelasi antarmodel bangkitan debit, Kesalahan Absolut Relatif (KAR) dan Tingkat Kesalahan Rata-rata (RMS).

Tabel 4. Perbandingan KAR dan RMS

Parameter		Model		
		Korelasi Spasial	Markov	ARIMA
Akurasi	R	0,7212	0,6246	0,4835
Error	KAR	0,0032	0,0023	0,0438
	RMS	0,0574	0,0421	0,2628

Lingkungan Ekonomi Waduk

Obyektifitas pengelolaan Waduk Riam Kanan untuk menjamin kebutuhan air di downstream dengan konstrain yaitu :

Keseimbangan Massa

$$St+1 = St + Qin - Qt$$

Batasan Stock

$$0 \leq St \leq 492 \text{ Mm}^3$$

Elevasi Muka air

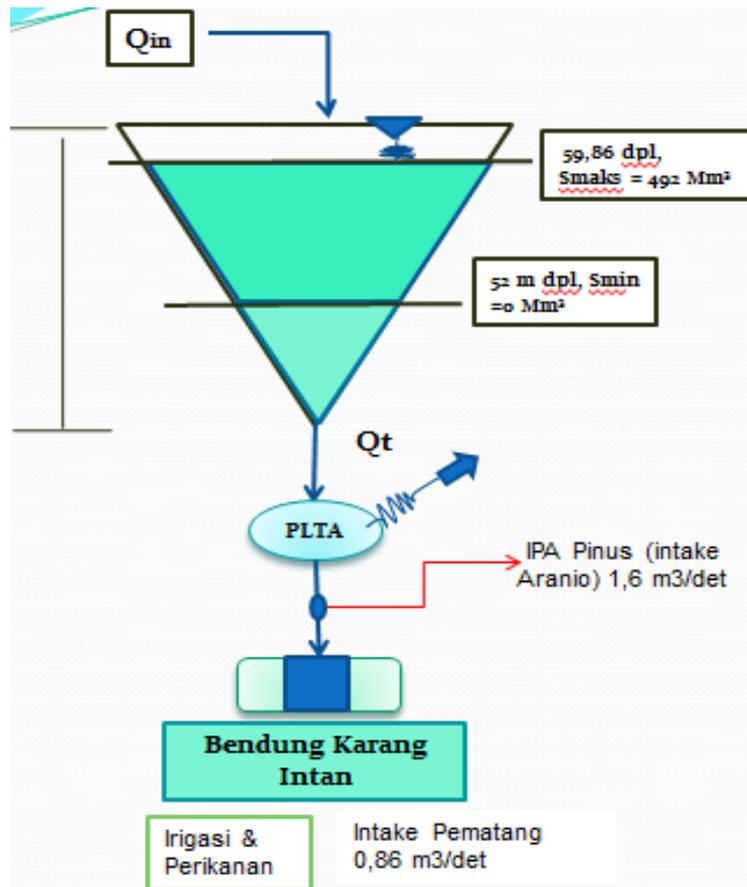
$$52 \leq H_t \leq 59,86 \text{ m dpl}$$

Batasan Turbin

$$25,42 \text{ m}^3/\text{det} < Q_{\text{Out}} < Q_{\text{maks}} (85,6 \text{ m}^3/\text{det})$$

$$R_{10} = 27,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R_{20} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (Hasil Perhitungan)}$$



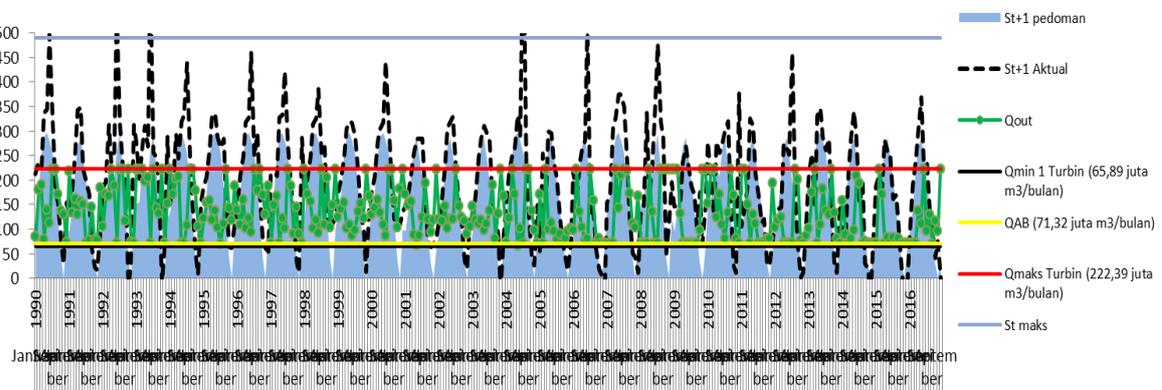
Gambar 5. Lingkungan Ekonomi Waduk Riam Kanan

Manajemen Optimal Waduk Riam Kanan

Pengelolaan deterministik (*certainty*) dianggap tidak adaptif terhadap masa depan karena tidak memperhatikan sifat debit yang datang yaitu acak dan stokastik. Sehingga diperlukan pengelolaan waduk secara optimal (*Avenir Uncertaine*) dimana pengelolaan ini adalah pengelolaan waduk jangka panjang dengan memperhitungkan jenis tahun yang terjadi (kering, normal atau basah) serta debit masa depan dalam penentuan prediksi debit yang akan datang.

1. Model Diskrit Markov

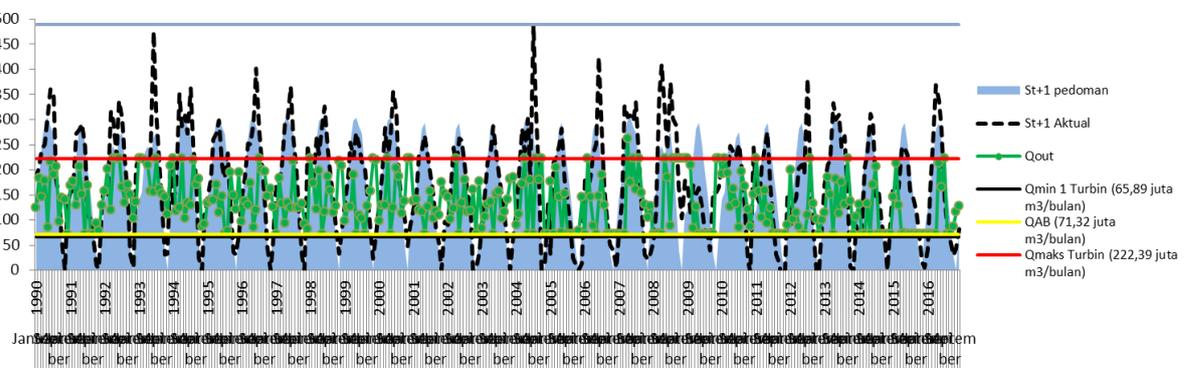
Pengusahaan waduk model Diskrit Markov menggunakan lintasan pedoman dari debit Diskrit Markov 3 kelas, model prakiraan debit masa depan Diskrit Markov, dan penentuan tahun kering, normal dan basah ditentukan dengan menggunakan metoda ranking (Weibull) dan matriks Markov tahunan Pada simulasi pengusahaan waduk optimal metode Markov seperti ditunjukkan pada Gambar 5, dihasilkan nilai korelasi dan koefisien korelasi antara lintasan pedoman dengan lintasan aktualnya mendekati 1 yaitu sebesar 0,846.



Gambar 5. Simulasi pola pengusahaan optimal Waduk Riam Kanan Menggunakan Model Markov

2. Model Kontinu

Pada simulasi pengusahaan waduk optimal metode kontinu seperti ditunjukkan pada Gambar 6, dihasilkan nilai korelasi dan koefisien korelasi antara lintasan pedoman dengan lintasan aktualnya mendekati 1 yaitu sebesar 0,852.

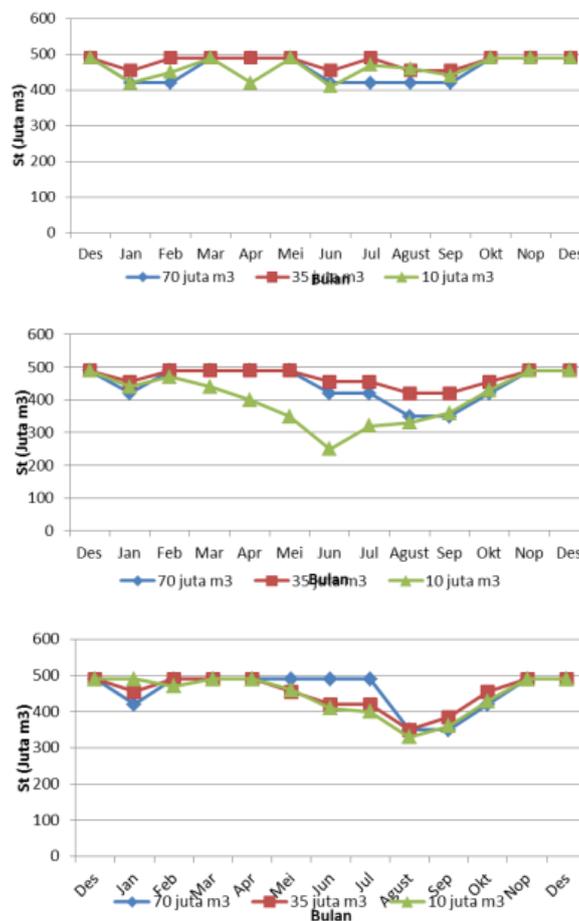


Gambar 6. Simulasi pola pengusahaan optimal Waduk Riam Kanan Menggunakan Model Kontinu

Dari kedua simulasi yang dilakukan, didapatkan hasil korelasi yang terbesar dari model kontinu, sehingga dapat disimpulkan bahwa pola pengusahaan optimal waduk Riam Kanan dapat dicapai menggunakan model kontinu.

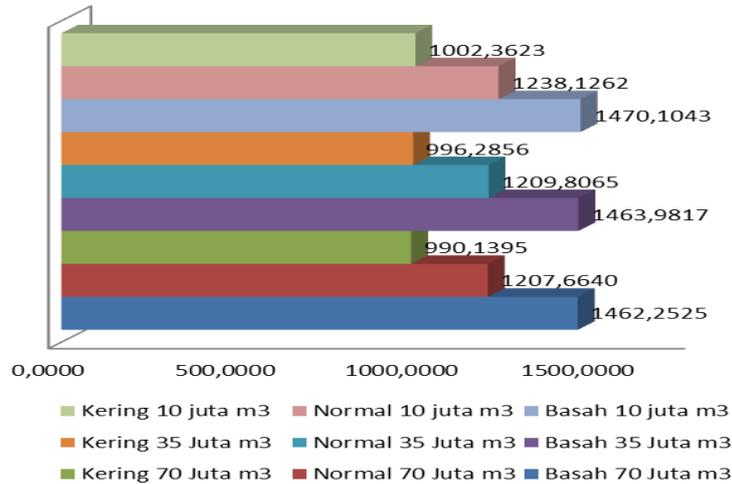
Pengelolaan Optimal Waduk Riam Kanan dengan Harga Listrik Bervariasi

Harga listrik yang dimaksud dalam penelitian ini adalah nilai energi listrik yang dihasilkan dari turbin, di mana pada kondisi harga listrik bervariasi, nilai energi listrik yang dihasilkan dari turbin berbeda setiap bulannya $[NP = F(t)]$. Nilai harga listrik yang bervariasi setiap bulan dalam penelitian ini mengacu pada harga listrik akademis berdasarkan penelitian Arwin dan M. Bourqueil (1992). Simulasi dilakukan dengan diskritisasi sebesar 70, 35 dan 10 juta m^3 dengan pola pengoperasian tahun basah, normal, dan kering.



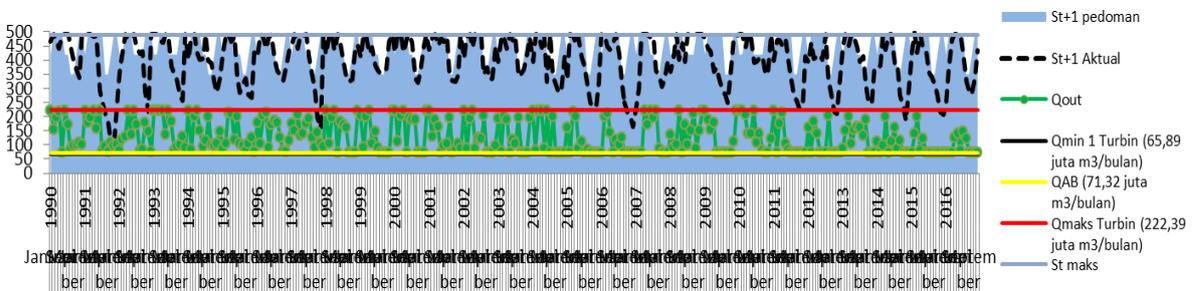
Gambar 8. Pola Pengoperasian Waduk Tahun Basah, Kering, dan Normal dengan Tahapan Program Dinamik Diskritisasi 70, 35, dan 10 Juta m^3

Nilai *gain* dari setiap pengoperasian waduk dalam tahun basah, kering, dan normal dapat dilihat pada Gambar 9.

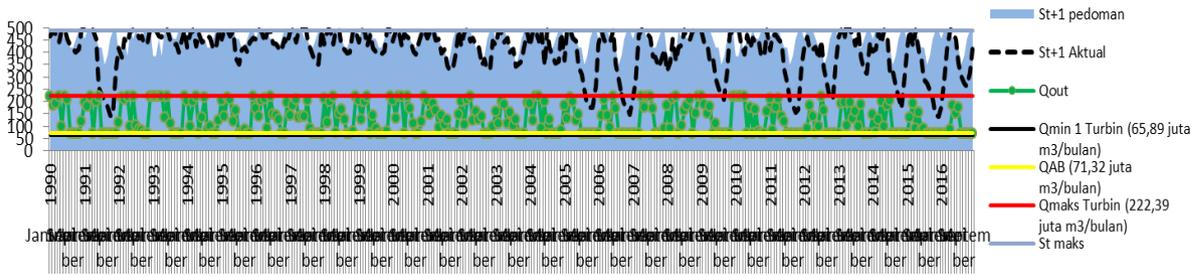


Gambar 9. Nilai *Gain* pada Pola Pengoperasian Waduk Tahun Basah, Kering, dan Normal

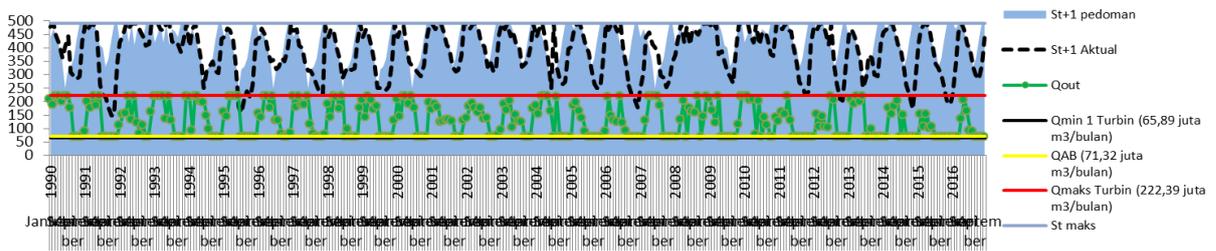
Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai *gain* untuk setiap debit cenderung semakin meningkat seiring dengan semakin kecilnya nilai delta yang digunakan. Di samping itu, dapat dilihat bahwa nilai *gain* yang terbesar diperoleh saat debit basah kemudian debit normal dan kering. Setelah lintasan dan gain didapatkan, maka dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui korelasi antara nilai stok aktual dengan stok pedoman model pengusahaan listrik harga berubah, seperti terlihat pada Gambar 10-12 berikut.



Gambar 10. Simulasi Pola Pengusahaan Optimal Waduk Riam Kanan Menggunakan Model Kontinu dengan Harga Berubah Diskritisasi Volume $\Delta 70$ Juta m^3



Gambar 11. Simulasi Pola Pengusahaan Optimal Waduk Riam Kanan Menggunakan Model Kontinu dengan Harga Berubah Diskritisasi Volume $\Delta 35$ Juta m^3



Gambar 12. Simulasi Pola Pengusahaan Optimal Waduk Riam Kanan Menggunakan Model Kontinu dengan Harga Berubah Diskritisasi Volume $\Delta 10$ Juta m^3

Didapatkan korelasi untuk diskritisasi $\Delta 70$, 35 dan 10 juta m^3 sebesar $0,3810$; $0,3822$ dan $0,4700$, membuktikan bahwa semakin besar diskritisasi, semakin besar korelasi yang didapatkan antara St pedoman dan St aktual.

KESIMPULAN

Model prakiraan debit dengan metode korelasi spasial hujan-debit memiliki nilai korelasi terhadap data historis bulannya sebesar $0,7212$ sedangkan model diskrit Markov sebesar $0,6246$ dan ARIMA sebesar $0,4385$ sehingga model debit prakiraan masa depan metode kontinyu bulanan dianggap lebih mendekati dengan debit historisnya. Untuk prakiraan debit 3 bulanan didapat korelasi untuk model kontinyu sebesar $0,7081$ dan diskrit markov sebesar $0,6781$. Untuk prakiraan debit tahunan didapat korelasi model kontinyu sebesar $0,4307$ dan diskrit markov sebesar $0,2613$.

Dari perbandingan dua model pola pengusahaan waduk optimal untuk Waduk Riam Kanan yaitu model Kontinyu dan Model Markov, model kontinyu adalah model pengoperasian waduk yang paling optimal dibandingkan model Markov. Hal Ini karena dalam simulasi didapatkan nilai korelasi $St+1$ pedoman dan aktual untuk debit kontinyu

sebesar 0,852 sedangkan untuk debit Markov sebesar 0,846 Sehingga dari penelitian ini diketahui bahwa pola pengusahaan waduk optimal model Kontinu dianggap lebih adaptif terhadap ketidakpastian masa depan pengelolaan Waduk Riam Kanan.

Semakin besar diskritisasi terhadap volume waduk, semakin besar Gain yang didapat, terbukti untuk diskritisasi 70 juta meter kubik didapat Gain sebesar 1462,2525; 1207,6640 dan 990,1395 untuk R5 Basah, R2 Normal dan R5 Kering, sedangkan untuk diskritisasi sebesar 35 juta meter kubik didapat Gain sebesar 1463,9817; 1209,8065 dan 996,2856 untuk R5 Basah, R2 Normal dan R5 Kering dan untuk diskritisasi sebesar 10 juta meter kubik didapat Gain sebesar 1470,1043, 1238,1262 dan 1002,3623 untuk R5 Basah, R2 Normal dan R5 Kering. Adapun korelasi untuk diskritisasi $\Delta 70$, 35 dan 10 juta m^3 adalah 0,3810; 0,3822 dan 0,4700, membuktikan bahwa semakin besar diskritisasi, semakin besar korelasi yang didapatkan antara St pedoman dan St aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A. V., & Oginawati, K. (2019). Residue of Organophosphate Insecticide in Strawberry. *Research of environmental science and engineering*, 1(1), 14-18.
- Aprillia, R., & Sabar, A. (2014). Kajian Rezim Hidrologi dan Salinitas DAS Landak-Kapuas dalam Rangka Pengembangan Sumber Air Baku Spam Regional Pontianak-Zona Hujan Equatorial. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2), 183-193.
- Blokhin, Andriy (2015): What Is The Utility Function And How Is It Calculated?, data diperoleh melalui situs internet:<http://www.investopedia.com/ask/answers/072915/what-utility-function-and-how-it-calculated.asp>. Diunduh pada tanggal 17 Mei 2016
- Chen, Zhuliang, Peter A. Forsyth (2008): Pricing Hydroelectric Power Plants with/without Operational Restrictions: a Stochastic Control Approach, University of Waterloo.
- Dinahkandy, Irma (2015): Optimalisasi Pengelolaan Waduk PLTA Riam Kanan Memenuhi Laju Permintaan Sumber Air SPAM Banjar Bakula – PDAM Intan Banjar Kalimantan Selatan (2010-2030), Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Etkin, Derek (2009): Utilizing Seasonal Forecasts to Improve Reservoir Operations in the Comoé River Basin, Thesis of Environmental and Water Resources Engineering, TUFTS University.
- Kamiana, I.M. (2011): Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air, Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Kamila, N., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). Perencanaan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Ecodrainage) Di Kelurahan Jatisari, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 63-72.
- Marselina, Mariana, Arwin Sabar, Indah R.S. Salami, Dyah Marganingrum. (2016): Management Optimization of Saguling Reservoir with Dynamic Programming Bellman and “Du Couloir” Iterative Method, *Forum Geografi*, 30 (I), 14-23

- Pradiko, H., Sabar, A., Soewondo, P., Suryadi, Y., & Jatikusuma, I. (2017). Model Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan Skala Individu di Lahan Permukiman Kawasan Bandung Utara. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), 83-90.
- Sabar, Arwin (2002): Tren Global Pembangunan Infrastruktur Sumber Daya Air yang Berkelanjutan dalam Rangka Diskusi Pakar Perumusan Kebijakan Eco-Efficient Water Infrastructure Indonesia, Direktorat Pengairan dan Irigasi – Bappenas, 2-35.
- Sabar, Arwin (2009): Perubahan Iklim, Konversi Lahan dan Ancaman Banjir dan Kekeringan di Kawasan Terbangun. Pidato Ilmiah Guru Besar, ITB Bandung.
- Sudradjat, A. (2016). Kajian Awal Penetapan Teknologi Low Impact Development/Green Infrastructure Pada Pengelolaan Limpasan Hujan Menggunakan Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus: Das Citarum Hulu Bukan Kota). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 92-103.
- Triane, D., & Suharyanto, S. (2015). PEMODELAN KUALITAS AIR MENGGUNAKAN MODEL QUAL2K (Studi Kasus: DAS Ciliwung). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(2), 190-200.
- Villazón, Mauricio F., Patrick Willems (2010): Filling gaps and Daily Disaccumulation of Precipitation Data for Rainfall-runoff model, Procceding at: 4th International Scientific Conference on Water Observation and Information Systems for Decision Support, Ohrid, Republic of Macedonia, BALWOIS, 1-9
- Hutagalung, S. E. M., & Sabar, A. (2015). MODEL PRAKIRAAN DEBIT AIR DALAM RANGKA OPTIMALISASI PENGELOLAAN WADUK KEDUNG OMBO. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 21(1), 77-86.

