

MODEL PRAKIRAAN DEBIT AIR DALAM RANGKA OPTIMALISASI PENGELOLAAN WADUK KEDUNG OMBO

FORECASTING INFLOW DISCHARGE MODEL FOR OPTIMIZATION OF KEDUNGOMBO DAM MANAGEMENT

Shanty Elizabeth Maretina Hutagalung¹ dan Arwin Sabar²

Program Magister Pengelolaan Infrastruktur Air Bersih dan Sanitasi
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

¹shanty.hutagalung@gmail.com dan ²arwinsabar@yahoo.com

Abstrak: Pemanfaatan Waduk Kedung Ombo (WKO) sebagai waduk multiguna ternyata masih belum optimal. Hal ini ditandai dengan terjadinya kekurangan air di hilir pada musim kering, dan air melimpas pada musim hujan. Padahal bila dikelola dengan optimal, WKO bisa sebagai sumber air baku dalam pengembangan sistem penyediaan air minum (SPAM) karena hingga saat ini WKO hanya digunakan terbatas untuk irigasi dan PLTA. Adanya permasalahan terhadap ketidakpastian masa depan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian pola pengusahaan waduk Kedung Ombo optimal untuk standar operasional Waduk. Pendekatan yang dilakukan dalam pengelolaan waduk adalah dengan metode korelasi spasial (hujan dan debit dan metode diskrit markov yang menggunakan prinsip model stokastik markov 3 kelas. Dengan menggunakan data debit inflow WKO dari tahun 1991-2011 didapatkan beberapa hasil prakiraan debit masa depan dengan menggunakan dua komponen hidrologi yaitu hujan dan debit. Pada metode korelasi spasial hujan dan debit dilakukan dengan menguji 5 kombinasi komponen hujan dan debit untuk kemudian dipilih yang mempunyai hasil korelasi tertinggi terhadap debit aktualnya. Dari perhitungan diketahui bahwa kombinasi tipe PQQQ yang mempunyai nilai korelasi tertinggi, yaitu 0,87 sedangkan untuk metode markov didapatkan hasil yang sangat baik dengan koefisien korelasi 0,958. Kemudian nantinya metode markov ini akan digunakan dalam perhitungan manajemen waduk optimal dalam rangka melihat potensi WKO sebagai sumber air baku bagi SPAM di wilayah sekitarnya.

Kata kunci: waduk kedung ombo, korelasi spasial, hujan, debit prakiraan

Abstract: The utilization of Kedung Ombo Reservoir (WKO) as a multipurpose reservoir was considered suboptimum. It is clearly shown by the water shortages at the downstream in the dry season, and an overflowed water during the rainy season. If it is managed optimally, WKO can be utilized as a raw water source in the development of drinking water supply system (SPAM) albeit it is only limited to be used for irrigation and hydropower plant today. The uncertainty of the future draws the urgency for a proper study on how to optimize the operational of Kedung Ombo reservoir as standardized operational procedure. The approach taken in the management of the reservoir is the spatial correlation method (rainfall – discharge, and Markov discrete method which uses a model that applies the principal of Markov stochastic model 3 classes. By using the inflow discharge data of WKO, taken from the years of 1991-2011, the forecasted discharge value for the future can be obtained through two hydrological components which is rainfall and discharge. The method of the spatial correlation of rain-discharge has five sets of combinations between rain and discharge, where the results with the highest correlation number to its actual value will be opted. From the calculation it is known that the combination of PQQQ type has the highest correlation value, which is 0.87, whereas for the Markov method it obtained a very good results with a correlation coefficient of 0.958. Later on, the Markov method will be used in the optimal reservoir management calculation in order to see the potential of WKO as a source of raw water for SPAM in the surrounding region.

Keywords: Kedung Ombo dam, spatial correlation, presipitation, forecasted water discharge

PENDAHULUAN

Alokasi air adalah kekhawatiran di negara berkembang di mana sumber daya air yang terbatas yang terbatas dan permintaan yang lebih besar dengan lebih banyak pihak (Read et.al, 2014). Waduk menyediakan pasokan air, perlindungan banjir, dan manfaat pembangkit listrik

tenaga air (Null et.al, 2014). Keberadaan waduk dapat membuat penggunaan sumber daya air untuk masyarakat manusia lebih efisien sehingga pengoperasian waduk secara optimal, dianggap penting. Sebuah model optimal waduk multi guna diusulkan untuk mengurangi konflik antara penggunaan air dan kerusakan lingkungan (Xu et.al , 2014)

Sumber daya air adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui melalui siklus hidrologi dan merupakan fungsi ruang dan waktu (Arwin, 2009). Sumber Air dapat diperbarui melalui siklus hidrologi, dipengaruhi oleh iklim, konversi lahan membentuk rezim hidrologi tercatat di observasi Komponen Pos Hujan, pos Debit Air dan MSL dimana komponennya berkarakter acak dan stokastik, sedangkan pada kemiringan relatif landai pembuangan air dari daratan laut merupakan fenomena deterministik.

Pengetahuan tentang beberapa periode hujan diperlukan untuk desain struktur hidrolis seperti perlindungan banjir, infrastruktur air minum dan sistem saluran drainase (Benabdesslem, 2013). Hubungan antara hujan dan debit merupakan dasar peramalan yang tepat untuk pengoperasian proyek hidrolis dan untuk memperpanjang data debit.

Untuk dapat meramalkan debit dimasa depan secara akurat atau mendekati kenyataan dilapangan, dibutuhkan ketepatan pemilihan metode perhitungan serta data input yang memadai. Komponen hidrologi yang mendasari peramalan debit yang paling banyak digunakan adalah komponen hujan dan debit karena dari hasil penelitian kedua komponen tersebut adalah komponen yang paling berpengaruh terhadap ketersediaan debit dibanding komponen hidrologi lainnya. Oleh karena itu dalam penelitian ini kemudian kedua komponen tersebut (hujan dan debit) kemudian dimodifikasi menjadi beberapa alternatif untuk kemudian dilihat kombinasi yang menghasilkan nilai korelasi yang tertinggi.

Metode yang digunakan dalam perhitungan ini akan dibahas lebih lanjut dalam metode penelitian. Akan tetapi secara umum, melihat dari sifatnya di alam, dapat dibuat hipotesis awal bahwa alternatif yang menggunakan kombinasi debit (q) akan menghasilkan nilai korelasi yang lebih baik karena sifat debit yang lebih dependen dibandingkan sifat hujan yang bersifat acak.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian yang berupa Waduk Kedung Ombo yang terletak di wilayah Kabupaten Sragen yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Penelitian akan membahas tentang rencana pengembangan infrastruktur sumberdaya air dengan memanfaatkan Waduk Kedung Ombo sebagai waduk multiguna yaitu untuk memenuhi kebutuhan air baku minum terutama untuk pengembangan zona utama serta kebutuhan irigasi dan perikanan dan PLTA.

Data curah hujan dan debit pada penelitian ini diambil dari pos pos pencatatan hujan dan debit yang ada di DAS Waduk Kedung Ombo dan Sungai Serang. Data yang didapatkan tidak selalu lengkap sehingga diperlukan perhitungan regresi linier untuk memperkirakan data kosong (Abatzoglou, 2009). Teknik pengisian data kosong pada penelitian ini menggunakan korelasi spartial empat variabel dimana tiga pos hujan menjadi penjelas dan satu pos hujan lagi menjadi yang dijelaskan. Korelasi terbesar antar stasiun dipilih sebagai stasiun pengisi dan dibuatkan persamaan regresi sebagai persamaan pengisian data hujan. Untuk melengkapi data debit juga digunakan korelasi spartial empat variabel dimana dua pos hujan dan satu pos debit sebagai penjelas.

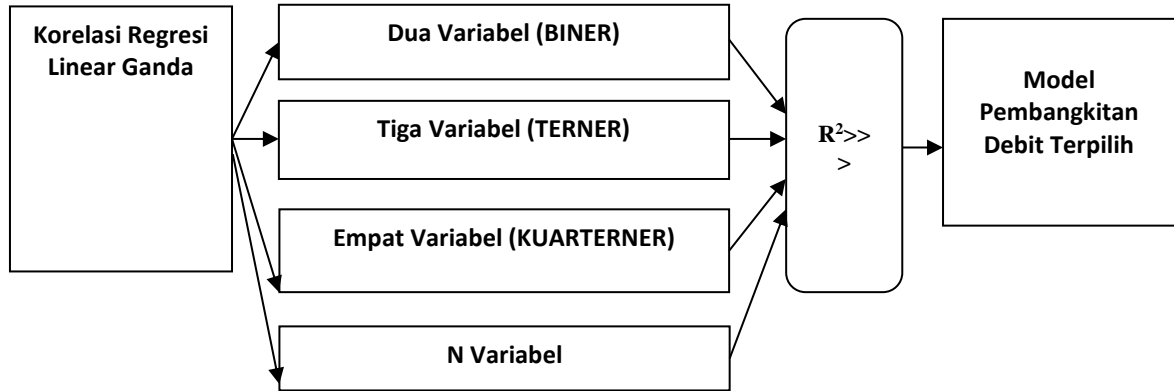
Hujan (P) dan debit (Q) merupakan komponen hidrologi dan merupakan dua variabel acak yang penting. Hujan yang jatuh pada suatu DAS mempunyai pengaruh yang bervariasi dalam ruang dan waktu, terhadap debit sungai. Distribusi besaran hujan dipengaruhi oleh topografi, morfologi, kemiringan, dan angin Monsoon yang mempengaruhi iklim kepulauan Indonesia.

Model kontinu hujan-debit didasarkan pada korelasi antara stasiun hujan dengan stasiun debit. Dari penelitian diketahui bahwa model korelasi yang melibatkan empat variabel hidrologi, lebih efektif dalam menentukan hubungan antar hujan-debit. Hubungan dengan lebih dari empat variabel tidak memberikan hasil yang berarti (kenaikan koefisien determinasi relatif kecil).

Hubungan hujan dan debit sungai merupakan dasar peramalan yang tepat untuk pengoperasian proyek-proyek pengembangan sumber daya air dan perluasan data debit aliran sungai. Data pengukuran debit sungai sering kali tidak lengkap. Salah satu cara yang digunakan

untuk melengkapinya adalah dengan cara regresi linier berganda menggunakan korelasi sparsial $F(x,y,z,t)$ komponen utama hidrologi (P dan Q), (Arwin, 2002).

Model kontinu prakiraan debit menggunakan metode korelasi regresi linier ganda (Arwin, 2002) dibangun berdasarkan korelasi antara dua variabel acak, yaitu data stasiun pengamat hujan (P) dan data stasiun pengamat debit (Q). Model dengan nilai koefisien determinasi (R^2) terbesar dipilih sebagai model yang paling baik untuk membangun data debit (**Gambar 1**).



Gambar 1 Model kontinu prakiraan debit masa depan (Arwin, 2002)

Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa model korelasi sederhana yang melibatkan empat variabel hidrologi lebih efektif dalam menentukan hubungan antara variasi hujan dan debit. Hubungan dengan lebih dari empat variabel tidak memberikan efek yang berarti artinya kenaikan koefisien determinasinya relatif kecil (Arwin, 2002).

Model Terner (Korelasi Tiga Variabel Acak)

Model kontinu terner terdiri dari 3 (tiga) variabel siklus hidrologi tipe ketautan model terner terdiri dari dua stasiun penjelas (X_2 dan X_3) untuk menjelaskan satu stasiun yang dijelaskan (X_1). Skema korelasi antara ketiga stasiun tersebut dijelaskan pada Gambar II.19

Persamaan regresi linier dari model terner dinyatakan sebagai berikut (Arwin, 2002) :

$$x_1 = r_2x_2 + r_3x_3 + \varepsilon$$

dengan :

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}, \quad i = 1, 2 \text{ dan } 3$$

Koefisien korelasi parsial diekspresikan sebagai berikut (Arwin, 2002):

$$r_2 = \frac{\rho_{12} - \rho_{13}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2}$$

$$r_3 = \frac{\rho_{13} - \rho_{12}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2}$$

Persamaan koefisien determinasi model terner dituliskan sebagai berikut (Arwin, 2002):

$$R^2 = \frac{\rho_{12}^2 + \rho_{13}^2 - 2\rho_{12}\rho_{13}\rho_{23}}{1 - \rho_{23}^2}$$

$$\varepsilon^2 = 1 - R^2$$

Model terner dapat digunakan pada DAS untuk pengelolaan waduk dengan ketidakpastian masa yang akan datang. Model ini terdiri dari tiga tipe yaitu model terner tipe PP(Q1), tipe PQ(Q1), dan tipe QQ(Q1).

Model Kuaterner (Korelasi Empat Variabel Acak)

Model kuaterner terdiri dari empat stasiun hidrologi yaitu tiga stasiun penjelas (X2, X3, dan X4,) dan satu stasiun yang akan dijelaskan (X1). Skema korelasi model ini dapat dituliskan sebagai berikut :

Persamaan regresi linier model kuaterner dinyatakan sebagai berikut (Arwin, 2002):

$$x_1 = r_2x_2 + r_3x_3 + r_4x_4 + \epsilon$$

dengan :

$$\sum x_1x_j = r_2 \sum x_2x_j + r_3 \sum x_3x_j + r_4 \sum x_4x_j$$

Asumsi $E(\epsilon x_j) = 0$ untuk $j = 2,3, \text{ dan } 4$.

Nilai r_i dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Yule Walker sebagai berikut :

$$\begin{vmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{24} \\ \rho_{23} & 1 & \rho_{34} \\ \rho_{24} & \rho_{34} & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} r_2 \\ r_3 \\ r_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \rho_{12} \\ \rho_{13} \\ \rho_{14} \end{vmatrix}$$

Koefisien determinasi R^2 dan kesalahan relatif ϵ dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = 1 + r_{22} + r_{32} + r_{42} - 2(r_2\rho_{12} + r_3\rho_{13} + r_4\rho_{14}) + 2(r_2r_3\rho_{23} + r_2r_4\rho_{24} + r_3r_4\rho_{34})$$

$$R^2 = 1 - \epsilon^2$$

Model kuaterner dapat digunakan pada DAS untuk pengelolaan waduk air dengan ketidakpastian masa yang akan datang. Model ini terdiri dari empat tipe yaitu model kuaterner tipe PPP(Q1), tipe PPQ(Q1), tipe PQQ(Q1).

Model Diskrit Markov 3 Kelas Orde 1

Konsep Stokastik Chain Markov :

- Terdiri dari dua tarikan :
 - Tarikan pertama menentukan kondisi
 - Tarikan kedua menentukan besaran
- Probabilitas kejadian pada suatu waktu tertentu bergantung / ditentukan hanya dari kejadian waktu sebelumnya.

Karena data debit bersifat stokastik, maka pendekatan dengan model markov dibuat melalui pembuatan matrik transisi untuk menjelaskan mengenai nilai probabilitas (ketidakpastian) kejadian besaran debit tertentu dimanajumlah probabilitas seluruh kejadian sama dengan 1.

Kedua matrik P diatas disebut matrik transisi homogen atau matriks stokhastik karena semua transisi probabilitas P_{ij} adalah tetap dan independen terhadap waktu. Probabilitas P_{ij} harus memenuhi kondisi :

$$\sum_j P_{ij} = 1 \text{ untuk seluruh nilai } i ;$$

$$P_{ij} \geq 0 \text{ untuk seluruh nilai } i \text{ dan } j$$

Tabel 1. Matrik transisi orde satu (Arwin, 2002)

Kondisi Debit Waktu t_{n-1}	Kondisi Debit Waktu t_n				
	0	1	2	...	N
0	P_{00}	P_{01}	P_{02}	...	P_{0N}
1	P_{10}	P_{11}	P_{12}	...	P_{1N}
2	P_{20}	P_{21}	P_{22}	...	P_{2N}
...
N	P_{N0}	P_{N1}	P_{N2}	...	P_{NN}

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan bulanan (mm) periode 1991-2011 seperti ditunjukkan pada **Tabel 2** yang diambil pada 3 (tiga) stasiun penakar hujan yang tersebar di wilayah DAS Kedung Ombo yaitu Sambi (P1), Kemusu (P2), Karang Gede (P3), yang didapatkan dari BMKG Semarang. 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 hujan (1990-2011)

Stasiun Hujan	Tahun																						
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	
P1	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
P2	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v			v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
P3	v	v	v	v	v	v	v											v	v	v	v	v	v

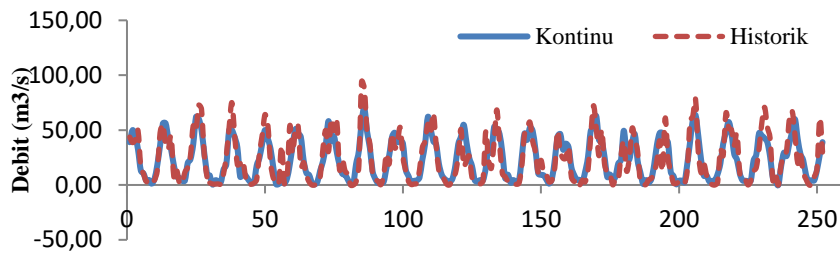
Simulasi tipe PQ(Q1)

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial terner $Q_t = a.Q_{t-1} + b.P_x + c$ dengan menggunakan 1 variabel hujan yang terkuat dan satu variabel data debit (debit bulan sebelumnya (Q_{t-1})). Hal ini untuk melihat bagaimana korelasi dari satu data hujan dan satu data debit terhadap hasil prakiraan (jumlah P dan Q sama besar). Simulasi dilakukan dengan software SPSS dan didapatkan hasil pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persamaan prakiraan debit tipe PQ(Q1)

Bulan	Persamaan	R
Januari	$Q_{jan} = (-0.067)P1 + (-0.016)Q_{des} + 73.192$	0.49
Februari	$Q_{feb} = (-0.025)P3 + (0.512)Q_{jan} + 34.692$	0.536
Maret	$Q_{mar} = (-0.017)P3 + (0.088)Q_{feb} + 44.816$	0.211
April	$Q_{apr} = (0.039)P3 + (0.226)Q_{mar} + 11.195$	0.44
Mei	$Q_{mei} = (0.049)P1 + (0.199)Q_{apr} + 2.588$	0.529
Juni	$Q_{jun} = (-0.039)P1 + (0.072)Q_{mei} + 9.229$	0.353
Juli	$Q_{jul} = (0.025)P3 + (0.404)Q_{jun} - 0.381$	0.793
Agustus	$Q_{agt} = (-0.025)P1 + (0.041)Q_{jul} + 4.404$	0.282
September	$Q_{sept} = (0.052)P1 + (-0.146)Q_{agt} + 2.122$	0.739
Oktober	$Q_{okt} = (0.036)P2 + (1.104)Q_{sept} + 0.22$	0.617
Nopember	$Q_{nov} = (0.018)P3 + (0.385)Q_{okt} + 12.872$	0.316
Desember	$Q_{des} = (0.054)P2 + (0.18)Q_{nov} + 13.918$	0.538

Dari hasil perhitungan nilai korelasinya terhadap debit aktual adalah 0,856 dan kalibrasi terhadap debit aktual dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Perbandingan debit antisipatif model PQQ dan debit historis Waduk Kedung Ombo 1991-2011

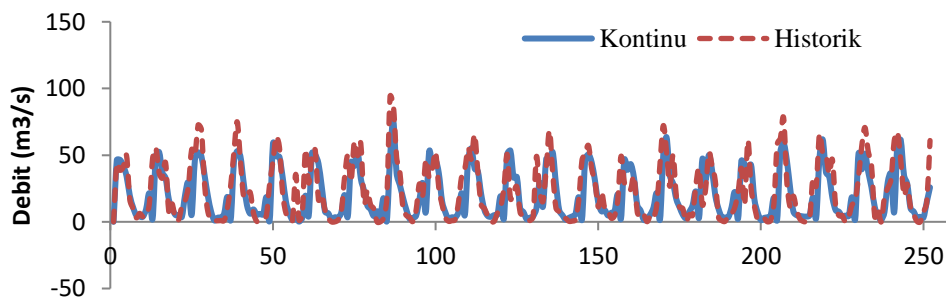
Simulasi Tipe QQ(Q1)

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial terner $Q_t = a \cdot Q_{t-1} + b \cdot Q_{t-2} + c$ dengan menggunakan 0 variabel hujan dan dua variabel data debit, yaitu debit bulan sebelumnya (Q_{t-1}) dan debit dua bulan sebelumnya (Q_{t-2}). Hal ini untuk melihat bagaimana korelasi dari dua data debit terhadap hasil prakiraan tanpa memasukkan variabel data hujan (variabel penentu hanya Q).

Hasil dari perhitungan dengan tipe ini dapat dilihat dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil perhitungan tipe QQ(Q1)

Bulan	Persamaan	R
Januari	$Q_{jan} = (0.281)Q_{nov} + (-0.049)Q_{des} + 44.829$	0.239
Februari	$Q_{feb} = (-0.093)Q_{des} + (0.569)Q_{jan} + 26.089$	0.496
Maret	$Q_{mar} = (-0.387)Q_{jan} + (0.285)Q_{feb} + 47.912$	0.391
April	$Q_{apr} = (-0.162)Q_{feb} + (0.212)Q_{mar} + 31.662$	0.329
Mei	$Q_{mei} = (0.185)Q_{mar} + (0.254)Q_{apr} - 0.58$	0.448
Juni	$Q_{jun} = (0.154)Q_{apr} + (-0.006)Q_{mei} + 3.37$	0.293
Juli	$Q_{jul} = (0.08)Q_{mei} + (0.365)Q_{jun} - 0.249$	0.737
Agustus	$Q_{agt} = (0.181)Q_{jun} + (-0.224)Q_{jul} + 2.947$	0.114
September	$Q_{sep} = (0.454)Q_{jul} + (-0.09)Q_{agt} + 3.002$	0.378
Oktober	$Q_{okt} = (-0.102)Q_{agt} + (1.335)Q_{sep} + 4.946$	0.541
Nopember	$Q_{nov} = (0.73)Q_{sep} + (0.179)Q_{okt} + 17.785$	0.326
Desember	$Q_{des} = (0.192)Q_{okt} + (0.054)Q_{nov} + 0.683$	0.562



Gambar 3. Perbandingan debit antisipatif model QQ(Q) dan debit historis Waduk Kedung Ombo 1991-2011

Hasil perhitungan dengan tipe ini didapatkan nilai korelasinya dengan Q_{aktual} adalah sebesar 0,7354 dan hasil kalibrasinya dapat dilihat pada gambar 3.

Simulasi Tipe PQQ(Q1)

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial kuarterner $Q_t = a + P_1 + b \cdot Q_{t-1} + c \cdot Q_{t-2} + d$ 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 dimana variabel P yang diperhitungkan hanya dari 1 pos pengamatan yang paling terkait dan didukung dengan dua variabel data debit, yaitu debit bulan sebelumnya (Q_{t-1}) dan debit dua bulan sebelumnya (Q_{t-2}). Hal ini untuk melihat bagaimana korelasi dari dua data debit terhadap hasil prakiraan apabila model memasukkan hanya 1 variabel data hujan dan dua variabel debit (Q). Hasil dari perhitungan dari simulasi tipe ini dapat dilihat dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil simulasi tipe PQQ(Q1)

Bulan	Persamaan	R
Januari	$Q_{jan} = (0.363)Q_{nov} + (-0.06)Q_{des} + (-0.072)P_1 + 68.706$	0.578
Februari	$Q_{feb} = (-0.102)Q_{des} + (0.511)Q_{jan} + (-0.025)P_3 + 38.592$	0.541
Maret	$Q_{mar} = (-0.41)Q_{jan} + (0.253)Q_{feb} + (-0.022)P_3 + 58.414$	0.435
April	$Q_{apr} = (-0.061)Q_{feb} + (0.233)Q_{mar} + (0.035)P_3 + 15.25$	0.448
Mei	$Q_{mei} = (0.218)Q_{mar} + (0.131)Q_{apr} + (0.053)P_1 + -5.211$	0.612
Juni	$Q_{jun} = (0.148)Q_{apr} + (0.008)Q_{mei} + (-0.039)P_1 + 5.354$	0.442
Juli	$Q_{jul} = (0.088)Q_{mei} + (0.391)Q_{jun} + (0.026)P_3 + -1.301$	0.835
Agustus	$Q_{agt} = (0.028)Q_{jun} + (0.003)Q_{jul} + (-0.014)P_1 + 4.287$	0.227
September	$Q_{sept} = (-0.023)Q_{jul} + (-0.146)Q_{agt} + (0.052)P_1 + 2.201$	0.74
Oktober	$Q_{okt} = (-0.031)Q_{agt} + (1.096)Q_{sept} + (0.035)P_2 + 0.412$	0.618
Nopember	$Q_{nov} = (0.727)Q_{sep} + (0.231)Q_{okt} + (0.018)P_3 + 11.654$	0.369
Desember	$Q_{des} = (0.007)Q_{okt} + (0.178)Q_{nov} + (0.054)P_2 + 13.868$	0.538

Dari hasil perhitungan, nilai korelasi tipe ini dengan Q_{aktual} nya adalah sebesar 0,866.

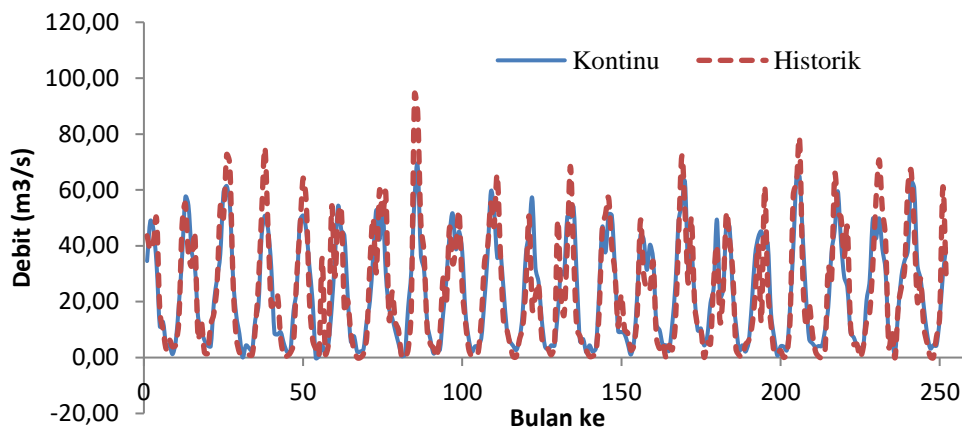
Simulasi Tipe PPQ(Q1)

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial kuarterner $Q_t = a + Q_{t-1} + b \cdot P_1 + c \cdot P_2 + d$. Nilai-nilai koefisien korelasi hujan P dan debit Q dipergunakan dalam perhitungan model hujan-debit dimana variabel P yang diperhitungkan hanya dari 2 pos pengamatan yang paling terkait dan didukung dengan variabel data debit, yaitu debit bulan sebelumnya (Q_{t-1}). Hal ini untuk melihat bagaimana korelasi dari dua data debit terhadap hasil prakiraan apabila model memasukkan hanya 1 variabel data hujan dan dua variabel debit (Q). Hasil perhitungan dari tipe ini dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil perhitungan simulasi tipe PPQ(Q1)

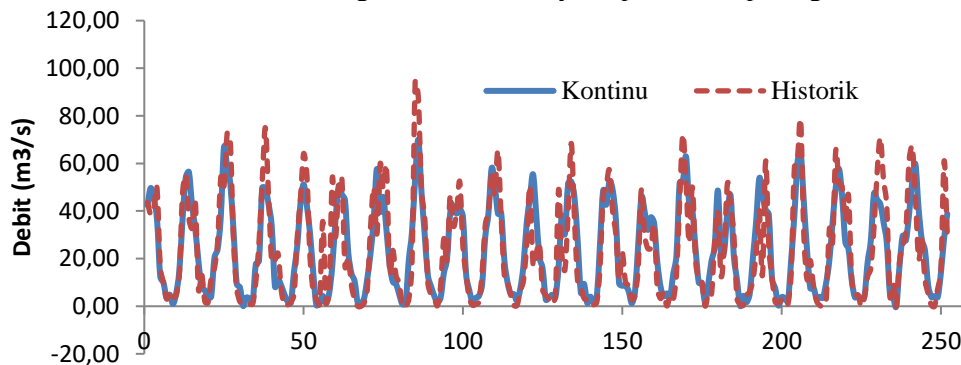
Bulan	Persamaan	R
Januari	$Q_{jan} = (-0.081)Q_{des} + (-0.024)P_3 + (-0.039)P_1 + 76.721$	0.533
Februari	$Q_{feb} = (0.528)Q_{jan} + (-0.024)P_3 + (0.006)P_1 + 31.454$	0.537
Maret	$Q_{mar} = (0.104)Q_{feb} + (-0.014)P_3 + (-0.008)P_1 + 45.346$	0.218
April	$Q_{apr} = (0.196)Q_{mar} + (0.046)P_3 + (-0.03)P_1 + 16.47$	0.473
Mei	$Q_{mei} = (0.205)Q_{apr} + (0.014)P_3 + (0.041)P_1 + 1.666$	0.541

Bulan	Persamaan	R
Juni	$Q_{jun}=(0.086)Q_{mei}+(0.017)P_2+(-0.059)P_1+8.546$	0.391
Juli	$Q_{jul}=(0.444)Q_{jun}+(0.023)P_3+(0.02)P_1+-1.254$	0.811
Agustus	$Q_{agt}=(0.219)Q_{jul}+(-0.032)P_2+(-0.004)P_1+4.173$	0.25
September	$Q_{sept}=(-0.12)Q_{agt}+(0.017)P_2+(0.038)P_1+1.723$	0.75
Oktober	$Q_{okt}=(1.075)Q_{sept}+(0.011)P_3+(0.026)P_2+-0.001$	0.621
Nopember	$Q_{nov}=(0.419)Q_{okt}+(0.036)P_3+(-0.036)P_2+17.387$	0.374
Desember	$Q_{des}=(0.198)Q_{nov}+(0.015)P_3+(0.033)P_2+14.506$	0.55



Gambar 4. Perbandingan debit antisipatif model PQQQ dan debit historis Waduk Kedung Ombo 1991-2011

Hasil dari perhitungan dengan simulasi tipe ini nilai korelasinya terhadap $Q_{aktualnya}$ adalah sebesar 0,861 dan hasil kalibrasi dengan debit aktualnya dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Q antisipatif model PPQQ dan Q historik WKO 1991-2011

Simulasi Tipe PPP(Q1)

Debit prakiraan dihitung dengan menggunakan model spasial kuarterner $Q_t=a.P_1+b.P_2+c.P_3+d$ dengan menggunakan 3 data hujan dan tidak memperhitungkan data debit inflow. Nilai-nilai koefisien korelasi hujan P adalah satu-satunya variabel yang dipergunakan dalam perhitungan model prakiraan debit. Hasil perhitungan dari tipe ini dapat dilihat pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Hasil perhitungan simulasi tipe PPP(Q1)

Bulan	Persamaan	R
Januari	$Q_{jan}=(0.021)P1+(-0.032)P2+(-0.052)P3$	0.544
Februari	$Q_{feb}=(0.071)P1+(-0.061)P2+(-0.047)P3$	0.459
Maret	$Q_{mar}=(0.003)P1+(-0.02)P2+(-0.005)P3$	0.187
April	$Q_{apr}=(0.009)P1+(0.043)P2+(-0.047)P3$	0.425
Mei	$Q_{mei}=(-0.002)P1+(0.013)P2+(0.052)P3$	0.489
Juni	$Q_{jun}=(0.012)P1+(0.005)P2+(-0.053)P3$	0.37
Juli	$Q_{jul}=(-0.011)P1+(0.02)P2+(0.006)P3$	0.266
Agustus	$Q_{agt}=(-0.012)P1+(-0.002)P2+(-0.012)P3$	0.237
September	$Q_{sept}=(0.042)P1+(-0.018)P2+(0.028)P3$	0.734
Oktober	$Q_{okt}=(0.035)P1+(0.019)P2+(-0.002)P3$	0.48
Nopember	$Q_{nov}=(-0.032)P1+(0.025)P2+(0.005)P3$	0.194
Desember	$Q_{des}=(0.029)P1+(0.013)P2+(0.012)P3$	0.515

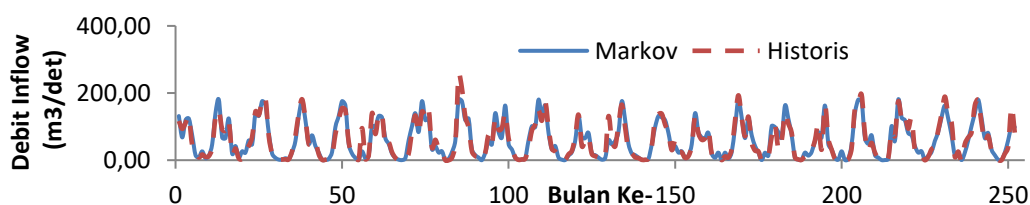
Hasil dari perhitungan dengan simulasi tipe ini nilai korelasinya terhadap Qaktualnya adalah sebesar 0,78.

Debit Prakiraan Model Korelasi Spasial Hujan-Debit (Kontinyu) Terpilih

Berdasarkan hasil perhitungan korelasi terbesar ditetapkan model hujan debit (PQQQ) yang terpilih sebagai model terbaik dari 5 model yang diuji dalam penentuan prakiraan debit untuk dapat melakukan antisipasi terhadap debit yang akan datang dengan nilai korelasi sebesar 0,866 terhadap debit aktualnya. Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat bahwa sekalipun variabel debit (Q) bersifat dependen dan variabel hujan (P) bersifat acak, akan tetapi bila mendapat masukan unsur P hasil prakiraan akan lebih baik dibandingkan tidak mendapat masukan variabel P. Hal ini dapat menjelaskan adanya pengaruh hujan terhadap ketersediaan debit di dalam waduk terutama ketika musim penghujan walaupun nilainya menjadi tidak signifikan pada bulan-bulan dengan debit hujan minimal atau musim kemarau. Dari hasil perhitungan juga bisa dilihat bahwa perhitungan dengan model kuarterner menghasilkan korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan perhitungan dengan metoder terner.

Debit Prakiraan Model Diskrit Markov 3 Kelas Orde Satu

Hasil perhitungan prakiraan debit dengan menggunakan model markov 3 kelas orde 1 didapatkan hasil seperti yang disajikan dalam **Gambar 6** dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,95.



Gambar 6. Perbandingan Q antisipatif model diskrit markov dan Q historik WKO 1991-2011

KESIMPULAN

Model prakiraan debit dengan metode korelasi spasial hujan-debit dicari dengan menggunakan simulasi dari 5 model kombinasi komponen hujan dan debit untuk kemudian dipilih kombinasi yang menghasilkan nilai korelasi yang tertinggi. Dari hasil simulasi ditemukan bahwa kombinasi yang lebih banyak menggunakan debit sebagai input menghasilkan nilai korelasi yang

lebih baik dibanding yang menggunakan komponen hujan sebagai input. Hal ini sesuai dengan hipotesis bahwa debit bersifat dependen dibandingkan komponen hujan yang bersifat acak sehingga perhitungan prakiraan debit akan lebih mendekati aktual bila menggunakan pendekatan dengan komponen debit lebih banyak. Akan tetapi, perhitungan yang tetap memasukkan variabel P akan mempunyai nilai korelasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan model yang tidak memiliki variabel P. Sedangkan bila hanya menggunakan variabel P saja tanpa memperhitungkan debit input, maka hasilnya juga kurang baik karena sifat hujan yang acak dan kurang berpengaruh terutama di bulan-bulan kering (tanpa hujan).

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa model PQQQ adalah model dengan pendekatan terbaik karena memiliki nilai korelasi tertinggi, yaitu 0,866 terhadap debit aktualnya.

Metode kedua yang digunakan adalah metode markov 3 kelas orde 1 yang menunjukkan koefisien korelasi terhadap seri historis yang lebih baik dibandingkan metode kontinu. Hasil simulasi dengan metode markov 3 kelas orde 1 mempunyai koefisien korelasi 0,95 dan menjadi metode yang dianggap representatif sebagai metode prakiraan debit untuk penelitian ini untuk selanjutnya dapat dijadikan dasar dalam perhitungan simulasi pola pengusahaan manajemen waduk optimal untuk Waduk Kedung Ombo.

DAFTAR PUSTAKA

- Abatzoglou, JT. (2009) : Classification of Regional Climate Variability in the State of California, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* **48**, 1527–1541.
- Benabdesselam, Tamara and Amarchi, Hocine (2013) : Regional Approach for the Estimation of Extreme Daily Precipitation on North-East Area of Algeria, *International Journal of Water Resources dan Environmental Engineering*, **Vol 5 (10)**, 573- 583
- Etkin, Derek (2009) : *Utilizing Seasonal Forecasts to Improve Reservoir Operations in the Comoé River Basin*, Thesis of Environmental and Water Resources Engineering, TUFTS University.
- Henrik Madsen, Bertrand Richaud, Claus B. Pedersen, DHI, Horsholm, (2009) : A Real-Time Inflow Forecasting and Reservoir Optimization System for Optimizing Hydropower Production, Waterpower XVI Copyright PennWell Corporation, Carter Borden, DHI, Boise, Idaho, USA.
- Laura Read, Kaveh Madani, Bahareh Inanloo (2014) : Optimality Versus Stability in Water Resource Allocation. *Journal of Environmental Management* **133**, 343-354
- Marganingrum, Dyah.(2013) : Manajemen Sumberdaya Air Terpadu Waduk Saguling dalam Rangka Pengembangan SPAM Regional KSN Cekungan Bandung. Disertasi. Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung..
- Saadatpour, M.and Afshar, A. (2013) : Multi Objective Simulation-Optimization Approach in Pollution Spill Response Management Model in Reservoirs. *Water Res. Manag.*, **27**, 1851–1865.
- 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.
- Sabar, Arwin (2009) : Perubahan Iklim, Konversi Lahan Dan Ancaman Banjir Dan Kekeringan Di Kawasan Terbangun. Pidato Ilmiah Guru Besar, ITB Bandung.
- Sabar, Arwin. (2011) : Perubahan Iklim , Manajemen Air Dan Degradasi Infrastruktur Sumber Daya Air Perkotaan Di Zona Monsoon Indonesia Ihwal Pantura Metropolitan, Peringatan Hari Air Dunia Ke XIX Tahun 2011, Jakarta.
- Sarah E. Null, Josué Medellín-Azuara, Alvar Escriba-Bou, Michelle Lent, Jay R. Lund (2014) : Optimizing the Dammed: Water Supply Losses and Fish Habitat Gains From Dam Removal in California. *Journal of Environmental Management*, **136**, 121-131.
- Xinyi Xu, Lingling Bin, Chengzhong Pan, Aizhong Ding dan Desheng Chen (2014) : Optimal Reoperation of Multi-Reservoirs for Integrated Watershed Management with Multiple Benefits. *Water 2014*, **6**, 796-812. College of Water Sciences. Beijing Normal University.