

PENERAPAN *VECTOR AUTOREGRESSIVE* (VAR) UNTUK PEMODELAN KONSENTRASI *BOD* DAN *DO* DI STASIUN KBe1 SUNGAI BEDADUNG-JEMBER

Rusdiana Setyaningtyas*)
Email: seru2tyas@yahoo.com

Abstrak

Sungai Bedadung merupakan salah satu sumber air baku air minum PDAM Jember, dimana kualitas airnya masuk klasifikasi mutu air kelas III. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan kualitas air sungai tersebut. Salah satu upaya yang dilakukan adalah membuat prakiraan kualitas air sungai di masa mendatang sehinggaantisipasi awal terhadap adanya perubahan kualitas bisa dilakukan. Antisipasi tersebut antara lain perubahan proses pengolahan air baku menjadi air bersih di PDAM. Dalam penelitian ini, proses pemodelan kualitas air Sungai Bedadung menggunakan BOD dan DO sebagai parameter yang diteliti.

Dalam penelitian ini digunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR). Langkah melakukan pemodelan adalah sebagai berikut: (i) identifikasi dan pendugaan model melalui pemeriksaan stasioneritas data menggunakan plot *time series*, plot ACF (*autocorrelation function*) dan PACF (*partial autocorrelation function*), serta uji unit root, (ii) estimasi parameter menggunakan metode LSE (*least square estimation*), dan (iii) pemilihan model berdasarkan nilai minimum AIC (*Akaike's Information Criterion*). Data sekunder yang digunakan adalah konsentrasi BOD dan DO hasil pemantauan bulanan BPSAWS Bondoyudo-Mayang di stasiun KBe1 tahun 2003 – 2010. Kebaikan model dianalisis menggunakan nilai MSE (*mean square error*), MAD (*mean absolute deviation*), dan MAPE (*mean absolute percentage error*).

Hasil analisis korelasi menunjukkan BOD berkorelasi negatif lemah dengan DO dengan nilai koefisien korelasi Pearson -0,423. Hasil peramalan dengan metode VAR ini masih belum memuaskan karena selain lemahnya korelasi diantara parameter BOD dan DO juga karena diduga ada parameter lain yang mempengaruhi konsentrasi BOD dan DO.

Kata kunci: BOD, DO, *time series*, metode *vector autoregressive*

1. Pendahuluan

Parameter kualitas air yang terpenting adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan DO (*Dissolved Oxygen*) (Salmin, 2005). BOD merupakan salah satu variabel kunci yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air sungai (Revelli dan Ridolfi, 2004), sedangkan DO adalah salah satu parameter yang biasa digunakan untuk mengukur kualitas suatu perairan (Cole, 1991 dalam Sutimin, 2006) yang menunjukkan tingkat kesegaran air sebagai akibat dari pencemaran air oleh parameter organik (Irianto dan Machbub, 2010). Parameter organik (sebagai BOD) adalah parameter umum yang sering dipakai untuk menunjukkan tingkat pencemaran organik dari sumber pencemar seperti industri, domestik, pertanian dan perikanan. Beban BOD yang berlebihan mengganggu kualitas air sungai karena menyebabkan konsentrasi DO rendah sehingga sungai tidak layak untuk kehidupan flora dan fauna (Boano et al., 2006).

Kualitas air sungai ditentukan oleh banyak variabel (*multivariate*), sehingga dalam pengelolaan kualitas air, analisis *multivariate* cocok untuk digunakan. Metode ini telah digunakan untuk menganalisis hubungan multiparameter kualitas air terhadap indikator biotik dan abiotik di Sungai Citarum dan Waduk Jatiluhur (Badruddin, 1987). Selain itu, metoda ini juga pernah digunakan untuk memprediksi pengaruh senyawa nutrisi terhadap timbulnya *Algal Bloom* di Waduk Karangkates (Brahmana dan Bahri, 2002), serta pengaruh multiparameter kualitas air terhadap parameter indikator oksigen terlarut dan daya hantar listrik (Irianto dan Machbub, 2004). Pada kenyataannya analisis *multivariate* masih jarang

digunakan dalam pengelolaan kualitas air, padahal berguna untuk seleksi parameter kunci (Irianto dan Machbub, 2004). Salah satu jenis analisis *multivariate* yang menggunakan data runtun waktu untuk peramalan adalah metode *Vector Autoregressive* (VAR). Metode VAR tersebut merupakan salah satu alat analisis atau metode statistik yang bisa digunakan untuk memproyeksikan sistem variabel runtun waktu maupun untuk menganalisis dampak dinamis dari faktor gangguan yang terdapat dalam sistem variabel tersebut (Hadi, 2003).

Tujuan penelitian ini adalah membuat model ramalan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung-Jember dengan menggunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR) dan menganalisa keterkaitan hubungan konsentrasi BOD dan DO berdasarkan model VAR dalam menentukan kualitas air di Sungai Bedadung-Jember.

2. Metode yang diterapkan

2.1 Instrumen dan Data

Proses pengolahan data menggunakan program SAS 9.0 dan Minitab 15.0. Sedangkan data sekondernya adalah kualitas air Sungai Bedadung hasil monitoring bulanan mulai tahun 2003 – 2010 di stasiun KBe1 yang diperoleh dari BPSAWS Bondoyudo-Mayang di Lumajang. Adapun variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah BOD dan DO. Untuk pemodelan digunakan data sekunder tahun 2003 – 2009, sedangkan akurasi model menggunakan data tahun 2010.

2.2 Analisis Data dan Identifikasi Model VAR

Variabel-variabel yang digunakan dalam analisis VAR harus mempunyai hubungan timbal balik atau saling mempengaruhi (Sims, 1972; dalam Maruddani dan Savitri, 2008). Dalam penelitian ini digunakan uji korelasi dan *Bartlett Sphericity* untuk mengetahui hubungan antar variabel BOD dan DO. Besar korelasi antara kedua variabel tersebut ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi Pearson dalam uji korelasi, sedangkan uji *Bartlett Sphericity* dilakukan untuk mendukung uji korelasi dengan pemeriksaan terhadap matriks korelasi. Diharapkan matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas, karena jika sama berarti antar variabel tersebut saling *independent* (tidak berkorelasi). Padahal syarat analisis *multivariate* adalah antar variabel harus bersifat *dependent* (saling berkorelasi). Identifikasi model ditentukan melalui pola atau struktur dari matriks korelasi sampel dan matriks korelasi parsial, setelah sebelumnya dilakukan transformasi atau *differencing* untuk meredam ketidakstasioneran data. Pengujian asumsi stasioneritas menggunakan plot *time series*, plot ACF-PACF dan uji unit *root*. Penentuan orde VAR dilakukan berdasarkan *lag* yang memuat nilai AIC (*Akaike's Information Criterion*) minimum, dengan merujuk pada penelitian terdahulu yaitu Basri (2002) serta Lee dan Bauer (2000).

2.3 Estimasi Model VAR

Estimasi/penaksiran parameter model dengan menggunakan metode *least square*. Jika terdapat parameter yang tidak berbeda dengan nol maka dilakukan proses *backward* dan dilanjutkan pengujian parameter dengan uji F dan uji *t-student*.

2.4 Diagnostic Checking Asumsi Residual

Diagnostic checking merupakan upaya untuk melakukan validasi terhadap model yang diperoleh. Hasil pemodelan data apabila telah signifikan dan memenuhi semua asumsi yang disyaratkan, berarti bisa diandalkan.

Asumsi pertama yang diperiksa adalah asumsi residual yang sudah *white-noise*, yaitu antar residual tidak ada korelasi atau residual tidak mempunyai pola apapun. Asumsi *white noise* dapat diperiksa dengan membuat *ACF-PACF plot* residual. Jika seluruh ACF atau PACF residual terletak diantara batas atas dan batas bawah, maka dapat disimpulkan bahwa residual sudah memenuhi asumsi *white noise*. Pemeriksaan *white noise* dapat juga dilakukan dengan menggunakan *Portmanteau Lack of Fit Test*, yaitu uji Ljung-Box (Wei, 1989). Asumsi kedua adalah pemeriksaan kemultinormalan dengan melakukan uji multinormal melalui *q-q plot* multinormal menggunakan macro Minitab.

Adapun hipotesa yang digunakan adalah:

- Hipotesa:
 - H_0 : Residual berdistribusi multivariate normal
 - H_1 : Residual tidak berdistribusi multivariate normal
- Statistik Uji: $d_j^2 = (X_j - \bar{X})' S^{-1} (X_j - \bar{X})$,
 $j = 1, 2, \dots, n$
- Keputusan: Tolak H_0 jika $d_j^2 \geq \chi_{(0,05; p)}^2$
 (Johnson dan Wichern, 1998)

Jika *q-q plot* multinormal cenderung membentuk garis lurus, maka dapat disimpulkan bahwa vektor residual

berdistribusi multinormal (Johnson dan Wichern, 1998). Selanjutnya asumsi ketiga pemeriksaan homogenitas varian dari residual dengan uji ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*) menggunakan *software SAS* versi 9.0. Adapun hipotesa ARCH adalah sebagai berikut:

H_0 : kuadrat residual tidak bisa dilakukan proses ARCH (homokedastisitas)

H_1 : kuadrat residual bisa dilakukan proses ARCH (heterokedastisitas)

H_0 ditolak jika *p-value* lebih kecil dari alpha ($\alpha=0,05$).

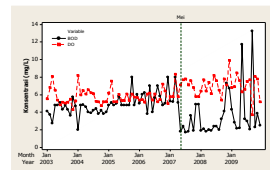
2.5 Akurasi Model

Akurasi model peramalan dilakukan dengan membandingkan nilai ramalan dengan data aktual, berdasarkan plot *time series* dan *errornya* dengan menghitung nilai MSE (*Mean Square Errors*), MAD (*Mean Absolute Deviation*), dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*). Data aktual yang digunakan untuk akurasi model yaitu data bulan Januari – September 2010. Semakin kecil nilai-nilai MSE, MAD, dan MAPE, semakin akurat hasil peramalan model.

3. Analisis dan Pembahasan

3.1 Analisis Deskriptif

Gambar 1 menggambarkan pola *time series* konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung periode Januari 2003 – Desember 2009.



Gambar 1 Plot data konsentrasi BOD_KBe1 dan DO_KBe1 Sungai Bedadung

Dalam Gambar 1 terlihat adanya hubungan negatif antara BOD dan DO, yaitu saat konsentrasi BOD naik konsentrasi DO turun dan sebaliknya. Jika dibandingkan antara data periode 2003 – 2007 dengan data periode 2007 – 2009 terdapat perbedaan yang mencolok, dimana terjadi penurunan konsentrasi BOD secara drastis mulai periode Mei 2007, yang diikuti oleh kenaikan konsentrasi DO. Rata-rata konsentrasi BOD periode Januari 2003 – April 2007 adalah 4,93 mg/L turun menjadi 3,56 mg/L pada periode berikutnya. Sedangkan rata-rata konsentrasi DO naik dari 5,82 mg/L menjadi 7,03 mg/L. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kualitas air sungai Bedadung khususnya di stasiun KBe1. Tetapi pada tahun 2009 terjadi peningkatan konsentrasi BOD yang cukup ekstrim pada beberapa bulan, yaitu bulan Mei (11,7 mg/L) dan bulan September (13,25 mg/L) dengan penurunan konsentrasi DO mencapai 3,7 mg/L. Kondisi ini menunjukkan sejak 2009 kualitas air Sungai Bedadung turun, yang diperkuat dengan laporan pemantauan BPSAWS Bondoyudo-Mayang yang menyatakan bahwa beberapa bulan di tahun 2009 terjadi peningkatan pencemaran air yaitu pada bulan Mei dan bulan September, sehingga Sungai Bedadung masuk klasifikasi mutu air kelas III. Kejadian ini diduga karena pengaruh peningkatan limbah yang dibuang ke sungai dan curah hujan yang tinggi. Curah hujan tinggi menyebabkan tanah longsor di hulu Sungai Bedadung dan terbawa arus sungai berupa

lumpur organik yang dapat meningkatkan konsentrasi BOD dan menurunkan DO. Deskripsi kedua variabel secara umum ditunjukkan dalam Tabel 1. Rata-rata konsentrasi BOD_KBe1 per bulan = 4,409 mg/L dan DO_KBe1 = 6,277 mg/L.

Tabel 1 Uji Deskriptif Data Konsentrasi BOD dan DO Stasiun KBe1 Sungai Bedadung-Jember

Variabel	N	Mean	St Deviasi	Coef Variance
BOD (mg/L)	84	4,409	2,021	0,4583
DO (mg/L)	84	6,277	1,135	0,1809

Sumber: hasil *running* Minitab 15

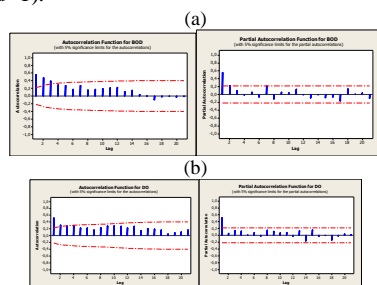
Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi BOD di stasiun KBe1 masih melebihi baku mutu air kelas II (maksimum 3 mg/L) (PP No. 82/2001 dan Perda Provinsi Jawa Timur No. 2/2008). Sedangkan DO sudah melebihi batas minimal baku mutu air kelas I (minimal 6 mg/L). Konsentrasi BOD cenderung lebih fluktuatif dibandingkan dengan konsentrasi DO (Gambar 1 dan Tabel 1), sebagaimana terlihat dari koefisien keragaman (*coef variance*) BOD (0,4583), lebih besar dari koefisien keragaman DO (0,1809). Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata penyimpangan data untuk BOD sebesar 45,83% dan DO sebesar 18,09%.

3.2 Korelasi antar Variabel

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa variabel BOD dan DO secara signifikan menolak H_0 ($p\text{-value} < 5\%$), yang berarti terdapat korelasi antara kedua variabel tersebut dengan nilai koefisien korelasi Pearson -0,423, artinya terdapat korelasi negatif yang lemah antara BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung. Hal ini diperkuat dengan uji *Bartlett Sphericity*, dimana matriks korelasi antara BOD dan DO tidak sama dengan matriks identitasnya yang berarti terdapat hubungan antara variabel BOD dan DO.

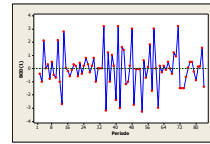
3.3 Identifikasi Stasioneritas Data dan Dugaan Model Awal

Identifikasi dan pendugaan model awal dimulai dengan melakukan pemeriksaan stasioneritas data menggunakan plot *time series* (Gambar 1) serta plot ACF-PACF (Gambar 2). Gambar 1 mengidentifikasi deret data cenderung belum stasioner dalam *mean*. Ketidakstasioneran data dalam *mean* juga diperkuat oleh plot ACF yang cenderung lambat turun menuju nol baik secara *multivariate* (Lampiran 1) maupun secara *univariate* (Gambar 2). Hal ini diatasi dengan melakukan *differencing* pada lag 1 ($d=1$).

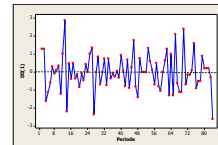


Gambar 2 (a) Plot ACF-PACF data awal BOD_KBe1; (b) Plot ACF-PACF data awal DO_KBe1
Plot *time series* data sesudah *differencing* lag 1 (Gambar 3 dan Gambar 4) terlihat cenderung berada di

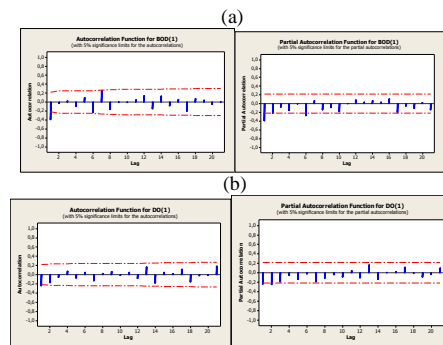
sekitar nilai tengah nol, yang menunjukkan data sudah stasioner dalam *mean* dan varians. Plot ACF- PACF data sesudah *differencing* ($d=1$) dalam Gambar 5 juga menunjukkan bahwa data sesudah *didifferencing* pada lag 1 sudah stasioner karena signifikansi turun cepat menuju nol sesudah lag kedua.



Gambar 3 Plot *time series* data konsentrasi BOD_KBe1 setelah proses *differencing* ($d=1$)



Gambar 4 Plot *time series* data DO_KBe1 setelah proses *differencing* ($d=1$)



Gambar 5 (a) Plot ACF-PACF data BOD_KBe1 sesudah *differencing* ($d=1$); (b) Plot ACF-PACF data DO_KBe1 sesudah *differencing* ($d=1$)

Kestasioneran data ini juga dapat dilihat dari uji unit *root* Dickey-Fuller (Lampiran 2). Pada type *zero mean*, $p\text{-value}$ kedua variabel kurang dari α ($\alpha=5\%$), sehingga H_0 ditolak yang artinya data telah stasioner. Penentuan model awal VAR berdasarkan nilai AIC Minimum, yang terjadi pada lag ke-2 yaitu **34,59554** seperti terlihat dalam Tabel 2. Maka diduga pola konsentrasi BOD dan konsentrasi DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung mengikuti model VAR orde 2 atau VAR(2).

Tabel 2 Nilai AIC dari Model VAR(p)

p	AIC ^{***}
0	53,02902
1	36,06437
2	34,59554
3	38,48198
4	43,11816
5	47,09558
6	49,08944
7	52,98285
8	58,08832
9	64,39883
10	68,49017

Sumber: hasil *running* SAS 9

3.4 Estimasi dan Pengujian Parameter

Hasil estimasi akhir parameter model dapat dilihat dalam Lampiran 3, dimana parameter yang berbeda dengan nol (signifikan) adalah antara BOD_KBe1 pada waktu t dengan BOD_KBe1 pada waktu ($t-1$),

dan antara DO_KBe1 pada waktu t dengan DO_KBe1 pada waktu $(t-1)$ dan $(t-2)$. Jadi parameter yang signifikan yang kemudian dimasukkan ke dalam model VAR(2) adalah parameter β_{111} , β_{122} , dan β_{222} .

Persamaan model VAR(2) dapat ditulis sebagai berikut:

$$I. Y_t = 0,606 Y_{t-1} + 0,394 Y_{t-2} - 0,379 X_{t-2} + 0,379 X_{t-3} + \varepsilon_{1t}$$

$$II. X_t = X_{t-1} - 0,298 X_{t-2} + 0,298 X_{t-3} + \varepsilon_{2t}$$

dimana:

Y_t = konsentrasi BOD_KBe1 pada waktu t

Y_{t-1} = konsentrasi BOD_KBe1 pada waktu $t-1$

Y_{t-2} = konsentrasi BOD_KBe1 pada waktu $t-2$

X_t = konsentrasi DO_KBe1 pada waktu t

X_{t-1} = konsentrasi DO_KBe1 pada waktu $t-1$

X_{t-2} = konsentrasi DO_KBe1 pada waktu $t-2$

X_{t-3} = konsentrasi DO_KBe1 pada waktu $t-3$

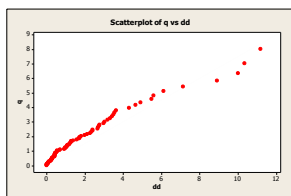
3.5 Diagnostic Checking Asumsi Residual

1. Uji *white noise* dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa semua residual model VAR(2) mempunyai *p-value* > 0,05, sehingga gagal menolak H_0 yang berarti tidak ada korelasi antar residual atau residual bersifat *white noise*.

Tabel 3 Uji *White Noise* Residual
Sumber: hasil running SAS 9

Pormanteau Test Statistics for Residual Cross Correlations				
To Lag	Chi-Square	DF	Prob > ChiSq	Keputusan
3	6.20	4	0.1848	Gagal tolak H_0
4	8.00	8	0.4335	Gagal tolak H_0
5	9.25	12	0.6814	Gagal tolak H_0
6	13.53	16	0.6339	Gagal tolak H_0
7	19.45	20	0.4929	Gagal tolak H_0
8	20.75	24	0.6535	Gagal tolak H_0
9	22.15	28	0.7742	Gagal tolak H_0
10	24.09	32	0.8413	Gagal tolak H_0
11	26.46	36	0.8773	Gagal tolak H_0
12	31.83	40	0.8181	Gagal tolak H_0

2. Uji multinormal residual dapat dilihat dalam Gambar 6, dimana *q-q plot* chi-square yang cenderung membentuk garis lurus dan ada lebih dari 50% (57,14%) nilai $d_j^2 \leq \chi^2_{(0,05;3)}$. Artinya uji multinormal residual ini gagal menolak H_0 dengan kesimpulan deret residual sudah berdistribusi multinormal.



Gambar 6. q-q plot dari nilai d_j^2 residual

3. Uji Homogenitas Varian dapat dilihat dalam Tabel 4, yang menunjukkan bahwa *p-value* dari seluruh variabel lebih besar dari alpha sehingga H_0 gagal ditolak. Hal ini berarti bahwa varian pada konsentrasi BOD_KBe1 dan DO_KBe1 sudah homogen atau seragam.

Tabel 4 Pemeriksaan Homogenitas Varian Residual

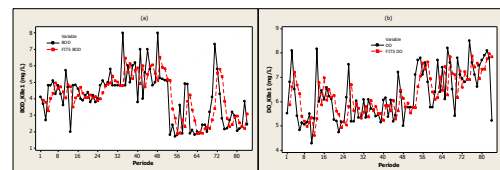
Variabel	ARCH1 F-Value	Prob>F	Keputusan
BOD_KBe1	0,00	0,9480	Gagal tolak H_0
DO_KBe1	0,55	0,4596	Gagal tolak H_0

Sumber: hasil running SAS 9, 2010

Berdasarkan identifikasi model, estimasi dan pengujian parameter, serta pemeriksaan asumsi residual yang telah dilakukan didapatkan model VAR terpilih untuk peramalan konsentrasi BOD, DO dan debit di stasiun KBe1 Sungai Bedadung adalah model VAR(2).

3.6 Evaluasi Kebaikan Model VAR(2)

Kebaikan model VAR(2) untuk meramalkan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung dapat dilihat dari *plot time series data training* dengan *fits* model VAR(2) dalam Gambar 7,



Gambar 7 Plot *time series* data aktual dengan *fits* model VAR(2) untuk periode 2003 – 2009: (a) Konsentrasi BOD_KBe1; (b) Konsentrasi DO_KBe1

dimana terlihat bahwa konsentrasi BOD dan DO data asli dengan *fits* model VAR(2) membentuk pola *time series* yang cenderung sama dan berimpit, sehingga mengindikasikan model VAR(2) cukup baik untuk peramalan. Tetapi dari pola data saja tidak cukup untuk menentukan kebaikan model, karena itu harus didukung oleh nilai-nilai MSE, MAD, dan MAPE (Aritonang, 2002). Hasil perhitungan MSE, MAD, dan MAPE model berdasarkan data *training* per periode tahun 2003 – 2009 (periode 1 – 7) dapat dilihat dalam Tabel 5. Secara keseluruhan model VAR(2) untuk DO_KBe1 lebih baik daripada model VAR(2) untuk BOD_KBe1. Hal ini terlihat dari nilai MSE DO (0,83), MAD DO (0,70), dan MAPE DO (9,84%) lebih kecil dari nilai MSE BOD (1,60), MAD BOD (0,94), dan MAPE BOD (26,55%). Hal ini berarti model VAR(2) lebih mampu menggambarkan konsentrasi DO_KBe1 daripada konsentrasi BOD_KBe1. Ini sesuai dengan deskripsi data asli pemodelan, dimana pola konsentrasi BOD_KBe1 lebih fluktuatif dibandingkan dengan konsentrasi DO_KBe1.

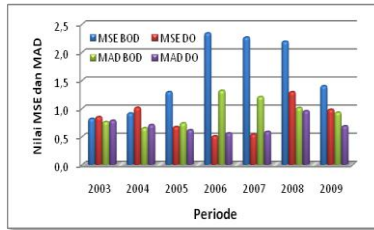
Tabel 5 Evaluasi Model VAR(2) untuk Data *Training* 2003 - 2009

Periode	Tahun	MSE		MAD		MAPE (%)	
		BOD	DO	BOD	DO	BOD	DO
1	2003	0,82	0,85	0,76	0,78	17,74	11,95
2	2004	0,91	1,01	0,65	0,70	21,08	10,17
3	2005	1,29	0,67	0,74	0,62	12,66	9,31
4	2006	2,34	0,51	1,32	0,56	24,25	8,63
5	2007	2,26	0,54	1,20	0,58	42,86	7,67
6	2008	2,19	1,29	1,01	0,95	33,71	11,81
7	2009	1,40	0,98	0,93	0,69	33,54	9,36
Keseluruhan		1,60	0,83	0,94	0,70	26,55	9,84

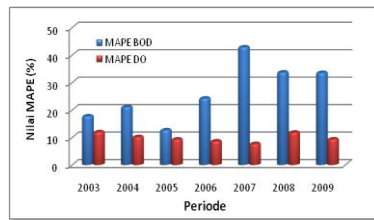
Sumber: hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 5, Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat model VAR(2) untuk BOD_KBe1 dan DO_KBe1 mempunyai nilai MSE, MAD, dan MAPE yang tinggi

pada 4 tahun terakhir pemodelan yaitu tahun 2006, 2007, 2008 dan 2009. Hal ini kemungkinan karena sejak tahun 2006 kondisi cuaca di Jember menjadi ekstrim dengan curah hujan pernah mencapai 120 mm/6 jam pada Januari 2006 (Dewi, 2008). Hal ini ditambah dengan seringnya terjadi tanah longsor



Gambar 8 Nilai MSE dan MAD model VAR(2) untuk data training tahun 2003 – 2009



Gambar 9 Nilai MAPE model VAR(2) untuk data training tahun 2003 -2009

di hulu Sungai Bedadung yang lumpur organiknya terbawa arus sungai sampai ke stasiun KBe1 (Anonim, 2006). Kondisi cuaca yang tidak menentu ini sangat berpengaruh terhadap konsentrasi BOD dan DO di Sungai Bedadung, sehingga meningkatkan fluktuasi konsentrasi BOD_ KBe1 dan DO_ KBe1. Hal ini sukar untuk diramalkan oleh model VAR(2) yang hanya berdasarkan data waktu lampau. Inilah yang menyebabkan *error* model VAR(2) cukup tinggi. Untuk menguji keakuratan model VAR(2) dalam meramalkan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung dilakukan peramalan untuk 9 (sembilan) periode kedepan, yaitu bulan Januari – September 2010 yang kemudian dibandingkan dengan data aktual/data *testing* pada periode yang sama.

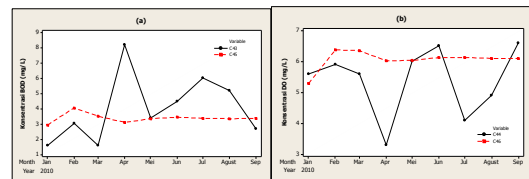
3.7 Peramalan Konsentrasi BOD dan DO di Stasiun KBe1 Sungai Bedadung Periode Januari – September 2010 menggunakan Model VAR(2)

Tabel 6 dan Gambar 10 menunjukkan hasil ramalan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 cenderung konstan sejalan dengan waktu dengan nilai rata-rata BOD ramal adalah 3,41 mg/L (aktual 4,03 mg/L) dan rata- rata DO ramal adalah 6,06 mg/L (aktual 5,39 mg/L). Selisih nilai konsentrasi rata-rata BOD aktual dengan BOD ramal adalah 0,62 mg/L, yang menunjukkan rata-rata hasil ramalan BOD lebih rendah 15,38% dari rata-rata data aktualnya. Sedangkan selisih nilai konsentrasi rata-rata DO aktual

Tabel 6 Hasil Peramalan Konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung bulan Januari – September 2010

Periode	BOD aktual (mg/L)	BOD ramal (mg/L)	DO aktual (mg/L)	DO ramal (mg/L)
Jan-2010	1,60	3,11	5,60	5,29
Feb-2010	3,05	3,84	5,90	6,37
Mar-2010	1,60	3,52	5,60	6,35
April-2010	8,20	3,23	3,30	6,02
Mei-2010	3,40	3,36	6,00	6,03
Juni-2010	4,50	3,43	6,50	6,13
Juli-2010	6,00	3,40	4,10	6,13
Agus-2010	5,20	3,37	4,90	6,10
Sep-2010	2,70	3,39	6,60	6,10
Rata-rata	4,03	3,41	5,39	6,06

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 10 Plot *time series* data aktual dan hasil peramalan model VAR(2) tahun 2010: (a) Konsentrasi BOD_KBe1; b) Konsentrasi DO_KBe1

dengan DO ramal adalah -0,67 mg/L, yang menunjukkan rata-rata hasil ramalan DO lebih tinggi 12,43% dari rata-rata data aktualnya.

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa hasil peramalan model VAR(2) terhadap konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung mempunyai pola yang sama dan berimpit dengan data aktual hanya pada periode Januari, Februari dan Maret 2010, yaitu 3 (tiga) periode awal peramalan. Hal ini menunjukkan kalau model VAR(2) hanya baik digunakan untuk peramalan dengan jangka waktu (periode) yang pendek.

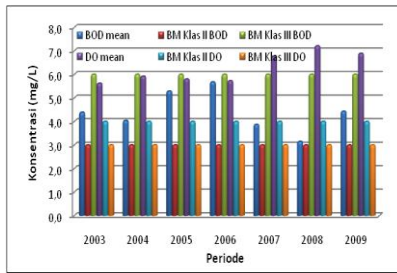
3.8 Analisis Kualitas Air di Stasiun KBe1 Sungai Bedadung

1. Kualitas air berdasarkan data tahun 2003-2009
 Berdasarkan Tabel 7 terlihat rata-rata konsentrasi BOD_KBe1 sangat berfluktuasi pada setiap periode, dengan nilai *coefisien variance* antara 0,1794 – 0,8647, yang berarti penyimpangan data konsentrasi BOD_KBe1 adalah sebesar (17,94 – 86,47)%. Sedangkan rata-rata konsentrasi DO_KBe1 mempunyai *coefisien variance* lebih kecil yaitu antara 0,1131 – 0,1951 (11,31 – 19,51)%. Fluktuasi konsentrasi rata-rata BOD dan DO di stasiun KBe1

Tabel 7 Fluktuasi BOD_KBe1 dan DO_KBe1 serta Klasifikasi Mutu Air periode 2003 - 2009

Variabel	BOD		DO		Klasifikasi Mutu Air
	Mean (mg/L)	Coef Variance	Mean (mg/L)	Coef Variance	
2003	4,39	0,1810	5,62	0,1841	Klas III
2004	4,04	0,1826	5,92	0,1567	Klas III
2005	5,29	0,1794	5,80	0,1136	Klas III
2006	5,68	0,2208	5,73	0,1131	Klas III
2007	3,87	0,5140	6,77	0,1430	Klas III
2008	3,15	0,6095	7,21	0,1638	Klas III
2009	4,43	0,8647	6,89	0,1951	Klas III

Sumber: hasil *running* Minitab 15

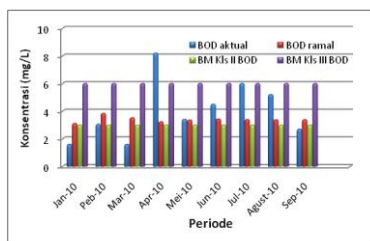


Gambar 11 Klasifikasi mutu air sungai di stasiun KBe1 Sungai Bedadung berdasarkan konsentrasi BOD dan DO tahun 2003 – 2009

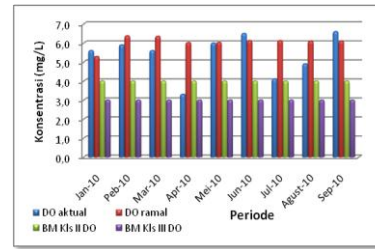
yang cenderung meningkat sejak tahun 2006 sangat mungkin dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang ekstrem (pengaruh pemanasan global) dengan curah hujan yang tinggi, hutan di hulu Sungai Bedadung yang gundul sehingga rawan longsor dan peningkatan pembuangan limbah domestik, limbah industri dan limbah pertanian di sepanjang aliran sungai. Dengan nilai konsentrasi rata-rata BOD dan DO seperti dalam Tabel 7, maka kualitas air sungai di stasiun KBe1 Sungai Bedadung mulai tahun 2003 – 2009 masuk klasifikasi mutu air kelas III sesuai dengan PP No. 82/2001 dan Perda Provinsi Jatim No. 2/2008. Dalam Gambar 11 terlihat konsentrasi rata-rata BOD_KBe1 tiap periode di atas baku mutu (BM) kelas II, sedangkan konsentrasi rata-rata DO_KBe1 masih di atas batas minimum BM kelas II.

2. Kualitas air berdasarkan peramalan model VAR(2)

Gambar 11 menunjukkan plot *time series* hasil ramalan BOD dan DO mempunyai pola yang sama dan berimpit dengan data aktualnya terutama pada 3(tiga) periode pertama yaitu Januari, Februari dan Maret 2010. Pada bulan April 2010 terdapat kenaikan BOD (8,2 mg/L) dan penurunan DO (3,3 mg/L) yang cukup drastis, sehingga tidak mampu diramalkan oleh model VAR(2) karena model VAR(2) ini hanya meramal berdasarkan data waktu lampau dan tidak mengikutsertakan faktor-faktor eksternal seperti kondisi cuaca, curah hujan, debit dan pembuangan limbah ke sungai. Padahal kualitas air sungai tergantung pada kondisi di daerah hulu dan daerah yang dilewati oleh aliran sungai (Masduki, 2007). Berdasarkan hasil peramalan model VAR(2) terhadap konsentrasi BOD dan DO tahun 2010 kualitas air di stasiun KBe1 Sungai Bedadung masuk klasifikasi mutu air kelas III dengan konsentrasi rata-rata BOD adalah 3,41 mg/L dan konsentrasi rata-rata DO adalah 6,06 mg/L (Tabel 8). Bila dibandingkan dengan kondisi sebenarnya, dimana konsentrasi rata-rata BOD adalah 4,03 mg/L dan konsentrasi rata-rata DO adalah 5,39 mg/L, maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil peramalan dengan kondisi aktualnya, seperti terlihat dalam Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 12 Klasifikasi mutu air sungai di stasiun KBe1 Sungai Bedadung berdasarkan konsentrasi BOD aktual dan hasil peramalan tahun 2010.



Gambar 13 Klasifikasi mutu air sungai di stasiun KBe1 Sungai Bedadung berdasarkan konsentrasi DO aktual dan hasil peramalan tahun 2010

Pada tahun 2010 ini fluktuasi konsentrasi rata-rata BOD (53,96%) dan DO (20,42%) masih sangat tinggi (Tabel 8). Hal inilah yang menyebabkan hasil peramalan model VAR(2) menjadi bias, terutama untuk peramalan konsentrasi BOD. Karena untuk DO, hasil peramalannya lebih mendekati kondisi aktualnya (Gambar 12 dan Gambar 13).

Tabel 8 Deskripsi Data Aktual dan Hasil Peramalan Model VAR(2) terhadap Konsentrasi BOD dan DO di Stasiun KBe1 Sungai Bedadung Periode Januari – September 2010

Variabel	N	Mean	Coef Variance
BODaktual (mg/L)	9	4,03	0,5396
BODramal (mg/L)	9	3,41	0,0586
DOaktual (mg/L)	9	5,39	0,2042
DOramal (mg/L)	9	6,06	0,0519

Sumber: hasil *running* Minitab 15

Dalam meramalkan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung, model VAR(2) belum mampu meredam fluktuasi atau perubahan yang cukup drastis yang sering terjadi di dalam sungai berkenaan dengan kondisi cuaca, curah hujan, debit dan pembuangan limbah di sepanjang aliran sungai. Hal ini sebenarnya sudah diantisipasi dengan melakukan uji *outlier* (8,2 sebelum melakukan pemodelan, tetapi ternyata belum efektif karena *outlier* terjadi lebih disebabkan oleh *human error*, sedangkan kualitas air sungai Bedadung sangat dipengaruhi oleh kondisi di daerah hulu dan daerah yang dilewati oleh aliran sungai tersebut. Kemampuan Sungai Bedadung di stasiun KBe1 untuk mempertahankan konsentrasi DO di atas 5 mg/L menunjukkan *self purification* masih berlangsung dengan baik karena didukung oleh *supply* oksigen yang cukup terutama karena aliran sungai di stasiun KBe1 ini cukup deras sehingga proses aerasi masih dapat berlangsung dengan baik.

4. Kesimpulan

- 1) Model VAR(2) adalah model terpilih untuk meramalkan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung Jember
- 2) BOD berkorelasi negatif lemah dengan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung dengan koefisien korelasi Pearson sebesar -0,423. Sedangkan debit tidak memiliki korelasi dengan BOD dan DO dengan nilai koefisien korelasi Pearson 0,005 dan 0,037 sehingga tidak digunakan dalam pemodelan VAR.
- 3) Hasil peramalan konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung menunjukkan bahwa peramalan model VAR(2) lebih tepat untuk periode ramalan jangka pendek, yaitu bulan Januari 2010, Februari 2010, dan Maret 2010, karena semakin jauh periode peramalan maka hasil

peramalan yang didapat juga semakin jauh dari data aktualnya.

- 4) Hasil peramalan model VAR(2) terhadap konsentrasi BOD dan DO di stasiun KBe1 Sungai Bedadung Jember belum memuaskan karena diduga masih ada variabel lain yang cukup kuat mempengaruhi konsentrasi BOD dan DO sehingga fluktuasi perubahan konsentrasi kedua variabel ini sangat tinggi, yang tidak mampu diramalkan oleh model VAR(2).

5. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan model konsentrasi BOD dan DO yang lebih *representatif* di Sungai Bedadung, misalnya dengan menggunakan model *intervensi* dan penambahan variabel *dummy* yang meliputi kondisi cuaca, curah hujan, debit dan pembuangan limbah sepanjang aliran sungai. Metode VAR struktural (SVAR) juga disarankan karena melibatkan pengamatan periode sekarang dan periode sebelumnya, sehingga dengan model SVAR ini dapat diketahui pengaruh variabel pada periode yang sama dan periode sebelumnya. Hal ini sesuai dengan kondisi air di sungai yang sangat kompleks dengan parameter-parameter kualitas air yang saling mempengaruhi pada saat yang bersamaan.

6. Pustaka

- Badruddin, (1987). The Correlation of Biotic and Abiotic Indications of Polluted Water in Citarum and Jatiluhur Reservoir. *Jurnal Litbang Pengairan*, No.6, Tahun II, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Basri, M.C., (2002). *Why Trends of Protection Changed Over Time in Indonesia?*. Institute of South East Asian Studies.
- Boano, F., Revelli, R. dan Ridolfi, L., (2006). Stochastic modelling of DO and BOD components in a stream with random inputs. *Advances in Water Resources* 29, p.1341–1350.
- Brahmana, S. dan Bahri, (2002). Pengaruh Nitrogen dan Fosfat terhadap terjadinya *Algal Bloom* di Waduk Karangates. *Buletin Pusair* Vol. XI No.38, Puslitbang Air, pp23 -28, Bandung.
- Hadi, Y.S.,(2003). Analisis Vector Autoregression (VAR) Terhadap Korelasi Antara Pendapatan Nasional Dan Investasi Pemerintah Di Indonesia, 1983/1984 – 1999/2000. *Jurnal Keuangan dan Moneter*, Volume 6, No. 2.
- Irianto, E.W. dan Machbub, B., (2004). Pengaruh Multiparameter Kualitas Air terhadap Parameter Indikator Oksigen Terlarut dan Daya Hantar Listrik (Studi Kasus Citarum Hulu). *JLP*, Vol. 18, No.54.
- Irianto, E.W. dan Machbub, B., (2010). Fenomena Hubungan Debit Air dan Kadar Zat Pencemar dalam Air Sungai (Studi kasus: Sub DPS Citarum Hulu). <http://api.ning.com/files/zsqyxDFQyLjccsYDhSqa8exPVp5lCm67IYwqnJhwafY/HubunganDebitdenganRiverParameter.pdf>
- Johnson, R.A. dan Winchern, D.W., (1998). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. edisi keempat, Prentice Hall, New Jersey.
- Lee, C. dan Bauer, J.G., (2000). *The US Dollar-Rupiah Exchange Rate: Driving Forces and*

Prospects. Nanyang Technological University, Singapore.

- Maruddani, D.A.I dan Safitri, D., (2008), "Vector Autoregressive (VAR) untuk Peramalan Harga Saham PT Indofood Sukses Makmur Indonesia", *Jurnal Matematika*, Vol. 11, No.1, hal. 6-12.
- Masduki, Ali, (2007), "Kualitas Air sebagai Indikator Pengelolaan DAS", <http://blog.its.ac.id/masduqi/2007/11/04/kualitas-air-sebagai-indikator-pengelolaan-daerah-pengaliran-sungai/>, posting 4 November 2007 (unduh 22 Desember 2010).
- Salmin, (2005). Oksigen Terlarut (DO) Dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator Untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*, Volume XXX, Nomor 3, hal. 21 – 26.
- Sutimin, (2006). Model Matematika Konsentrasi Oksigen Terlarut Pada Ekosistem Perairan Danau. Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang, E-mail: su.timin@yahoo.com
- Revelli, R. and Ridolfi, L., (2004). Stochastic dynamics of BOD in a stream with random inputs. *Advances in Water Resources* 27, 943–952.
- Wei, W.W.S., (1989), *Time Series Analysis*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., California.

7. Lampiran

Lampiran 1 MACF dan MPACF data awal dan hasil differencing lag 1 (d=1)

Schematic Representation of Correlations (*data awal*)

Name/Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					10					
Y	+-	+-	+-	+-	+-	+-	.-	+-	.-	.-
X	-+	-+	-+	-+	-+	.+	.+	..	.+	.+

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Schematic Representation of Partial Autocorrelations (*data awal*)

Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					10				
Y	+
X	-+

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Schematic Representation of Correlations (*d=1*)

Name/Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					10					
Y	+-	.--	+
X	-+	.-

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Schematic Representation of Partial Autocorrelations (*d=1*)

Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y	.--
X	.-	.-

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Lampiran 2 Dickey-Fuller Unit Root Test

Variable	Type	Rho	Prob< Rho	Tau	Prob< Tau
Y	Zero Mean	-175.954	0.0001	-9.29	<.0001
	Single Mean	-175.986	0.0001	-9.23	<.0001
	Trend	-176.919	0.0001	-9.20	<.0001
X	Zero Mean	-193.909	0.0001	-9.50	<.0001
	Single Mean	-193.495	0.0001	-9.43	<.0001
	Trend	-194.418	0.0001	-9.38	<.0001

Lampiran 3 Estimasi Parameter Akhir Model VAR(2)

Equation	Parameter	Estimate	Std Error	Prob> T	Variable
Y*t	β_{111}	-0,3937	0,1034	0,000	Y*(t-1)
X*t	β_{122}	-0,3790	0,1117	0,001	X*(t-1)
	β_{222}	-0,2980	0,1106	0,009	X*(t-2)

(Jurnal Elevasi, 2012): link
<http://digilib.unmuhjember.ac.id/gdl.php?mod=bro&op=read&id=umj-1x-rusdianase-969>