

***PEMODELAN DERET WAKTU MENGGUNAKAN
TEKNIK EXPONENSIAL SMOOTHING
UNTUK PERAMALAN DEBIT ALIRAN SUNGAI
(Studi Kasus Sungai Cabenge SWS WalanaE - CenranaE)***

Melly Lukman[1], Eko Susanto*)

ABSTRACT

Exponential Smoothing Method is one of the time series modelling method which is using to predict the floods . These method is very important in hydrologic engineering especially to know the trend and to predic the discharge of a river in the future . In this study the authors have been using 4 (four) Exponential Smoothing Methods which are; Single Exponential Smoothing, Double Exponential Smoothing, Triple Exponential Smoothing (Winters), and ARIMA to predict the discharge of Cabenge river in WalanaE-CendranaE River basin.. The result of this study shows that from the 4 Exponential Smoothing methods ofwhich have been applied , the Triple Exponential Smoothing (Winters) more suitable to predict the discharge in the study area.

Keywords : *Modelling, Time Series, Discharge prediction*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Prediksi terhadap kritisnya ketersediaan air di masa mendatang banyak didasarkan atas kecenderungan meningkatnya populasi penduduk dan jumlah industri atau dengan kata lain meningkatnya faktor kebutuhan air, yang diproyeksikan beberapa periode ke depan.

Hasil-hasil studi tentang keseimbangan ketersediaan dan kebutuhan air akan lebih akurat jika faktor ketersediaan air juga diramalkan untuk beberapa periode ke depan, bukan mengasumsikan bahwa ketersediaan air adalah tetap. Meskipun pada kenyataannya jumlah air di bumi adalah tetap dan hanya terdistribusi/berubah menurut ruang dan waktu. Mengingat kondisi lingkungan yang cenderung menurun dengan semakin banyaknya jumlah DAS yang kritis, maka dapat diduga bahwa akan ada perubahan kondisi aliran sungai dari waktu ke waktu. Kondisi seperti ini akan berdampak pada keteraturan ketersediaan debit aliran sungai untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Aspek seperti ini merupakan aspek yang penting untuk diakomodasi dalam suatu studi keseimbangan air guna mengetahui bagaimana kecenderungan dan peramalan kondisi debit aliran sungai untuk masa mendatang.

Untuk melakukan peramalan (*forecasting*) debit aliran sungai dapat digunakan pendekatan pemodelan deret waktu guna meramal nilai karakteristik tertentu pada periode ke depan. Hal ini dikarenakan bahwa pemodelan deret waktu merupakan dasar dari peramalan yang rasional, efektif, dan efisien. Teknik *Exponential Smoothing* adalah salah satu teknik pemodelan deret waktu yang dapat digunakan untuk peramalan.

Tujuan Studi

Memberikan gambaran penerapan Teknik *Exponential Smoothing* untuk analisis data hidrologi dalam bentuk deret waktu, khususnya dalam melakukan proses peramalan terhadap suatu nilai karakteristik tertentu dari komponen-komponen dalam daur hidrologi antara lain seperti hujan dan debit aliran sungai.

TINJAUAN PUSTAKA

Data deret waktu (*time series*) adalah data kuantitatif berdasarkan rentang waktu tertentu yang teratur. Komponen *time series* terdiri atas faktor trend, siklus, musiman, dan gerakan tak beraturan. Tujuan dari analisis *time series* adalah mengidentifikasi dan mengisolasi faktor-faktor di atas untuk memprediksi pola tertentu di masa mendatang.

Gambar 1. Bagan *Time Series* (Santoso, 2000)

Teknik *Moving Average* (MA) dan *Exponential Smoothing* (ES) merupakan teknik analisis data deret waktu dengan metode pemulusan. MA berada dalam kelompok metode perataan yang sederhana dan mudah dikerjakan. ES menggunakan bobot yang berbeda untuk data masa lalu dimana pembobotan akan menurun secara eksponensial terhadap nilai pengamatan yang lebih awal, pada metode ini diperlukan adanya penentuan parameter tertentu.

Termasuk di dalam Teknik MA diantaranya adalah *Single Moving Average* (SMA) dan *Double Moving Average* (DMA). Untuk SMA digunakan, jika data tidak ada trend, tidak ada komponen musiman, dan untuk peramalan jangka pendek. Metode ini mempunyai kelemahan tidak dapat menanggulangi adanya trend atau musiman, dan setiap data terakhir harus disimpan untuk meramalkan nilai periode berikutnya. Kelemahan dari SMA yang tidak dapat mengatasi masalah trend, dibuat variasinya dengan memperhitungkan trend yaitu DMA. Pada metode yang kedua ini dilakukan penghitungan rata-rata bergerak dari rata-rata bergerak dengan tujuan menghilangkan galat sistematis pada data trend. Kedua metode ini tidak dibahas lebih lanjut.

ES adalah suatu teknik yang memberikan peramalan yang dapat dihitung secara eksplisit. Teknik ES yang sering digunakan untuk peramalan suatu nilai karakteristik tertentu terdiri dari *Single Exponential Smoothing* (SES), *Double Exponential Smoothing* (DES), *Triple Exponential Smoothing* (TES), dan *ARIMA* (*Autoregressive Difference Moving Average*).

SES menghasilkan peramalan jangka pendek dan baik digunakan bila tidak ada trend atau komponen musiman. Untuk memperoleh deret waktu termuluskan secara eksponensial perlu ditentukan suatu konstanta pemulusan eksponensial yaitu α (yang besarnya antara 0 dan 1. Deret waktu termuluskan secara eksponensial, E_t dinyatakan dalam persamaan:

$$E_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) E_{t-1}$$

(1)

dimana:

X_t = nilai deret waktu ($t = 2, 3, \dots, n$)
 E_{t-1} = nilai termuluskan secara eksponensial pada waktu sebelum t
 α = konstanta pemulusan untuk level

Untuk $t = 1$, E_t sama dengan data nomor urut pertama.

Jika ada n periode data pengamatan, maka untuk peramalan periode waktu yang akan datang digunakan persamaan:

$$F_t = E_t$$

(2)

dimana:

F_t = nilai peramalan pada waktu yang akan datang t
 X_n = nilai deret waktu pada $t = n$
 t = periode waktu yang akan datang ($t = n+1, n+2, \dots$)

Ruas kanan dari persamaan (2) tidak tergantung dari t sehingga nilai F_t akan memberikan hasil yang sama untuk semua peramalan periode waktu yang akan datang. Hal ini menunjukkan kelemahan dari Teknik SES. Karena peramalan seperti ini adalah konstan untuk semua nilai yang akan datang, maka perubahan apapun pada trend dan/atau musiman tidak diperhitungkan (Kuntoro, 2005).

DES menggunakan 2 konstanta pemulusan yaitu α dan β , yang mengakomodasi adanya komponen trend di dalam deret waktu. Persamaan yang digunakan oleh Holt untuk menghitung komponen termuluskan secara eksponensial dan komponen trend:

$$E_t = \alpha X_t + (1 - \alpha) E_{t-1}$$

(3)

$$F_t = E_t + \beta (t - E_t)$$

(4)

Jika ada n periode data pengamatan, maka nilai peramalan untuk k periode setelah n digunakan persamaan:

(5)

dimana:

- T_t = komponen trend
(= konstanta pemuluan untuk trend yang nilainya antara 0 dan 1
 t = periode waktu yang akan datang ($t = n+k$)

Jika pada SES dan DES dapat digunakan untuk peramalan dengan syarat tidak ada komponen musiman, maka TES dapat mengatasi masalah musiman. TES menggunakan 3 konstanta pemuluan yaitu α , β , dan γ . Persamaan yang digunakan oleh Winters untuk menghitung komponen termuluskan secara eksponensial dengan komponen trend dan musiman:

(6)

(sama dengan persamaan untuk DES)

(7)

Jika ada n periode data pengamatan, maka nilai peramalan untuk k periode setelah n digunakan persamaan:

(8)

dimana:

- S_t = komponen musiman
(= konstanta pemuluan untuk trend yang nilainya antara 0 dan 1
 P = jumlah periode waktu dalam siklus

Dalam menentukan nilai α (ataupun konstanta lainnya yaitu β dan γ) yang optimal, perlu diperhitungkan kesalahan peramalan yang terjadi. Nilai-nilai konstanta ini ditentukan secara *trial and error*. Untuk nilai α , semakin kecil nilainya maka semakin kecil pula kesalahan peramalan yang terjadi. Apabila analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak, interpretasi hasil analisis yang perlu diperhatikan adalah: diagram plot, hasil peramalan, dan akurasi peramalan (MAPE, MAD, MSD). Semakin kecil nilai-nilai kesalahan peramalan seperti MAPE, MAD, dan MSD, maka hasil peramalan akan semakin akurat.

Cara lain yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat akurasi pemodelan deret waktu dengan menggunakan Teknik ES adalah kriteria Nash dan Sutcliffe (1970) dalam Riise *et al.* (1995) yang dinyatakan dengan rumus:

(9)

dimana:

Q_{pi} = debit pengamatan ke-i ($m^3/detik$),
 Q_{mi} = debit model/peramalan ke-i ($m^3/detik$),



= debit pengamatan rata-rata ($m^3/detik$).

METODE ANALISIS

Lokasi Studi

Lokasi studi pada SWS WalanaE - CenranaE dengan pos duga air yang digunakan dalam studi ini adalah pos duga air Cabenge Kabupaten Soppeng Propinsi Sulawesi Selatan. Luas SWS WalanaE - CenranaE adalah 7.380 km² dan berada antara 3°20'12LS–5°45'16"LS dan 119°40'30"BT–120°55'32"BT. Lokasi studi disajikan pada gambar 2.

Tahapan Analisis

1. Mempersiapkan data debit rata setiap bulan (Q) dalam $m^3/detik$ sejak tahun 1992 sampai 2001 (120 bulan panjang data). Data tahun 1992(2001 digunakan untuk pemodelan, sedangkan data tahun 2002 digunakan untuk uji keandalan model.

2. Peramalan Debit Aliran Sungai Model *Single Exponential Smoothing*

i. Pilih konstanta pemulusan (α) yang besarnya berkisar 0(1, nilai α yang lebih kecil akan memberikan bobot lebih kecil untuk nilai saat ini dari deret dan menghasilkan deret lebih termuluskan.

ii. Hitung deret termuluskan secara eksponensial, E_t :

$$\begin{aligned} E_1 &= Q_1 \\ E_2 &= (\alpha Q_2 + (1-\alpha)Q_1) \\ E_3 &= (\alpha Q_3 + (1-\alpha)Q_2) \\ E_n &= (\alpha Q_n + (1-\alpha)Q_{n-1}) \end{aligned} \quad (10)$$

iii. Hitung peramalan untuk periode yang akan datang:

$$F_t = (\alpha Q_n + (1-\alpha)Q_n, \text{ dengan } t = n+1, n+2, \dots) \quad (11)$$

3. Peramalan Debit Aliran Sungai Metode *Double Exponential Smoothing*

i. Pilih konstanta pemulusan (α) dan (β) yang masing-masing besarnya berkisar 0(1.

ii. Hitung deret termuluskan secara eksponensial, E_t dan komponen *trend*, T_t untuk $t = 2, 3, \dots, n$:

(12)

(13)

iii. Hitung peramalan untuk periode yang akan datang:

(14)

4. Peramalan Debit Aliran Sungai Metode *Triple Exponential Smoothing* (Winters)

i. Pilih konstanta pemulusan (α), (β), dan (γ) yang besarnya berkisar 0(1.

ii. Tentukan P , jumlah periode waktu dalam 1 siklus. Dalam studi ini diasumsikan 1 siklus debit aliran sungai adalah satu tahun atau 12 bulan yang mewakili 6 bulan musim kemarau dan 6 bulan musim penghujan, dengan demikian diambil harga $P = 12$.

iii. Hitung deret termuluskan secara eksponensial (E_t), komponen *trend* (T_t), dan komponen musiman/siklus (S_t), untuk $t = 2, 3, \dots, n$:

Gambar 2. Lokasi Studi (Sumber gambar: Master Plan WalCen 2002)

(15)

(16)

(17)

iv. Hitung peramalan untuk periode yang akan datang:

(18)

v. α , β , dan γ dioptimalkan nilainya dengan cara *trial and error*.

5. Peramalan Debit Aliran Sungai Metode ARIMA

- i. Pilih konstanta pemulusan ARIMA (p , d , q) yang besarnya berkisar 0-2
- ii. Tentukan P , jumlah periode waktu dalam 1 siklus. Dalam studi ini diasumsikan 1 siklus debit aliran sungai adalah satu tahun atau 12 bulan yang mewakili 6 bulan musim kemarau dan 6 bulan musim penghujan, dengan demikian diambil harga $P = 12$.
- iii. Pilih konstanta seasonal (P , D , Q) yang besarnya berkisar 0-2
- iv. Prosedur selanjutnya sama dengan Metode TES (sub point 5iii - iv)
- v. Nilai (p , d , q) (P , D , Q) dioptimalkan dengan berbagai kombinasi.

6. Perbandingkan hasil peramalan ketiga Model ES yaitu SES, DES, TES, dan ARIMA di atas. Masing-masing hasil peramalan di atas menghasilkan nilai MAPE, MAD, dan MSD. Selain itu, debit hasil peramalan juga diperbandingkan terhadap debit terukur berdasarkan nilai KN untuk mengetahui tingkat akurasi model dalam melakukan peramalan. Model yang terbaik dipilih sebagai model untuk meramal debit aliran sungai untuk periode yang akan datang di lokasi studi.

Tahapan analisis di atas diselesaikan dengan bantuan Paket Program *MINITAB for Windows versi 11.0*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Peramalan Debit Aliran Sungai Cabenge pada SWS WalanaE - CenranaE dengan menggunakan *Software MINITAB for Windows versi 11.0*, baik untuk *SES*, *DES*, *ataupun TES*, dapat ditunjukkan pada Gambar 3 sampai Gambar. 7. Perbandingan nilai akurasi model ditunjukkan pada Tabel 1, dan perbandingan hasil peramalan ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pemodelan deret waktu untuk *SES* pada Gambar 3 dan *DES* pada Gambar 4. Penentuan konstanta pemulusan yang optimal dilakukan secara otomatis melalui fasilitas yang ada pada program komputer. Hasil pemodelan untuk *TES* dalam gambar 5 menggunakan konstanta pemulusan mula-mula (*default*) yang ada pada fasilitas program komputer, sedangkan pada Gambar 6 telah dilakukan optimasi dengan mengacu pada kriteria MAPE, MAD, dan MSD yang lebih rendah. Pada Gambar 7 disajikan hasil pemodelan dengan teknik ARIMA.

Peramalan dengan menggunakan *SES* menghasilkan nilai debit rata-rata yang sama untuk setiap bulan (Januari–Desember 2002) yaitu $85.32 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini menunjukkan kelemahan dari *SES* yang

tidak memperhitungkan adanya komponen trend dan komponen musiman. Dengan demikian hasil peramalan yang diperoleh adalah konstan untuk semua nilai pada periode yang akan datang, sehingga penggunaan metode ini lebih disarankan untuk kondisi data yang tidak dipengaruhi komponen trend dan musiman relatif tidak bermakna.

Peramalan dengan menggunakan DES menunjukkan nilai kesalahan MAPE yang lebih kecil, namun nilai MAD dan MSD yang lebih besar. Namun demikian perbedaan nilai kesalahan tersebut relatif sedikit. Peramalan menggunakan TES menghasilkan nilai MAPE yang lebih besar tetapi nilai MAD dan MSD yang lebih kecil daripada menggunakan SES dan DES. Namun demikian hasil peramalan dengan menggunakan TES merupakan hasil yang belum optimal karena nilai-nilai konstanta pemulusan masih menggunakan nilai *default* yang disediakan oleh fasilitas program komputer, sedangkan konstanta pemulusan pada SES dan DES telah dioptimasi secara otomatis oleh program komputer.

Peramalan dengan teknik ARIMA yang dilakukan dengan berbagai kombinasi (p, d, q) (P, D, Q) kombinasi terbaik adalah ARIMA (011) Seasonal (010). Perbandingan debit peramalan ARIMA (011) Seasonal (010) terhadap debit terukur menghasilkan Nilai KN = 0,59 = 59 %.

Hasil optimasi konstanta pemulusan pada TES, memberikan nilai peramalan yang lebih akurat dibanding SES dan DES. Nilai kesalahan TES dengan konstanta pemulusan teroptimasi baik MAPE, MAD, dan MSD lebih kecil dibandingkan SES dan DES. Perbandingan debit peramalan dengan TES terhadap nilai debit terukur (tahun 2002), menunjukkan nilai KN = 0,93 = 93%. Untuk debit peramalan dengan SES maupun DES menghasilkan nilai KN yang sangat kecil.

Dari perbandingan 4 Teknik ES pada kasus ini, maka dipilih Teknik TES_{opt} untuk digunakan dalam peramalan debit aliran sungai Cabenge pada SWS WalanaE - CenranaE. Akurasi hasil peramalan TES yang salah satunya dapat ditunjukkan oleh nilai KN = 93%.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Akurasi Model

Kesalahan	Teknik Exponential Smoothing			
	SES	DES	WMM	WMMopt
MAPE	142,55	91,12	73,73	21,49
MAD	54,36	61,51	55,69	29.09
MSD	4.769,79	7340,61	7977,30	1632.47

Keterangan: SES = Single Exponential Smoothing, DES = Double Exponential Smoothing, WMM = Winters' Multiplicative Model /Triple Exponential Smoothing, WMMopt = WMM dengan konstanta pemulusan yang telah dioptimasi

Gambar 3. Hasil Peramalan Teknik

Gambar 4. Hasil Peramalan Teknik

Single Exponential Smoothing

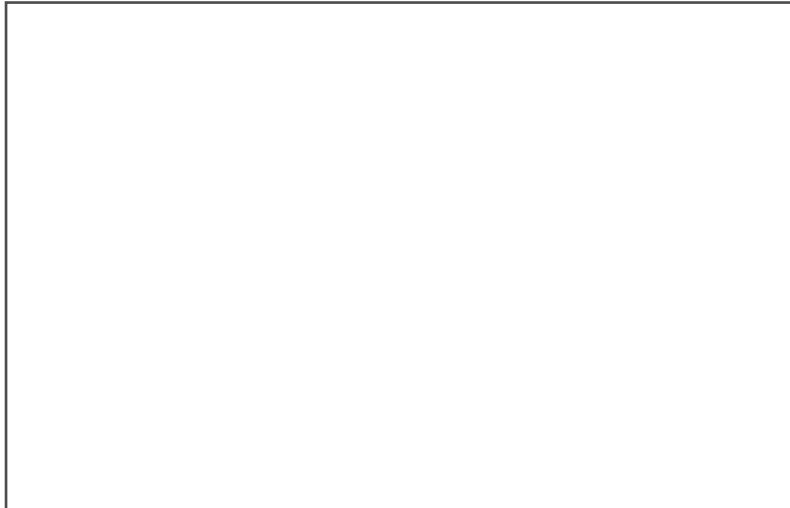
Double Exponential Smoothing

Gambar 5. Hasil Peramalan Teknik
Triple Exponential Smoothing dari Winters dengan nilai konstanta pemulusan *default* konstanta pemulusan.

Gambar 6. Hasil Peramalan Teknik
Triple Exponential Smoothing dari Winters setelah dilakukan optimasi

Gambar 7. Hasil Peramalan Teknik *ARIMA (011) Seasonal (010)*

Tabel 2. Perbandingan Debit Peramalan dengan
Debit Terukur Sungai Cabenge SWS WalCen



Sumber: Hasil Analisis



Gambar 8. Perbandingan Debit Aliran Sungai Cabenge Terukur
dengan Berbagai Model Time Series

SIMPULAN

Dari 4 Teknik ES yang diujicobakan dalam studi ini, TES memberikan nilai peramalan yang lebih akurat dibanding SES, DES, dan ARIMA. TES memiliki nilai kesalahan baik MAPE, MAD, dan MSD lebih kecil dibandingkan SES dan DES, dan perbandingan debit peramalan dengan nilai debit terukur menunjukkan nilai KN sebesar 93%. Untuk meramalkan debit aliran sungai Cabenge pada SWS WalanaE - CenranaE dapat dilakukan dengan menggunakan Teknik *Triple Exponential Smoothing* (Winters).

SARAN

Perbandingan debit aliran sungai hasil peramalan dan data terukur pada Sungai Cabenge pada SWS WalanaE - CenranaE menunjukkan nilai akurasi dari Teknik *Triple Exponential Smoothing* (Winters) berdasarkan nilai KN sebesar 93%, dimana untuk keperluan studi lebih lanjut nilai dalam hal ini peramalan debit dalam jangka panjang perlu diupayakan untuk ditingkatkan lagi melalui optimasi konstanta pemulusan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ilyas, M.A., dan R. Effendy. (1993). *Pemanfaatan Sumber Daya Air Sungai di Pulau Jawa Hampir Mendekati Kritis*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan. No. 28 Th. 8–Kw. II 1993. ISSN 0215-1111. pp. 51-57. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan. Bandung.
2. Kodoatie, R.J. dan R. Sjarief (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Andi. Yogyakarta.
3. Kuntoro. (2005). *Konsep Dasar Deret Waktu*. Materi Pelatihan Pemodelan Time Series, Angkatan I. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Airlangga. Surabaya.
4. Notobroto, H.B. (2005). *Metode Rata-rata Bergerak (Moving Average) dan Pemulusan Eksponensial (Exponential Smoothing)*. Materi Pelatihan Pemodelan Time Series, Angkatan I. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Airlangga. Surabaya.
5. Riise, L.M., B.Y. Liu, and M.A. Nearing. (1995). *Using Curve Numbers to Determine Baseline Values of Green-Ampt EffectiveHydraulic Conductivities*. Water Resources Bulletin, Journal of the American Water Resources Association. Vol. 31 No. 1. February 1995. ISSN 0043-1370. pp. 147-158. American Water Resources Association. Herndon, Virginia.
6. Santoso, S. (2000). *Buku Latihan SPSS Statistik Parametrik*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta.
7. Sugiarto, E. (1995). *Kajian Ketersediaan dan Kebutuhan Air Untuk Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu*. Tesis Magister Sains. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

TEKNIK
KEAIRAN

Time Series

Menghitung Irend

Moving Average

Exponential Smooting

Model Autoregrasi

Irend Exponential

Irend Quadratic

Irend
Linier

Tidak

Ya



Q Peramalan



Pos Duga Air