

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

Peramalan debit aliran sungai

**Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah
Nomor : 360/KPTS/M/2004
Tanggal : 1 Oktober 2004**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

Prakata

Pedoman umum peramalan debit aliran sungai ini termasuk dalam Gugus Kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Air Tanah dan Air Baku pada Sub Panitia Teknik Sumber Daya Air dan berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.

Pedoman ini mengacu terutama pada publikasi *World Meteorological Organization* dengan nomor WMO-No.49 dan WMO-No.168.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 29 Juli 2003 Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman ini disusun sebagai pedoman umum dalam peramalan debit aliran sungai, yang meliputi tahap pengembangan prosedur peramalan dan pelaksanaan peramalan. Pedoman ini dapat digunakan untuk peramalan debit aliran sungai selain debit banjir, yaitu untuk ketersediaan air pada aliran rendah, misalnya dalam pengelolaan alokasi air secara tepat waktu.

Dalam pedoman ini telah diberikan contoh terperinci mengenai beberapa metode yang telah diuji-coba di lapangan, yaitu metode peramalan sederhana, metode resesi, dan metode Thomas-Fiering. Pengujian dilakukan pada Balai-balai PSDA percontohan dalam kerangka proyek *Basin Water Resources Management* (BWRM).

Pedoman umum ini diharapkan dapat menjadi payung atau induk dari pedoman-pedoman peramalan debit aliran sungai yang lebih rinci.

Daftar isi

Prakata	ii
Daftar isi	iii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Jenis dan akurasi peramalan debit aliran sungai	2
4.1 Klasifikasi jangka waktu peramalan	2
4.2 Penggunaan peramalan debit aliran sungai	2
4.3 Akurasi dan ketidakpastian peramalan	3
5 Pelayanan peramalan debit aliran sungai	3
5.1 Persyaratan teknis lembaga peramalan debit aliran sungai	3
5.2 Kegiatan pusat peramalan	4
6 Data untuk peramalan	4
6.1 Data untuk pengembangan prosedur peramalan	6
6.2 Data untuk operasi peramalan	6
7 Teknik peramalan	7
7.1 Teknik peramalan secara sederhana	7
7.2 Teknik korelasi dan regresi	7
7.3 Metode resesi	8
7.4 Analisis deret waktu	8
7.5 Model konseptual	11
7.6 Peramalan dengan penyesuaian	11
7.7 Peramalan debit aliran sungai berdasarkan volume air	11
7.8 Peramalan probabilitas	11
8 Pengembangan prosedur peramalan	12
8.1 Pemilihan metode	12
8.2 Penentuan parameter dan koefisien model	13
9 Verifikasi peramalan	14
9.1 Kriteria verifikasi	14
9.2 verifikasi peramalan operasional	15
10 Diseminasi peramalan	15

Lampiran A	Kelembagaan peramalan debit aliran sungai di Indonesia pada saat ini	16
Lampiran B	Contoh peramalan metode Resesi	18
Lampiran C	Contoh Peramalan metode Thomas-Fiering	20
Lampiran D	Daftar nama dan lembaga	21
Bibliografi	22

Pendahuluan

Bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya perekonomian menyebabkan semakin hari semakin meningkat pula kebutuhan air. Di lain pihak air yang tersedia jumlahnya tetap. Bahkan, cenderung mengalami penurunan yang disebabkan oleh perubahan tata guna lahan dan pencemaran air. Hal ini menuntut pengelolaan alokasi air yang lebih cermat, efisien, dan efektif, yaitu pengelolaan alokasi dan distribusi air secara tepat waktu.

Pengelolaan alokasi air secara tepat waktu terdiri atas tahap pengumpulan data kebutuhan air dan ketersediaan air saat ini, peramalan ketersediaan air pada periode mendatang, dan perencanaan alokasi air dan pelaksanaan alokasi air.

Pedoman ini disusun untuk meramal debit aliran sungai yang menggambarkan ketersediaan air pada aliran rendah dalam pengelolaan alokasi air.

Peramalan debit aliran sungai

1 Ruang lingkup

Pedoman ini membahas hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mengembangkan prosedur dan melaksanakan peramalan debit aliran sungai, selain dari debit banjir.

Pedoman ini dapat dipergunakan untuk mengembangkan dan melaksanakan peramalan ketersediaan air pada aliran rendah.

Pedoman umum ini membahas :

- a) jenis dan akurasi peramalan debit aliran sungai,
- b) pelayanan peramalan debit aliran sungai,
- c) data untuk peramalan,
- d) teknik peramalan,
- e) pengembangan prosedur peramalan,
- f) verifikasi peramalan, dan
- g) diseminasi peramalan.

2 Acuan normatif

- SNI 03-2414-1991 : Metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka.
- SNI 03-2415-1991 : Metode perhitungan debit banjir.

3 Istilah dan definisi

3.1 Aliran dasar adalah aliran yang berasal dari air hujan yang masuk ke dalam tanah dan keluar ke palung sungai.

3.2 Aliran rendah adalah debit aliran sungai pada saat tidak ada hujan, atau pada musim kemarau.

3.3 Daerah pengaliran sungai (DPS) adalah daerah kesatuan tata air yang terbentuk secara alamiah di sekitar sungai. DPS dibatasi bentuk topografi yang curah hujannya jatuh di sebelah dalamnya, meresap, atau mengalir ke dalam satu sistem pengaliran melalui lahan, anak sungai, sungai induk, dan ke muaranya (laut, danau, atau waduk).

3.4 Galat peramalan adalah selisih antara nilai besaran yang diramalkan dan nilai sebenarnya yang diamati.

3.5 Jangka waktu peramalan adalah jangka waktu antara peramalan diumumkan dan terjadinya besaran unsur-unsur hidrologi yang diharapkan.

3.6 Ketersediaan air adalah jumlah air yang tersedia pada suatu lokasi dengan tingkat keandalan tertentu.

3.7 Pembaharuan ramalan adalah memperbaharui ramalan unsur-unsur iklim berdasarkan informasi atau data baru yang tersedia.

3.8 Peramalan adalah menaksir sesuatu besaran yang diperkirakan akan terjadi pada saat tertentu di masa mendatang dengan batasan waktu yang jelas.

3.9 Pusat peramalan adalah kantor pusat peramalan yang bertanggung jawab mempersiapkan analisis dan diagram prognostik atau peramalan untuk disebarakan ke pos cabang atau pengguna terkait di suatu daerah.

3.10 Ramalan sederhana adalah ramalan yang sederhana dan dapat dilakukan secara mudah oleh orang awam.

3.11 Verifikasi ramalan adalah penetapan ketelitian ramalan dengan analisis statistik terhadap galat peramalan.

4 Jenis dan akurasi peramalan debit aliran sungai

4.1 Klasifikasi jangka-waktu peramalan

Menurut jangka-waktunya, peramalan debit aliran sungai dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jangka-waktu peramalan sebagai berikut.

- a) Peramalan jangka-pendek adalah peramalan dengan jangka-waktu sampai dengan dua hari sejak pengumuman ramalan.
- b) Peramalan jangka-menengah adalah peramalan dengan jangka-waktu antara dua hari sampai dengan setengah bulan sejak pengumuman ramalan.
- c) Peramalan jangka-panjang adalah peramalan dengan jangka-waktu lebih dari setengah bulan sejak pengumuman ramalan.
- d) Peramalan musim adalah peramalan dengan jangka-waktu sebuah musim yang mencakup beberapa bulan atau lebih.

4.2 Penggunaan peramalan debit aliran sungai

Peramalan debit aliran sungai diperlukan pada tahap perencanaan, desain, konstruksi, operasi, dan pemeliharaan untuk memperkirakan ketersediaan air pada aliran rendah.

Peramalan pasok air (ketersediaan air) sangat diperlukan dalam pengoperasian sistem tata air untuk penyediaan air domestik, perkotaan dan industri, irigasi, dan listrik tenaga air. Ramalan ini pada umumnya menyangkut debit aliran untuk durasi tertentu, misalnya debit tahunan, musiman, bulanan, tengah-bulanan, atau sepuluh-harian. Pada beberapa Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) di Jawa pengelolaan alokasi air telah lazim melakukan peramalan dengan jangka-waktu tengah-bulanan atau sepuluh-harian (di Jawa Timur) melalui proyek *Basin Water Resources Management (BWRM)*.

Pemilihan metode peramalan bergantung pada karakteristik DPS, data yang tersedia, dan kebutuhan pengguna ramalan. Metode yang umum digunakan adalah model konseptual, metode resesi, dan analisis deret-waktu.

Peramalan debit aliran rendah untuk jangka pendek dan menengah dapat dilakukan dengan menggunakan karakteristik resesi dari DPS. Meskipun demikian, perlu dipertimbangkan hal-hal yang menyimpang dari sifat resesi pada musim kemarau, misalnya akibat campur tangan manusia dalam pemompaan untuk irigasi dan alih aliran antar-DPS.

Peramalan jangka panjang pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode korelasi dan regresi yang peubah bebasnya adalah lengas tanah, curah hujan dan suhu. Dalam beberapa hal curah hujan dapat dibagi atas beberapa peubah musiman yang terpisah dengan bobot yang berbeda. Teknik probabilitas matriks transisi dan Teori Rantai Markov (*Markov Chain*) dapat juga digunakan untuk peramalan jangka panjang.

4.3 Akurasi dan ketidakpastian peramalan

a) Akurasi peramalan

Manfaat suatu ramalan debit bergantung pada seberapa baik akurasi ramalan tersebut. Akurasi peramalan debit adalah perbedaan antara debit peramalan dengan kenyataannya bergantung pada tujuan peramalan.

b) Jangka-waktu peramalan

Selain akurasi perlu juga dipertimbangkan jangka-waktu peramalan karena berkaitan dengan ketepatanwaktuan. Semakin pendek jangka-waktu peramalan, semakin tinggi akurasi peramalan.

Kualitas akurasi besaran dan jangka-waktu suatu ramalan bergantung pada.

- 1) jumlah dan keandalan data hidrometeorologi yang tersedia,
- 2) kondisi DPS,
- 3) teknik peramalan yang digunakan,
- 4) waktu yang disediakan untuk diseminasi hasil peramalan pada para pengguna.

c) Ketidakpastian peramalan

Penyebab ketidakpastian peramalan debit aliran, antara lain :

- 1) galat pengukuran,
- 2) galat model, dan
- 3) variabilitas alami dari masukan pada sistem hidrologi, yaitu curah hujan, kelembapan tanah, dan kondisi awal debit alirannya.

Peramalan sebaiknya mencakup perkiraan besarnya galat peramalan yang mungkin terjadi dan menginformasikannya pada para pengguna ramalan.

5 Pelayanan peramalan debit aliran sungai

5.1 Persyaratan teknis lembaga peramalan debit aliran sungai

Pelayanan peramalan debit aliran sungai dilakukan oleh suatu lembaga tertentu yang diharapkan memiliki berbagai sumber daya yang :

- a) didukung oleh jaringan pos hidrologi dan meteorologi,
- b) memiliki fasilitas komunikasi yang handal untuk pengumpulan dan distribusi informasi hidrologi dan meteorologi,
- c) memiliki database hidrometeorologi, dan
- d) memiliki tenaga ahli hidrologi, telekomunikasi dan sumber daya air.

Lembaga tersebut diharapkan dapat memberikan saran mengenai cara pengoperasian sistem tata air dan bangunan pengendalian banjir seperti bendungan, listrik hidro, irigasi, dan drainase.

5.2 Kegiatan pusat peramalan

Kegiatan utama suatu pusat peramalan hidrologi adalah

- a) mengumpulkan dan mengolah data hidrologi, data debit, dan muka air, data dan ramalan cuaca, serta aktivitas yang berkaitan dengan air, misalnya jadwal dan pola tanam serta kebutuhan air baku,

- b) menerbitkan buletin secara periodik yang menganalisis situasi terakhir, menyusun ramalan, dan memberikan peringatan,
- c) mendistribusikan informasi mutakhir, analisis, ramalan, dan peringatan pada pengguna yang terkait,
- d) mengevaluasi akurasi dan efektivitas ramalan, dan
- e) menganalisis kebutuhan pengguna ramalan dan penyempurnaan sistem peramalan.

Pada Lampiran A dibahas secara khusus mengenai kelembagaan peramalan debit aliran sungai di Indonesia yang berlaku pada saat ini.

6 Data untuk peramalan

Proses peramalan dapat dibagi atas dua bagian, yaitu

- a) tahap pengembangan prosedur peramalan atau perhitungan parameter model dan
- b) tahap operasional peramalan.

Secara umum kebutuhan data untuk kedua tahap tersebut dapat dilihat pada bagan alir Gambar 1.

Sesuai dengan tahap peramalan, data yang diperlukan untuk peramalan debit aliran sungai dapat dibagi atas dua kelompok, yaitu

- a) data untuk pengembangan prosedur peramalan dan
- b) data untuk operasional peramalan.

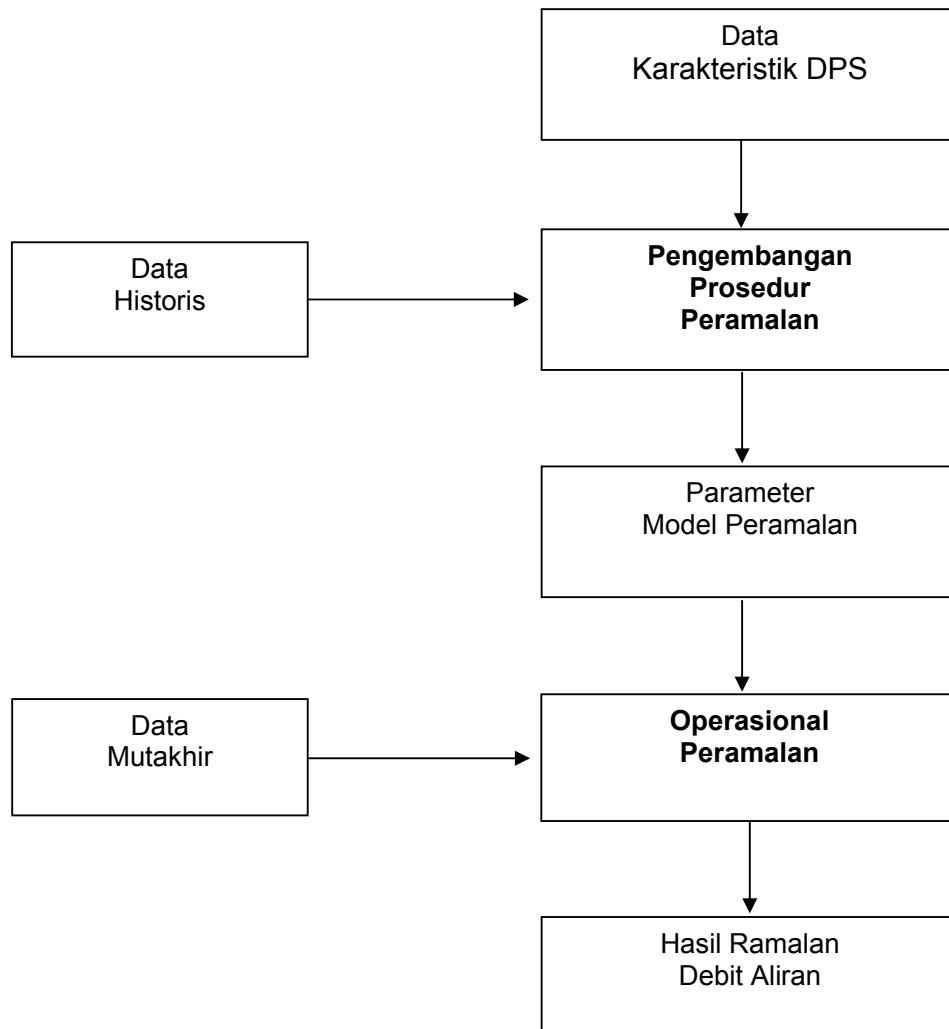
Keandalan suatu prosedur peramalan terkait langsung dengan

- a) banyaknya data yang tersedia untuk pengembangan prosedur, dan
- b) konsistensi data yang berarti tidak mengalami perubahan karakteristik pada saat pengembangan maupun pada saat operasional peramalan.

Banyaknya data yang dibutuhkan bergantung pada

- a) metode peramalan,
- b) jangka-waktu peramalan, dan
- c) karakteristik DPS.

Metode peramalan yang dapat diterapkan bergantung pada ketersediaan data seperti terlihat pada Tabel 1.



Gambar 1 Tahap peramalan debit aliran

Tabel 1 Metode peramalan yang dapat dilakukan sesuai dengan data yang ada

Metode \ Data Tersedia	Debit runtut waktu panjang	Debit yang terbatas	Debit pos tetangga, panjang	Curah hujan	Tidak ada data
1. Sederhana	✓	✓	✓	✓	✓
2. Korelasi dan Regresi	✓		✓	✓	
3. Resesi	✓	✓			
4. Analisis Deret Waktu	✓				
5. Model Konseptual				✓	
6. Peramalan dengan penyesuaian	✓				
7. Peramalan debit berdasarkan volume	✓				
8. Peramalan Probabilitas	✓				

Jika tersedia data debit runtut waktu yang cukup panjang (diatas 10 tahun) pada lokasi yang dikaji, dapat dilakukan peramalan dengan metode stokastik. Jika data yang tersedia terbatas panjangnya, misalnya hanya setahun data, dapat dilakukan metode resesi.

Dalam kasus data debit pada lokasi tidak tersedia, dapat digunakan metode korelasi dan regresi berdasarkan data pos tetangga, misalnya untuk meramalkan air masuk Waduk Saguling dapat digunakan data Pos Nanjung yang terletak di hulunya.

Bilamana tidak terdapat data debit sama sekali, dengan data curah hujan dapat dilakukan peramalan dengan metode konseptual.

6.1 Data untuk pengembangan prosedur peramalan

Sebelum dapat dilakukan peramalan, prosedur peramalan harus dikembangkan terlebih dahulu melalui proses kalibrasi sehingga diperoleh parameter-parameter yang dapat digunakan untuk operasional peramalan.

Data yang digunakan dalam pengembangan prosedur peramalan pada dasarnya terdiri atas dua kelompok data, yaitu sebagai berikut.

- a) Data hidrometeorologi yang selalu berubah menurut waktu, yaitu ialah data curah hujan, evapotranspirasi, dan debit aliran sungai. Pengumpulan data hidrometeorologi ini mencakup sebanyak mungkin data historis yang pernah ada dan pernah dilakukan uji konsistensi.
- b) Data karakteristik DPS yang bersifat relatif konstan ialah data geografi, geologi, dan tata guna lahan.

6.2 Data untuk operasi peramalan

Setelah prosedur peramalan ditentukan dengan menggunakan data historis, pada saat operasi peramalan diperlukan pula data sebagai masukan dari metode peramalan yang digunakan.

Data yang pada umumnya diperlukan untuk peramalan jangka pendek, antara lain adalah

- a) kondisi muka air, debit sungai, dan muka air danau di bagian hulu dari lokasi yang akan diramalkan,
- b) curah hujan beserta distribusinya menurut waktu (temporal) maupun secara spasial,
- c) kondisi lahan yang berubah menurut waktu, misalnya adalah lengas tanah, dan
- d) data debit ramalan dan realisasinya pada periode yang sebelumnya.

Untuk peramalan jangka panjang pada umumnya diperlukan data:

- a) curah hujan pada jangka waktu yang lebih panjang,
- b) kondisi muka air sungai dan danau,
- c) debit aliran sungai, dan
- d) data debit ramalan dan realisasinya pada periode yang lalu.

Selama menjalankan operasi peramalan dengan ketersediaan data hidroklimatologi yang paling mutakhir, sebaiknya dilakukan pembaharuan ramalan, dengan menyesuaikan parameter dan koefisien model peramalan berdasarkan data yang terakhir.

7 Teknik peramalan

Pada dasarnya terdapat empat katagori teknik peramalan hidrologi, yaitu :

- a) model empiris (mencakup teknik lengas tanah dan teknik keterkaitan tinggi muka air) dan model konseptual proses hidrologi di daratan,
- b) model yang didasarkan atas proses pertukaran panas dalam badan air, contohnya adalah proses mencairnya es menjadi aliran sungai,
- c) model empiris dan model penelusuran banjir untuk menghitung banjir dan perambatannya,
- d) metode yang didasarkan atas analisis proses sirkulasi atmosfer,
- e) model matematis secara umum yang mencakup korelasi dan regresi, analisis deret-waktu, teknik penyesuaian, dan peramalan probabilitas.

Teknik-teknik yang digunakan dalam peramalan debit aliran sungai di Indonesia pada saat ini adalah kategori a) model empiris dan konseptual / dan e) model matematis umum. Pada pedoman ini dibahas mulai dari teknik yang paling sederhana, yaitu teknik peramalan sederhana, teknik korelasi dan regresi, metode resesi, analisis deret waktu, model konseptual, peramalan dengan penyesuaian, peramalan berdasarkan penyesuaian, peramalan debit aliran sungai berdasarkan volume air, dan peramalan probabilitas. Yang telah diuji coba dan dianjurkan untuk digunakan adalah metode resesi dan metode Thomas-Fiering.

7.1 Teknik peramalan secara sederhana

Peramalan secara sederhana merupakan metode peramalan yang paling sederhana dan dapat dilakukan oleh orang awam sekalipun. Metode ini dapat dilakukan dengan berbagai cara berikut.

- a) Meramalkan bahwa debit pada masa mendatang sama dengan debit saat ini. Teknik sederhana ini banyak digunakan dan dapat memberikan hasil yang cukup baik pada kondisi musim kemarau dan jangka waktu pendek dan menengah.
- b) Meramalkan bahwa debit pada masa mendatang sama dengan debit rata-rata pada periode yang sama. Teknik ini pada umumnya dilakukan untuk jangka waktu yang panjang, misalnya debit rata-rata tahunan.

7.2 Teknik korelasi dan regresi

Koefisien korelasi menyatakan keterkaitan antardua buah peubah yang banyak digunakan dalam analisis hidrologi. Regresi merupakan perluasan konsep korelasi yang memberikan rumus pada peubah yang dikaji.

Regresi dapat dilakukan secara linear dengan satu atau lebih peubah bebas, atau non linear seperti kuadratis atau eksponensial. Jika koefisien korelasi antara dua peubah yang dikaji rendah, berarti tidak ada kaitan linear antara kedua peubah tersebut. Berdasarkan grafik sebaran data dapat disimpulkan apakah kedua buah peubah tersebut berkaitan secara linear, non linear, atau tidak ada kaitan sama sekali.

Contoh :

Regresi linear digunakan untuk meramalkan debit aliran sungai pada bulan September berdasarkan debit aliran sungai pada bulan Juli dan Agustus.

$$Q_{\text{September}} = a + b Q_{\text{Juli}} + c Q_{\text{Agustus}} \dots\dots\dots(1)$$

dengan pengertian :

$Q_{\text{September}}$ adalah debit aliran sungai rata-rata pada bulan September

Q_{Agustus} adalah debit aliran sungai rata-rata pada bulan Agustus

Q_{Juli} adalah debit aliran sungai rata-rata pada bulan Juli

a, b, c adalah koefisien-koefisien model regresi

7.3 Metode resesi

Metode resesi merupakan aplikasi teori hidrologi yang menyatakan bahwa debit aliran sungai pada musim kemarau saat tidak terjadi hujan merupakan aliran dasar (*baseflow*). Aliran dasar ini akan menurun secara eksponensial menurut persamaan resesi sebagai berikut.

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \dots\dots\dots(2)$$

dengan pengertian :

Q_t adalah debit aliran pada saat t (m^3/s)

Q_0 adalah debit aliran pada saat ini (m^3/s)

t adalah waktu (hari)

k adalah konstanta koefisien resesi

Dari data debit aliran sungai historis beberapa tahun yang lalu dapat diperkirakan besarnya koefisien k. Selanjutnya, dapat digunakan untuk meramalkan debit aliran sungai pada jangka-waktu mendatang.

Langkah-langkah pengerjaan untuk melaksanakan peramalan debit aliran sungai dengan metode resesi adalah sebagai berikut.

7.3.1 Tahap perhitungan parameter

- 1) Pilih satu tahun data dan gambarkan grafik *time-series* debit alirannya untuk menentukan waktu awal dan akhir periode resesi. Grafik dengan skala logaritma akan sangat membantu sebab periode resesi akan tampak sebagai garis lurus dalam grafik logaritma.
- 2) Tentukan koefisien resesi dengan cara menggunakan persamaan (1) untuk dua kondisi, yaitu debit pada awal musim kemarau dan debit pada akhir musim kemarau sehingga diperoleh nilai k.
- 3) Lakukan hal yang sama untuk tahun data yang lainnya dan ambil nilai koefisien resesi k rata-ratanya.

7.3.2 Tahap operasional peramalan

Gunakan nilai k tersebut untuk meramalkan debit aliran sungai pada jangka-waktu mendatang.

Jika tidak tersedia cukup data (hanya ada satu tahun data), cukup digunakan nilai koefisien k dari data yang ada.

Peramalan metode resesi ini dapat pula dipandang sebagai suatu regresi eksponensial peubah debit aliran sungai terhadap debit periode sebelumnya.

7.4 Analisis deret waktu

Berdasarkan data debit aliran sungai historis runtut-waktu (*time-series*), dapat dilakukan analisis deret waktu (*time-series analysis*) untuk diterapkan pada peramalan. Peramalan dengan metode stokastik ini umumnya layak dilakukan untuk periode sepuluh hari sampai dengan empat bulan mendatang.

Contoh teknik analisis deret-waktu adalah

- a) Model AR: *Autoregressive*;
- b) Model Thomas-Fiering.

7.4.1 Model Autoregresi (AR)

Model autoregresi pada dasarnya serupa dengan model regresi, yaitu meregresikan atau meramalkan nilai peubah yang tidak diketahui sebagai fungsi nilai-nilai peubah yang telah diketahui. Perbedaannya adalah bahwa peubahnya hanya satu (misalnya debit sungai Cikapundung di Gandok). Peubah yang tidak diketahui nilainya adalah nilai peubah tersebut pada masa mendatang (misalnya debit pada bulan depan) sebagai fungsi data historis (misalnya debit bulan sekarang dan bulan yang lalu).

Model autoregresi dengan orde- p atau dituliskan dengan notasi AR(p) adalah sebagai berikut.

$$S_t = k_1 S_{t-1} + k_2 S_{t-2} + \dots + k_p S_{t-p} + E_t \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dengan pengertian :

S_t adalah komponen stokastik pada saat t yang diasumsikan telah dibakukan, yaitu dengan rata-rata = 0 dan variansi = 1

k_i adalah koefisien regresi untuk orde ke- i , $i=1,2,\dots,p$

E_t adalah peubah bebas pada saat t dengan rata-rata = 0 dan berdistribusi normal (*white noise*)

a) Model AR(1)

Bentuk yang paling sederhana dari model AR ini adalah AR(1) yang kerap digunakan untuk peramalan jangka-waktu tengah bulanan. Model autoregresi dengan orde 1 atau AR(1) yang kerap kali disebut juga dengan model Markov mempunyai bentuk umum untuk peramalan sebagai berikut.

$$S_t = k_1 S_{t-1} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Koefisien regresi k_1 ternyata sama dengan nilai besaran autokorelasi pertama r_1 atau lag-1.

$$k_1 = r_1$$

b) Model AR(2)

Model Autoregresi dengan orde 2 atau AR(2) dapat digunakan untuk peramalan jangka panjang dan musiman, misalnya peramalan debit aliran sungai tahunan.

7.4.2 Model Thomas Fiering

Model Thomas-Fiering untuk peramalan debit aliran sungai merupakan modifikasi dari bentuk aslinya yang berupa model stokastik untuk membuat debit sintetis. Model yang telah digunakan pada beberapa balai PSDA di Jawa untuk pengelolaan alokasi air ini merupakan salah satu bentuk model AR dengan jangka-waktu peramalan satu bulan dan memiliki 12 buah koefisien untuk masing-masing bulannya.

Rumus Thomas-Fiering untuk peramalan adalah sebagai berikut.

$$q_{i,j} = x_j + r(j)s_j/s_{j-1} (q_{i,j-1} - x_{j-1}) \dots\dots\dots(5)$$

dengan pengertian :

$q_{i,j}$ adalah debit bulan j dalam tahun i ($j=1,2,\dots,12$)

x_j adalah rata-rata debit bulan j

$r(j)s_j/s_{j-1}$ adalah koefisien regresi $q_{i,j}$ dari $q_{i,j-1}$

$r(j)$ adalah koefisien korelasi bulan j dari bulan j-1

s_j adalah simpangan baku bulan j

s_{j-1} adalah simpangan baku bulan j-1

x_{j-1} adalah rata-rata bulan j-1

dengan catatan bahwa untuk $j = 1$ (bulan Januari),

maka $j-1 = 12$ (bulan Desember dari tahun yang lalu).

Secara sederhana rumus Thomas-Fiering menyatakan bahwa ramalan debit bulan mendatang sama dengan rata-rata debit bulan mendatang. Kemudian, ditambah dengan suatu faktor yang bergantung pada data debit saat ini.

Langkah-langkah pengerjaan peramalan debit dengan metode Thomas-Fiering dapat dibagi atas dua tahap, yaitu tahap perhitungan parameter koefisien regresi dan tahap peramalan. Berikut ini adalah tahap perhitungan dan peramalan Model Thomas-Fiering dengan menggunakan lembar kerja elektronik untuk jangka-waktu peramalan tengah-bulanan.

7.4.3 Tahap perhitungan parameter

Tahap pengembangan prosedur atau perhitungan parameter koefisien regresi ini cukup dikerjakan satu kali. Tahap ini memerlukan data historis *time-series* debit aliran sungai tengah-bulanan. Kemudian, dapat diterapkan pada lembar kerja elektronik yang meliputi pengerjaan-pengerjaan sebagai berikut.

- a) Tabulasikan data historis yang kolom-kolomnya menyatakan tengah bulanan dan barisnya menyatakan tahun.
- b) Tambahkan baris-baris yang mencantumkan parameter statistik sebagai berikut.
 - 1) Hitung rata-rata setiap tengah bulanan dengan menggunakan fungsi AVERAGE.
 - 2) Hitung simpangan baku setiap tengah-bulan, dengan fungsi STDEV.
 - 3) Korelasikan antara tengah bulan dimaksud dengan tengah bulan mendatang dengan menggunakan fungsi CORREL. Argumen fungsi ini ada dua, yaitu kolom dari tengah bulan dimaksud dan kolom tengah bulan mendatang. Jika tengah bulan yang dikerjakan adalah tengah bulan kedua di bulan Desember, kolom tengah bulan mendatang adalah tengah bulan pertama pada bulan Januari.

- c) Pada baris terakhir, hitung koefisien regresi, yaitu koefisien korelasi antara tengah bulan dimaksud dengan mendatang dikalikan dengan simpangan baku tengah-bulan mendatang. Kemudian dibagi dengan simpangan baku tengah-bulan yang sedang dikerjakan.

$$\text{koefisien regresi } q_{i,j} \text{ dari } q_{i,j-1} = r(j)s_j/s_{j-1}$$

7.4.4 Tahap operasional peramalan

Berdasarkan parameter koefisien regresi yang telah diperoleh, setiap saat dapat diramalkan debit tengah-bulanan mendatang berdasarkan koefisien regresi tersebut dengan persamaan sebagai berikut.

$$q_{i,j} = x_j + r(j)s_j/s_{j-1} (q_{i,j-1} - x_{j-1}) \dots\dots\dots (6)$$

Pada persamaan ini data yang perlu diperoleh hanyalah $q_{i,j-1}$ yang merupakan debit aliran sungai tengah-bulanan terakhir. Peubah-peubah lainnya berupa parameter-parameter yang telah dihitung pada tahap sebelumnya.

7.5 Model konseptual

Model konseptual merupakan model yang menjelaskan perjalanan air hujan yang jatuh di dalam DPS sampai menjadi debit aliran sungai. Model konseptual ini termasuk dalam kelompok model hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang biasa digunakan untuk memperkirakan debit aliran sungai secara runtut-waktu berdasarkan curah hujan, evapotranspirasi, dan kondisi DPS.

Model konseptual yang dapat digunakan untuk peramalan debit aliran sungai antara lain

- a) Model Tangki,
- b) Model Sacramento,
- c) Model Mock,
- d) Model Crawford.

Sebelum digunakan, semua jenis model perlu dikalibrasi dengan data lapangan. Keunggulan model konseptual ini adalah dapat meramalkan kondisi hidrologi untuk berbagai skenario kondisi curah hujan dan kondisi DPS. Dengan demikian, model konseptual dapat memberikan probabilitas terjadinya aliran rendah dan banjir. Kelemahan model konseptual untuk peramalan adalah bergantung pada skenario ramalan dari peubah masukan model, yaitu curah hujan dan evapotranspirasi.

7.6 Peramalan dengan penyesuaian

Teknik ini meramalkan debit secara berturut-turut (rekursif) dengan menyesuaikan kesalahan peramalan pada periode yang lalu. Dengan cara ini, seolah-olah model belajar dari kesalahan peramalan yang telah dilakukan. Contoh model ini adalah Kalman Filter.

7.7 Peramalan debit aliran sungai berdasarkan volume air

Jumlah volume air yang ada di sungai, danau, waduk dan rawa menyatakan kondisi ketersediaan air yang dapat digunakan untuk meramalkan debit aliran sungai pada titik lokasi air keluar dari badan air tersebut. Kaitan antara volume air dengan debit aliran sungai tersebut dapat ditentukan berdasarkan metode korelasi dari data historis yang ada, misalnya membuat rumus regresi dari pasangan data volume air di danau dengan debit aliran sungai yang keluar dari danau.

7.8 Peramalan probabilitas

Peramalan probabilitas biasa dilakukan untuk peramalan jangka panjang yang penuh dengan ketidakpastian. Teknik peramalan probabilitas ini hanya dapat digunakan bersama dengan teknik peramalan lainnya, misalnya regresi atau konseptual. Peramalan dilakukan berulang-kali dengan kondisi masukan yang sesuai dengan distribusi probabilitasnya untuk mendapatkan informasi mengenai probabilitas dari hasil ramalan.

Contoh :

Misalkan rumus peramalan regresi sebagai berikut.

$$Q_{\text{September}} = a Q_{\text{Juni}} + b Q_{\text{Juli}} + c Q_{\text{Agustus}}$$

Jika kita sekarang berada pada awal bulan Juli

- Q_{Juni} dapat diperoleh dari lapangan sebagai suatu nilai yang pasti;
- Q_{Juli} dan Q_{Agustus} belum diketahui dan dapat digunakan kombinasi beberapa nilai sesuai dengan distribusi probabilitas yang diperoleh dari data historis, misalnya dapat dicoba untuk probabilitas terlampaui 20% (kondisi basah); 50% (kondisi normal) dan 80% mewakili tahun kering untuk masing-masing debit di bulan Juli dan Agustus.
- Hasil ramalan bukan berupa sebuah angka, tetapi banyak angka yang merupakan kombinasi dari Juli yang basah, normal, dan kering dengan Agustus yang basah, normal, dan kering mendapatkan kondisi ramalan yang sangat basah, basah, normal, kering dan sangat kering.

Teknik peramalan probabilitas ini dapat melengkapi semua jenis teknik peramalan untuk memperoleh informasi keandalan hasil ramalan.

8 Pengembangan prosedur peramalan

Sebelum mengembangkan prosedur peramalan, sasaran peramalan harus dirumuskan dengan baik dan didiskusikan bersama dengan pengguna ramalan. Perumusan sasaran ini meliputi.

- a) peubah peramalan,
- b) jenis ramalan,
- c) jangka waktu peramalan,
- d) bentuk penyajian, dan
- e) sarana dan frekuensi diseminasi hasil ramalan.

Ramalan debit aliran sungai dapat disajikan dalam berbagai bentuk, yaitu

- a) sebuah angka dari debit aliran yang diramalkan, misalnya debit rata-rata pada periode tengah-bulan mendatang,
- b) debit aliran sebagai fungsi waktu, misalnya dalam bentuk hidrograf aliran,
- c) distribusi probabilitas debit aliran yang menyatakan probabilitas terlampaui (*probability of exceedance*),
- d) sebuah pernyataan debit ramalan dibandingkan dengan kondisi rata-rata, misalnya di atas rata-rata atau jauh di bawah normal, dan
- e) peringatan akan terjadinya suatu bencana yang dapat dinyatakan secara kualitatif maupun numerik.

Setelah menetapkan jangka waktu peramalan, frekuensi penerbitan, dan jenis ramalan, tahap selanjutnya adalah menentukan data masukan, interval sampel, dan akurasi yang sesuai.

8.1 Pemilihan metode

Seperti yang telah dibahas dalam Pasal 6 mengenai kebutuhan data, pemilihan metode sangat bergantung pada jenis data yang tersedia.

8.1.1 Mulai dari metode sederhana

Metode peramalan yang paling canggih adalah sistem peramalan secara *on-line real-time* dengan cara pengumpulan data, transmisi data, dan pengolahannya dilakukan secara otomatis. Sistem ini dapat dilakukan secara terpadu dengan pengendalian sistem tata air otomatis.

Meskipun demikian, metode sederhana seperti korelasi dan indeks dalam bentuk grafik dan diagram kerap kali sesuai untuk digunakan pada situasi tertentu. Prosedur peramalan yang akan digunakan sebaiknya mempertimbangkan pula kondisi jaringan pengamatan, sumberdaya manusia, dan peralatan yang ada.

Metode yang digunakan sebaiknya mempertimbangkan tahap pengembangan keberadaan pelayanan jasa peramalan. Tahap ini dimulai dari yang sederhana. Kemudian dengan bertambahnya pengalaman yang terakumulasi dapat ditingkatkan lebih lanjut. Pada awalnya perlu dipertimbangkan bentuk organisasi serta pembentukan tenaga yang terampil untuk menangani peramalan debit.

Institusi yang baru mengadakan kegiatan peramalan, disarankan untuk menggunakan metode yang sederhana, misalnya korelasi dan regresi. Teknik-teknik sederhana ini di kemudian hari akan menjadi pembanding metode lain yang lebih canggih.

8.1.2 Modularitas model komputer

Jika menggunakan model simulasi komputer, maka sebaiknya model tersebut disusun secara modular, artinya terpisah antara pengolahan data, analisis, dan peramalan sehingga untuk peningkatan selanjutnya menjadi lebih kompatibel.

8.2 Penentuan parameter dan koefisien model

8.2.1 Penentuan parameter dan koefisien model

Penentuan parameter dan koefisien model harus dilakukan melalui proses kalibrasi dengan data lapangan. Proses kalibrasi model yang berdasarkan kondisi fisik adalah

- a) pembagian PDS atas beberapa sub-DPS,
- b) perkiraan awal parameter berdasarkan kondisi topografi, geologi dan tata guna lahan,
- c) simulasi untuk menyempurnakan hasil peramalan, dan
- d) optimasi parameter secara otomatis.

8.2.2 Kriteria kecocokan hasil peramalan

Ketepatan hasil kalibrasi yang menyatakan seberapa jauh hasil ramalan mendekati kenyataan pada umumnya dinyatakan dengan Rata-rata Akar Jumlah Kuadrat Perbedaan Ramalan dengan Data, dan Koefisien Determinasi.

- a) **Rata-rata Akar Jumlah Kuadrat** dari perbedaan peramalan dengan data atau *Root Mean Square Error (RMS)* adalah dengan rumus sebagai berikut.

$$RMS = \{1/n \sum (Q_{ramal} - Q_{data})^2\}^{0,5} \dots\dots\dots(7)$$

dengan pengertian:

RMS adalah *Root Mean Square Error* (akar rata-rata kuadrat kesalahan)

n adalah jumlah data

Angka Rata-rata Akar Jumlah Kuadrat atau RMS ini menunjukkan seberapa besar penyimpangan hasil peramalan terhadap data.

- b) **Rata-rata Perbedaan Peramalan dengan Data (Mean Error)** dengan rumus sebagai berikut.

$$ME = 1/n \sum (Q_{ramal} - Q_{data}) \dots\dots\dots(8)$$

dengan pengertian:

ME adalah *Mean Error* (rata-rata kesalahan)

n adalah jumlah data

Mean Error ini merupakan indikator apakah hasil peramalan pada umumnya berada di atas (*over-estimate*) atau di bawah (*under-estimate*) data yang sebenarnya.

- c) **Koefisien Determinasi** merupakan kuadrat koefisien korelasi antara peramalan dengan data kenyataan. Besaran ini hanya menunjukkan seberapa jauh hasil peramalan memiliki arah perubahan yang sama dengan data yang sebenarnya. Koefisien determinasi ini dinilai baik jika mendekati angka satu.

Koefisien determinasi = r^2

r adalah koefisien korelasi:

$$r = \sum (x_i - x_{rata}) (y_i - y_{rata}) / (\sum (x_i - x_{rata})^2 \sum (y_i - y_{rata})^2)^{0,5} \dots\dots\dots(9)$$

dengan pengertian:

x adalah data, y adalah ramalan, x_{rata} adalah rata-rata data, y_{rata} adalah rata-rata ramalan

9 Verifikasi peramalan

Verifikasi peramalan diperlukan untuk menentukan keandalan metode peramalan untuk penggunaan operasional. Evaluasi statistik dan evaluasi peramalan operasional harus dilakukan secara sistematis yang terdiri atas

- penentuan dan evaluasi galat peramalan,
- pengumpulan informasi manfaat peramalan di lapangan.

9.1 Kriteria verifikasi

Suatu metode peramalan dinyatakan efektif jika kesalahannya secara nyata lebih kecil dari ramalan sederhana, misalnya nilai rata-rata, atau nilai debit sebelumnya. Untuk itu dapat dilakukan uji statistik dengan koefisien determinasi yang mengukur efektivitas ramalan dibandingkan dengan ramalan sederhana tersebut.

9.2 Verifikasi peramalan operasional

Akurasi dan efektivitas suatu metode peramalan tidak dapat dievaluasi hanya dari sebuah kejadian peramalan. Akan tetapi, harus dikaji dari banyak data historis pasangan-pasangan data peramalan dan kenyataannya. Kumpulan data statistik hasil ramalan dan realisasinya di lapangan sangat penting untuk mengevaluasi akurasi dan efektivitas suatu metode peramalan.

10 Diseminasi peramalan

Diseminasi hasil ramalan dilakukan oleh lembaga yang berwenang dan dinyatakan secara jelas dalam buletin maupun penyiaran ramalan.

Metode pendistribusian informasi ramalan bergantung pada kebutuhan pengguna ramalan, urgensi, jaringan komunikasi yang ada, dan fasilitas pelayanan peramalan yang ada.

Diseminasi hasil ramalan dapat berbentuk buletin harian, mingguan, sepuluh harian, tengah bulanan, atau bulanan.

Membuat ramalan yang sempurna merupakan hal yang tidak mungkin. Oleh karena itu, perlu diinformasikan kepada masyarakat mengenai keandalan hasil ramalan dalam bahasa yang mudah dipahami oleh mereka.

Lampiran A

Kelembagaan peramalan debit aliran sungai di Indonesia pada saat ini

Kelembagaan peramalan debit aliran sungai di Indonesia pada saat ini untuk tingkat nasional, provinsi, kabupaten/kota, wilayah sungai, dan daerah aliran sungai adalah sebagai berikut.

a) Kelembagaan tingkat nasional

Lembaga peramalan debit aliran sungai jangka panjang dan musiman dilakukan oleh Sub- Direktorat Hidrologi, Direktorat Penatagunaan Sumber Daya Air (PSDA), Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dan Balai Hidrologi Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

b) Kelembagaan tingkat provinsi

Lembaga peramalan debit aliran sungai di tingkat provinsi untuk jangka menengah dilakukan oleh Sub-Dinas Operasi dan Pemeliharaan, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air atau lembaga yang bertanggung jawab mengelola sumber daya air di provinsinya.

c) Kelembagaan tingkat wilayah sungai

Peramalan debit aliran sungai dilakukan oleh Seksi Operasi dan Pengelolaan Data, Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (Balai PSDA) atau lembaga yang bertanggung jawab atas pengelolaan sumber daya air di tingkat wilayah sungai. Hasil peramalannya harus dilaporkan kepada Panitia Tata Pengaturan Air (PTPA) Wilayah Sungai yang bersangkutan.

d) Kelembagaan tingkat daerah pengaliran sungai (DPS)

Peramalan debit aliran sungai dilakukan oleh Seksi Operasi dan Pengelolaan Data, Balai Pengelolaan Sumber Daya Air (Balai PSDA) atau lembaga yang bertanggung jawab atas pengelolaan sumber daya air di tingkat DPS. Hasil peramalannya harus dilaporkan kepada Panitia Pelaksana Tata Pengaturan Air (PPTPA) Daerah Pengaliran Sungai yang bersangkutan.

e) Kelembagaan tingkat kabupaten/kota

Peramalan debit aliran sungai di tingkat kabupaten/kota dilakukan oleh dinas yang bertanggung jawab atas pengelolaan sumber daya air di tingkat kabupaten/kota.

f) Kelembagaan pada Daerah Otorita

Peramalan debit aliran sungai pada daerah otorita dilakukan oleh pengelola daerah otorita yang bersangkutan dan hasil ramalannya disampaikan kepada lembaga terkait melalui lembaga koordinasi sesuai dengan tingkat kewenangannya.

g) Koordinasi antar kelembagaan

Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi (BAKORNAS PB&PP) merupakan satu-satunya badan yang berfungsi sebagai wadah koordinasi antarlembaga yang berkaitan dengan peramalan debit aliran sungai di tingkat pusat.

Satuan Koordinasi Pelaksanaan Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi (SATKORLAK PB&PP) merupakan satu-satunya badan yang berfungsi sebagai wadah koordinasi antarlembaga yang berkaitan dengan peramalan debit aliran sungai di tingkat provinsi.

Satuan Pelaksanaan Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi (SATLAK PB&PP) merupakan satu-satunya badan yang berfungsi sebagai wadah koordinasi antarlembaga yang berkaitan dengan peramalan debit aliran sungai di tingkat Kabupaten/kota.

Satuan Tugas Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi (SATGAS PB&PP) merupakan satu-satunya badan yang berfungsi sebagai wadah koordinasi antarlembaga yang berkaitan dengan peramalan debit aliran sungai di tingkat kecamatan.

Panitia Tata Pengaturan Air (PTPA) dan Panitia Pelaksana Tata Pengaturan Air (PPTPA) merupakan lembaga teknis yang bertugas memberikan masukan terhadap hasil peramalan debit aliran sungai yang diterbitkan oleh lembaga yang berwenang.

h) Pengoperasian bangunan air

Pengoperasian bangunan pengairan untuk berbagai keperluan yang melibatkan lebih dari satu kelembagaan harus mempertimbangkan hasil ramalan yang dibuat oleh lembaga yang berwenang yang dikoordinasikan oleh badan koordinasi sesuai dengan tingkat kewenangannya.

Operasi waduk kaskade yang dikelola pengelola waduk yang melibatkan lebih dari satu instansi pada awal periode pengoperasian waduk diharuskan membuat kesepakatan untuk menetapkan pola operasi waduk satu tahun ke depan.

Pola operasi yang telah ditetapkan harus dievaluasi bersama setiap bulan untuk membuat kesepakatan pola operasi satu bulan ke depan.

Lampiran B

Contoh peramalan metode Resesi

Contoh peramalan dengan metode resesi yang digunakan data debit Bendung Rentang di Sungai Cimanuk, Jawa Barat (Delft Hydraulics dan Puslitbang Pengairan, 1988). Data debit tengah-bulanan pada tahun 1977 pada skala linear disajikan pada Gambar B.1 dan pada skala logaritma pada Gambar B.2.

a) Tahap perhitungan parameter

- 1) Pilih satu tahun data dan gambarkan grafik *time-series* debit alirannya (Gambar B.1), untuk menentukan waktu awal dan akhir periode resesi. Grafik dengan skala logaritma akan sangat membantu (Gambar B.2), sebab periode resesi akan tampak sebagai garis lurus dalam grafik semilogaritma.
- 2) Tentukan koefisien resesi dengan cara menggunakan persamaan (1) untuk dua kondisi, yaitu debit pada awal musim kemarau) dan debit pada akhir musim kemarau sehingga diperoleh nilai k. Ternyata, periode resesi dimulai pada tengah-bulan Juni-I dengan debit 170 m³/s dan berakhir pada tengah-bulan September-II dengan debit 27 m³/s (Bulan Oktober tidak dimasukkan sebab pada umumnya sudah memasuki musim hujan).

$$Q_t = Q_0 e^{-kt}$$

dengan pengertian :

Q_t adalah debit aliran pada saat t (m³/s)

Q_0 adalah debit aliran pada saat ini (m³/s)

t adalah waktu (hari)

k adalah konstanta koefisien resesi

atau:

$$\ln(Q_t) = \ln(Q_0) - k t$$

$$\text{jadi } k = -(\ln(Q_t) - \ln(Q_0)) / t$$

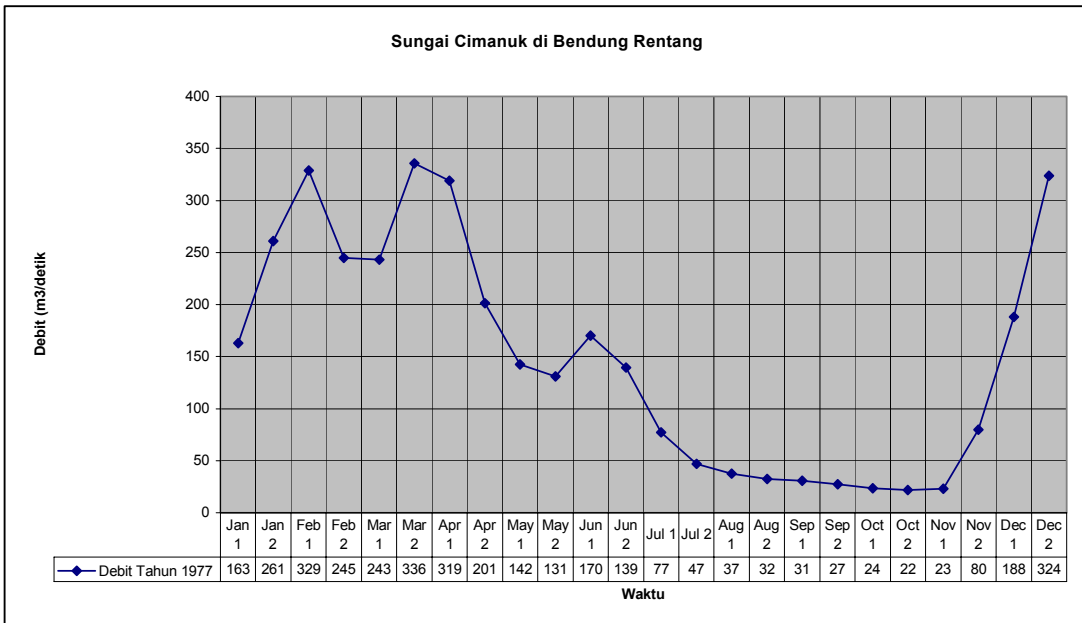
dalam hal ini waktu t adalah 107 hari sehingga

$$k = -(\ln(27) - \ln(170)) / 107 = 0,0172$$

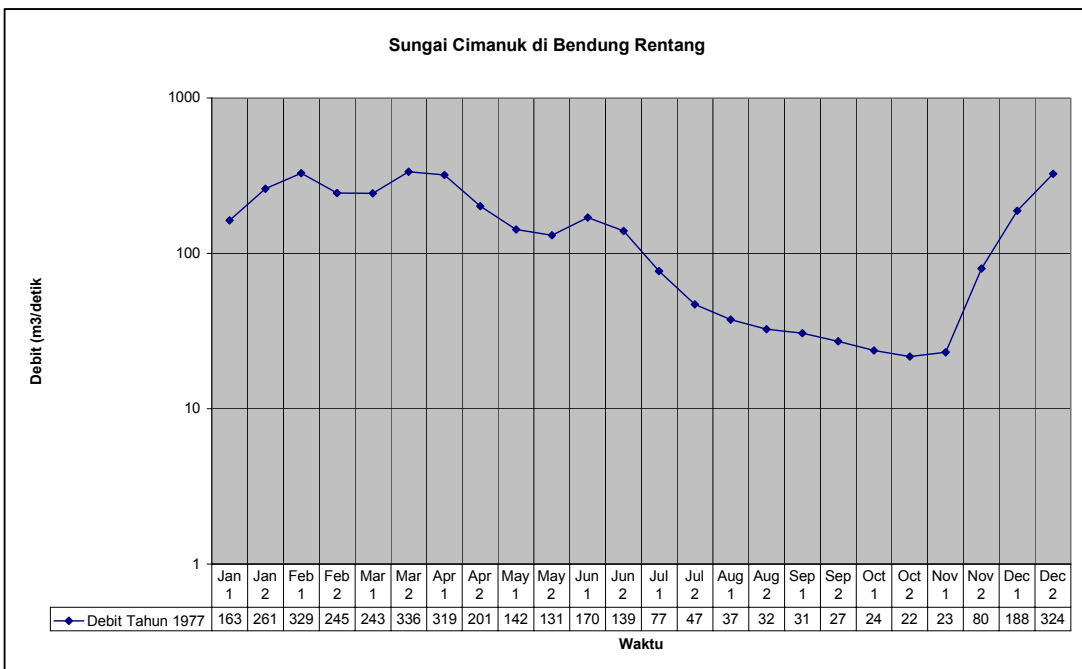
b) Tahap operasional peramalan

Gunakan nilai k untuk meramalkan debit aliran sungai pada jangka-waktu mendatang.

Jika sekarang kita berada pada akhir bulan Juli tahun 2003, dengan data debit rata-rata dua minggu terakhir adalah 65 m³/s, jumlah hari sampai dengan awal Agustus adalah 16 hari, ramalan debit Agustus-I adalah $Q_t = Q_0 e^{-kt} = 65 e^{-0,0172 \cdot 16} = 49,37 \text{ m}^3/\text{s}$.



Gambar B.1 Contoh metode Resesi (Skala Linear)



Gambar B.2 Contoh metode Resesi (Skala Logaritma)

Lampiran C

Contoh peramalan metode Thomas-Fiering

Contoh peramalan dengan metode Thomas-Fiering yang digunakan data debit Bendung Rentang di Sungai Cimanuk, Jawa Barat (Delft Hydraulics dan Puslitbang Pengairan, 1988). Data runtut-waktu tengah-bulanan dari tahun 1951 sampai dengan 1979 disajikan pada Tabel C.1.

a) Tahap perhitungan parameter

Data dimasukkan pada lembar kerja Ms-Excel pada Tabel C.1.

- 1) Tabulasikan data historis yang kolom-kolomnya menyatakan tengah bulanan dan baris menyatakan tahun. (Lihat Tabel C.1).
- 2) Tambahkan baris-baris yang mencantumkan parameter statistik, meliputi:
 - (a) rata-rata hitung setiap tengah bulanan dengan menggunakan fungsi AVERAGE (lihat baris Rata-rata),
 - (b) simpangan baku setiap tengah-bulan dengan fungsi STDEV (lihat baris Dev. Std), dan
 - (c) korelasi antara tengah bulan dimaksud dengan tengah bulan mendatang dengan menggunakan fungsi CORREL. Argumen fungsi ini ada dua, yaitu kolom dari tengah bulan dimaksud dan kolom tengah bulan mendatang. Jika tengah bulan yang dikerjakan adalah tengah bulan kedua di bulan Desember, kolom tengah bulan mendatang adalah tengah bulan pertama pada bulan Januari (lihat baris Korelasi).
- 3) Pada baris terakhir, hitung koefisien regresi, yaitu koefisien korelasi antara tengah bulan dimaksud dengan mendatang dikalikan dengan simpangan baku tengah-bulan mendatang dan dibagi dengan simpangan baku tengah-bulan yang sedang dikerjakan (lihat baris Koef. TF).

$$\text{koefisien regresi } q_{i,j} \text{ dari } q_{i,j-1} = r(j)s_j/s_{j-1}$$

b) Tahap operasional peramalan

Berdasarkan parameter koefisien regresi yang telah diperoleh setiap saat dapat diramalkan debit tengah-bulanan mendatang berdasarkan koefisien regresi tersebut menurut persamaan sebagai berikut.

$$q_{i,j} = x_j + r(j)s_j/s_{j-1} (q_{i,j-1} - x_{j-1})$$

Misalkan sekarang kita berada pada akhir bulan Juli tahun 2003, dengan data debit rata-rata dua minggu terakhir adalah 65 m³/s.

Dari tabel hasil perhitungan C.1 diperoleh

- (1) debit rata-rata tengah-bulan Juli-II adalah 63 m³/s,
- (2) ebit rata-rata tengah-bulan Agustus-I adalah 49 m³/s,
- (3) koefisien regresi tengah-bulan Agustus-I adalah 0,57,

Peramalan debit Agustus-I adalah = 49 + (65 – 63) * 0,57 = 50,14 m³/s.

Lampiran D**Daftar nama dan lembaga**

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

2) Penyusun

NAMA	LEMBAGA
Drs. Waluyo Hatmoko M.Sc.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Drs. Kananto Dipl.H, M.Eng.	Pusat Litbang Sumber Daya Air

Bibliografi

1. Delft Hydraulics and Puslitbang Pengairan, 1988. *Cisadane Cimanuk Integrated Water Resources Development Study (BTA-155)*, Ministry of Public Works, Jakarta.
2. Haan, C.T., 1977. *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press, Ames.
3. Hall, M.J., 1988. *Stochastic Processes in Hydrology, Lecture Note*, IHE-Delft, Netherlands
4. Hatmoko, W., 1999. *Pengantar Analisis Data Runtut Waktu dalam Hidrologi dan Tata Air*, Bahan Pelatihan Training of Trainers Hidrologi, Puslitbang Pengairan.
5. Hatmoko, W. dan S. Amirwandi, 2002. *Pengembangan Metode Thomas-Fiering untuk Peramalan Debit Musim Kemarau*, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan Vol. 16 No. 48 September 2002.
6. Hatmoko, W. , 2003. *Penggunaan Metode Resesi untuk Peramalan dalam Alokasi Air di DPS Kali Sampean*, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan Vol. 16 No. 51 Juli 2003.
7. Kottegoda, N.T., 1980. *Stochastic Water Resources Technology*, MacMillian, London.
8. Nemeç, J., 1986. *Hydrological Forecasting, Design and Operation of Hydrological Forecasting Systems*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo.
9. Raudkivi, A.J., 1981. *Advanced Introduction to Hydrology*, Pergamon Press.
10. Radhi Sinaro, 1997. Kamus Istilah Pengairan, HATHI, Bandung
11. Shahin, M., H.J.L. van Oorschot, S.J. Lange, 1993. *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*, A.A. Balkema, Rotterdam.
12. Virama Karya et al, 2000. *Pedoman Prakiraan Debit Aliran Sungai Untuk Alokasi Air Pada Musim Kemarau*, Proyek Peningkatan Irigasi Dan Pengelolaan Sumberdaya Air di Jawa, Komponen Pengelolaan Sumberdaya Air, (Basin Water Resources Management - BWRM-II), Departemen Perumahan dan Pengembangan Wilayah.
13. World Meteorological Organization, 1996. *WMO-No.49, Technical Regulations, Volume III Hydrology*, Secretariat of WMO, Geneva, Switzerland.
14. World Meteorological Organization, 1983. *WMO-No.168, Guide to Hydrological Practices*, Volume II: Analysis, Forecasting and Other Application, Secretariat of WMO, Geneva, Switzerland.