

PERBAIKAN METODE PENGHITUNGAN DEBIT SUNGAI MENGUNAKAN CUBIC SPLINE INTERPOLATION

Budi I. Setiawan¹, Rudiyanto², M. Idkham³, Mustafri⁴, M. Yasar⁵, Devianty⁶

ABSTRAK

Makalah ini menyajikan perbaikan metode pengukuran debit sungai menggunakan fungsi cubic spline interpolation. Fungsi ini digunakan untuk menggambarkan profil sungai secara kontinyu yang terbentuk atas hasil pengukuran jarak dan kedalaman sungai. Dengan metode baru ini, luas dan perimeter sungai lebih mudah, cepat dan tepat dihitung. Demikian pula, fungsi kebalikannya (*inverse function*) tersedia menggunakan metode Newton-Raphson sehingga memudahkan dalam perhitungan luas dan perimeter bila tinggi air sungai diketahui. Metode baru ini dapat langsung menghitung debit sungai menggunakan formula Manning, dan menghasilkan kurva debit (*rating curve*). Dalam makalah ini dikemukakan satu contoh pengukuran debit sungai Rudeng Aceh. Sungai ini mempunyai lebar sekitar 120 m dan kedalaman 7 m, dan pada saat pengukuran mempunyai debit 41.3 m³/s, serta kurva debitnya mengikuti formula: $Q = 0.1649 \times H^{2.8884}$, dimana Q debit (m³/s) dan H tinggi air dari dasar sungai (m).

Kata Kunci: Debit Sungai, Penampang dan Perimeter Basah Sungai, Cubic Spline Interpolation.

Diterima: 8 Agustus 2007; Disetujui: 22 Agustus 2007

LATAR BELAKANG

Pengukuran debit sungai yang lebih teliti sangat penting. Berbagai metode pengukuran telah berkembang pesat khususnya dari sisi instrumentasi. Kini tersedia berbagai alat ukur tinggi air yang sangat praktis dan dapat diprogram untuk mengakuisisi data secara otomatis. Beberapa alat telah pula dilengkapi fasilitas pengiriman data nirkabel sehingga dapat dilakukan pengamatan debit sungai dari waktu ke waktu. Namun

demikian, metode pengukuran debit sungai tidak banyak berubah. Metode yang dipakai sama seperti sediakala, yaitu dengan melakukan pengukuran penampang basah dan arus sungai (Sosrodarsono dan Takeda, 1980; Loebis, dkk., 1993). Debit sungai sering diperkirakan pula secara empiris menggunakan Persamaan Manning (Chow, 1989; Suresh, 1993;), yang melibatkan luasan penampang basah dan radius hidrolika, kemiringan hidrolika dan faktor kekasaran dasar/dinding

¹ Departemen Teknik Pertanian, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, budindra@ipb.ac.id

² Mahasiswa S3, Universitas Mie, Jepang, lupusae@yahoo.com

³ Departemen Teknik Pertanian, Universitas Sylah Kuala, NAD, idham_desky2002@yahoo.com

⁴ Departemen Teknik Pertanian, Universitas Sylah Kuala, NAD, mustaf_stmsi@yahoo.com

⁵ Departemen Teknik Pertanian, Universitas Sylah Kuala, NAD, yasarida@yahoo.com

⁶ Departemen Teknik Pertanian, Universitas Sylah Kuala, NAD, dharmalampineung@yahoo.com.

sungai. Radius hidrolika merupakan luasan dibagi perimeter penampang basah.

Sampai saat ini pun, metode Trapesium (Sosrodarsono dan Takeda, 1976) atau Simpson masih banyak digunakan, baik di bangku perkuliahan maupun penerapannya lapangan mengingat kesederhanaannya walaupun diketahui kompensasinya terhadap kesalahan yang cukup besar. Kesalahan ini bisa diperparah lagi bila perimeter basah dilakukan secara manual/visual kemudian sekalipun menggunakan digitizer (Loebis, 1993). Proses perhitungan untuk mendapatkan debit sangat melelahkan bila pengukuran arus sungai dilakukan dalam interval yang lebih rapat.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, sebelumnya telah diperkenalkan metode numerik untuk menghitung luas dan perimeter dari sejumlah pasangan data menggunakan metode Cubic Spline Interpolation (CSI) (Setiawan, 1997). Metode ini menghasilkan fungsi kontinu pada setiap interval data sehingga dapat diintegrasikan dan diturunkan untuk menghitung luas dan perimeternya. Demikian juga, fungsi balik-nya (*inverse function*) mudah dihitung secara numerik, misalnya di sini menggunakan metode Newton-Raphson. Perangkat lunak pun telah dikembangkan tetapi masih sangat umum tidak secara khusus untuk menghitung debit sungai. Walaupun

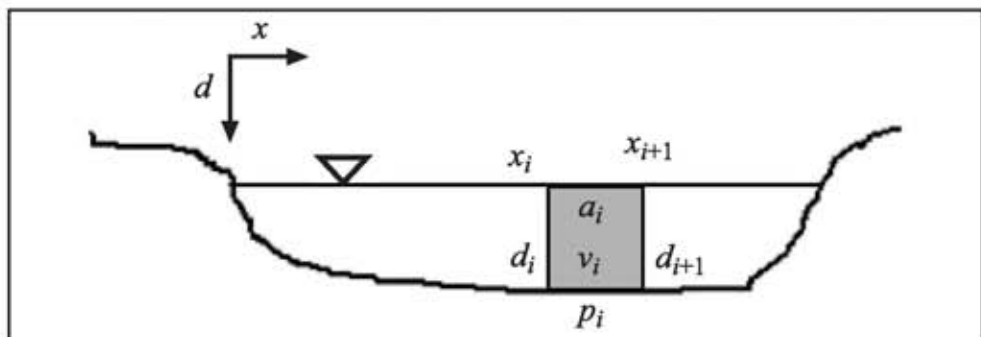
metode ini berhasil meningkatkan ketelitian tetapi masih memerlukan keterampilan khusus dan ketekunan agar terhindar dari kesalahan-kesalahan.

Makalah ini menyajikan penerapan CSI yang kini khusus digunakan untuk menghitung debit sungai dan perkiraan kurva hubungan antara tinggi air dan debit sungai. Di sini, program komputer dibangun secara terintegrasi menggunakan kombinasi Spreadsheet dan Visual Basic Editor yang tersedia dalam program aplikasi MS Excel. Contoh aplikasinya diberikan untuk menghitung debit salah satu anak sungai di DAS Singkil, Nanggroe Aceh Darussalam (NAD).

PENDEKATAN TEORITIS

Setiawan (1997) menyajikan pendekatan teoritis dalam menghitung debit sungai berdasarkan pada pengukuran lebar dan tinggi air serta arus air sungai. Gambar 1 memperlihatkan sketsa pengukuran lebar dan dalam air sungai serta arus air pada interval jarak tertentu.

Debit sungai, Q , merupakan perjumlahan debit air dari setiap sel, q_i , yang merupakan perkalian antara luas penampang basah sel, a_i dan kecepatan air, v_i dalam sel tersebut, atau dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:



Gambar 1. Sketsa pengukuran penampang dan kecepatan sungai

$$Q = \sum_{i=1}^m q_i = \sum_{i=1}^m a_i \cdot v_i \quad (1)$$

Interpolasi cubic spline (Burden dan Faires, 1989, Hal:126-133) digunakan untuk mencari fungsi kontinu yang menghubungkan antara lebar dan dalam sungai. Fungsi ini berbentuk:

$$d_i(x) = \alpha_i + \beta_i(x - x_i) + \gamma_i(x - x_i)^2 + \delta_i(x - x_i)^3 \text{ untuk } x_j \leq x \leq x_{j+1} \quad (2)$$

Dimana, α, β, γ dan δ masing-masing adalah koefisien yang dihitung sebagai berikut:

$$\alpha_i = f(x_i); \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\beta_i = \left(\frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{x_{i+1} - x_i} \right) - \frac{1}{3}(x_{i+1} - x_i)(\gamma_{i+1} - 2\gamma_i); \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, m - 1 \quad (4)$$

$$\gamma_i = z_i - \mu_i \gamma_{i+1}; \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, m - 1 \text{ dan } \gamma_m = 0 \quad (5)$$

$$\delta_i = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_{i+1} - \gamma_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, m - 1 \quad (6)$$

$$z_i = \frac{1}{l_i} \{ \lambda_i - (x_i - x_{i-1})z_{i-1} \} \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m - 1 \text{ dan } z_0 = z_m = 0 \quad (7)$$

$$\mu_i = \frac{1}{l_i} (x_{i+1} - x_i) \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m - 1 \text{ dan } \mu_0 = 0 \quad (8)$$

$$l_i = 2(x_{i+1} - x_{i-1}) - (x_i - x_{i-1})\mu_{i-1} \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, m - 1 \text{ dan } l_0 = l_m = 1 \quad (9)$$

$$\lambda_i = \frac{3\{\alpha_{i+1}(x_i - x_{i-1}) - \alpha_i(x_{i+1} - x_{i-1}) + \alpha_{i-1}(x_{i+1} - x_i)\}}{(x_i - x_{i-1})(x_{i+1} - x_i)} \text{ untuk } i = 1, \dots, m - 1 \quad (10)$$

Luas penampang sel dihitung dengan mengintegrasikan Pers.2 di antara batasnya:

$$a_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} h_i(x) dx \quad (11)$$

Perimeter penampang sel dapat dihitung dengan melakukan integral garis pada Pers.2 di antara batasnya (http://en.wikipedia.org/wiki/Arc_length#Precise_definition):

$$p_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \sqrt{1 + d_i'(x)^2} dx \quad (12)$$

Integrasi Pers.11 dan Pers.12 lebih efektif bila dilakukan secara numerik, misalnya disini digunakan metode Adaptive Quadrature (Burden dan Douglas, 1989, Hal:184-189). Metode ini merupakan perbaikan dari metode Composite Simpson. dimana ukuran sel-sel bisa berubah selama proses perhitungan agar kesalahan yang terjadi berada pada kisaran yang ditoleransi.

Selanjutnya, kecepatan rata-rata sungai, V , dapat dihitung dengan membagi debit sungai, Q , dengan luas penampang basah sungai, A .

$$V = \frac{Q}{A} \quad (13)$$

Formula Manning (Suresh, 1993; Israelsen and Hansen, 1962), Pers.14, digunakan untuk menghitung kemiringan hidrolika, S , dan kekasaran dasar, n , sungai secara simultan bila terdapat lebih dari satu data pengukuran.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (14)$$

Dimana, R adalah radius hidrolika yang merupakan luas penampang basah dibagi perimeter basah sungai, P .

$$R = \frac{A}{P} \quad (15)$$

Kurva debit (*rating curve*) menyajikan hubungan antara tinggi muka air dari dasar sungai, H , dengan debit sungai, Q . Data H - Q dapat dihitung menggunakan Pers.14 dengan nilai n dan S konstan untuk berbagai R berdasarkan pada H , yang merupakan kebalikan dari dalam sungai, D . Untuk menghitung A dan P pada Pers.15 memerlukan interval batas, yaitu jarak terdekat dan terjauh permukaan air sungai, atau X_{mn} dan X_{mx} . Interval batas ini dapat dihitung menggunakan fungsi balik (*inverse function*) Pers.2 secara numerik dengan metode Newton-Raphson.

BAHAN DAN METODE

Solusi numerik untuk Pers.2 telah tersedia (Burden dan Faires, 1989, Hal:126-133), di sini kemudian diformat ulang dalam bentuk **Sub Spline** yang sesuai dengan lingkungan *Visual Basic Editor* (VBE) yang terdapat dalam program aplikasi MS Excel. **Sub Spline** setelah menerima data lebar dan dalam sungai selanjutnya akan menghasilkan 3 seri koefisien (Pers.4, 5 dan 6).

Setelah koefisien tersebut diperoleh kemudian dilakukan perhitungan luas penampang sel a_i , perimeter sel p_i , radius hidrolika r_i dan debit sel q_i yang merupakan perkalian antara penampang

sel dan kecepatan air di sel v_i tersebut. Tahap berikutnya dilakukan penjumlahan seluruh luas penampang A dan perimeter P serta perhitungan radius hidrolika R , untuk seluruh penampang basah. Debit sungai Q diperoleh dengan menjumlahkan debit dari setiap sel. Bila hanya dilakukan satu kali pengukuran saja, nilai dapat n diambil dari tabel kekasaran Manning (Israelsen dan Hansen, 1962), dan S kemudian dihitung menggunakan Pers.13 dan Pers.14. Tetapi bila terdapat data pengukuran lebih dari satu kali atau di beberapa lokasi, dapat dilakukan optimisasi untuk memperoleh n dan S , misalnya menggunakan **Solver** yang terdapat dalam MS Excel.

Data pengukuran kedalaman sungai dari yang terendah sampai tertinggi dari satu sisi sungai, X_{mn} kemudian dipakai untuk menentukan lokasi muka air dari sisi sungai di seberangnya, X_{mx} . Luas, perimeter dan radius hidrolika di antara kedua batas tersebut dihitung dan selanjutnya digunakan untuk menghitung debit sungai.

Metode ini digunakan untuk mengukur beberapa debit sungai di wilayah NAD tetapi di sini sebagai contoh kasus hanya disajikan satu sungai saja, yaitu sungai Rudeng Aceh yang berada dalam DAS Singkil. Hasil pengukuran dapat dilihat dalam Gambar 2, jarak X pada kolom A dan dalam sungai D pada kolom B. Sedangkan kecepatan air yang diukur menggunakan alat ukur arus (*current meter*) V ditempatkan pada kolom F. Jumlah data sebanyak 13 pasang, data kecepatan merepresentasikan sel dalam setiap interval 10 m.

HASIL DAN PEMBAHASAN

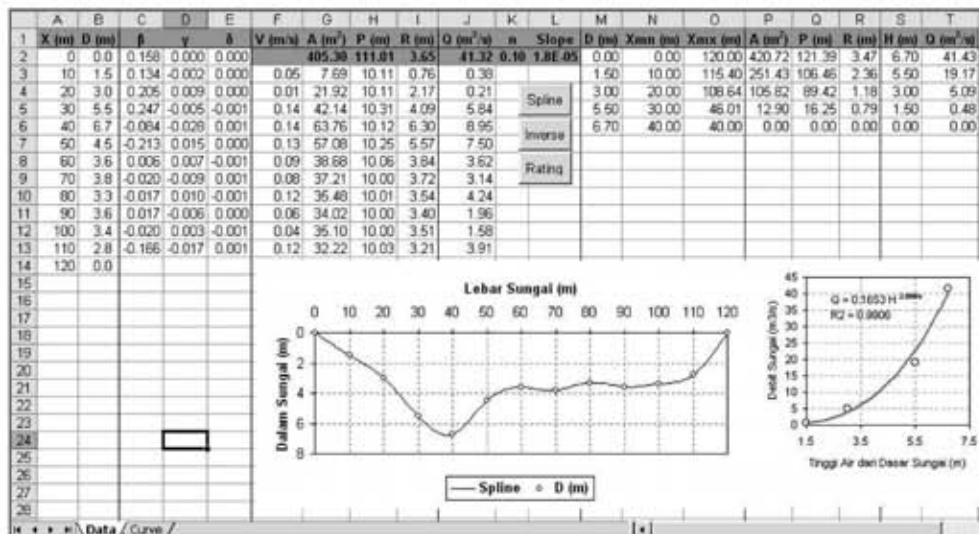
Gambar 2 menyajikan data pengukuran dan hasil dari setiap tahap perhitungan yang disajikan pada sebuah spreadsheet dalam MS Excel. Kolom A

dan B menyajikan data jarak dan dalam sungai. Kolom C, D dan E menyajikan koefisien fungsi interpolasi cubic spline. Kolom F menyajikan data kecepatan, misalnya untuk jarak 0-10 cm adalah 0.05 m/s. Kolom G, H dan I menyajikan luas penampang, perimeter dan radius hidrolika untuk keseluruhan dan setiap sel. Kolom J menyajikan debit untuk keseluruhan dan setiap sel. Kolom N menyajikan nilai kekasaran Manning. Kolom L menyajikan kemiringan hidrolika. Hasil perhitungan sampai pada tahap ini diperoleh setelah tombol **Spline** diklik. Dalam Gambar 2 terlihat profil penampang melintang sungai Rudeng Aceh di lokasi pengukuran. Terlihat titik-titik pengukuran dan garis CSI menghubungkan titik-titik tersebut dengan tepat dan mulus. Pengukuran debit sesaat ini menghasilkan luas penampang basah sekitar 405 m², perimeter 111 m, radius hidrolika 3.65 m, debit sungai 41.32 m³/s dan kemiringan hidrolika 1.8x10⁻⁵.

Selanjutnya setelah tombol **Inverse** diklik, Kolom M menyajikan data dalam sungai yang sebelumnya disajikan pada Kolom B tetapi hanya sampai ke dalam

sungai yang tertinggi, di sini misalnya 6.7 m. Kolom N dan Kolom O masing-masing menyajikan jarak terdekat X_{mn} dan terjauh X_{mx} yang sesuai dengan dalam sungai tersebut. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa jarak terjauh X_{mx} dihitung menggunakan Metode Newton-Raphson yang memerlukan aproksimasi awal X_{mx} yang realistis. Di sini, aproksimasi X_{mn} awal ditentukan dengan interpolasi di antara dua titik pengukuran yang berdekatan. Dalam banyak kasus, prosedur otomatis seperti ini berhasil menemukan solusinya. Namun bila solusinya sulit ditemukan dapat dilakukan aproksimasi X_{mn} awal yang lebih realistis secara manual, yaitu dengan melihat langsung pada kurva profil sungai, dan tentukan dimana kira-kira lokasi X_{mx} berada pada kedalaman tersebut. Selanjutnya nilai X_{mn} awal yang baru tersebut diketikkan dalam sel yang bersangkutan dan tombol **Inverse** diklik kembali untuk menemukan solusi terbaru.

Bila kemudian tombol **Rating** diklik maka akan dilakukan secara berturut-turut perhitungan luas (Kolom P), perimeter (Kolom Q), radius hidrolika



Gambar 2. Data dan profil penampang sungai, koefisien fungsi interpolasi cubic spline, kecepatan sungai, debit sungai serta kurva debit sungai Rendeng Aceh.

(Kolom R) dan debit (Kolom T) serta tinggi air dari dasar sungai disajikan pada Kolom S. Pasangan H (Kolom S) dan Q (Kolom T) merupakan data kurva debit (*rating curve*) yang dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti tertera juga dalam Gambar 2. Dengan menggunakan **Add Trendline** dan memilih **Power Function** diperoleh $Q = 0.1649 \times H^{2.88864}$ dengan $R^2=0.9906$.

Spreadsheets yang sama dapat digunakan untuk memasukkan/mengganti dengan data baru dari sungai lainnya tetapi dengan terlebih dahulu melakukan **Save As** agar file sebelumnya tidak terhapus. Ada baiknya juga data yang ada sebelumnya dihapus terlebih dahulu agar tidak bersatu dengan data baru. Hal ini bisa terjadi bila data sebelumnya lebih banyak dibandingkan dengan data terbaru.

Dibandingkan dengan metode sebelumnya (Setiawan, 1999), metode yang diperbaiki ini jauh lebih praktis dan sangat cepat dalam menemukan kurva debit. Sebelumnya diperlukan waktu berjam-jam untuk menemukan kurva debit untuk satu sungai saja dan cenderung melakukan berbagai kesalahan. Dengan metode baru ini, kurva debit dapat ditemukan dalam hitungan sepersekian detik setelah data pengukuran jarak, dalam dan kecepatan air dimasukkan ke kolom yang relevan.

KESIMPULAN

Metode pengukuran debit sungai menggunakan Cubic Spline Interpolation berhasil diperbaiki. Program komputernya dibangun menggunakan Spreadsheets dan Visual Basic Editor dalam lingkungan MS Excel sehingga mudah dan interaktif dalam memasukkan data dan menayangkan hasilnya. Metode ini jauh lebih praktis dan cepat menemukan solusinya. Kurva debit kini dapat ditemukan dalam hitungan sepersekian detik setelah data pengukuran

dimasukkan. Pengguna yang baru memulai dapat segera menggunakannya tanpa perlu pelatihan khusus.

TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian program insentif berjudul Permodelan Hidrologi untuk Analisa Potensi Sumber Daya Air DAS Singkil Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam yang dibiayai Menteri Negara Riset dan Teknologi mulai tahun 2007. Program komputer untuk menghitung debit ini dapat diperoleh gratis dengan dengan cara menghubungi penulis pertama hanya melalui e-mail.

PUSTAKA

- Burden, R.L. dan J.D. Faires. 1989. Numerical Analysis. Fourth Edition. PWS-KENT Publishing Company, Boston. Pages
- Chow, V.T. 1989. Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics). Alih Bahasa oleh N.Rosalina. Penerbit Erlangga. Bandung. Hal 90.
- Israelsen, O.W., V.E. Hansen. 1962. Irrigation Principles and Practices. Third Edition. John Wiley and Sons. Pages 77~85.
- Suresh, R. 1993. Soil and Water Conservation Engineering. Standard Publishers Distributors. New Delhi. Pages 172~176.
- Loebis, J. 1993. Hidrologi Sungai. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta. Hal: 171~212.
- Setiawan, B.I. 1997. Penerapan Cubic Spline Interpolation dalam Penentuan Debit Sungai. Jurnal Teknik Pertanian. Vol.5, No.1, Hal:1-8.
- Sosrodarsono, S., K. Takeda. 1976. Hidrologi untuk Pengairan. Pradnya Paramita. Jakarta. Hal 171~203.