

KAJIAN MODEL LONG- AND SHORT- TERM RUNOFF (LST) DAN IMPLEMENTASINYA UNTUK MENGHITUNG DEBIT BANJIR

Ummu Habibah¹ dan Suharmadi²

¹Jurusan Matematika, Universitas Brawijaya, Malang
email: ummu915@gmail.com

²Jurusan Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

ABSTRAK

Air hujan merupakan salah satu aspek dari siklus hidrologi yang berperan penting dalam ketersediaan air di dalam bumi. Akan tetapi apabila terjadi hujan lebat dalam durasi waktu yang cukup lama maka air hujan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya aliran permukaan (*surface runoff*) yang berpotensi menimbulkan banjir. Untuk mengetahui jumlah potensi air yang ada pada suatu daerah pengaliran, diperlukan perhitungan hidrologi dari data-data curah hujan. Untuk menghitung jumlah air atau debit sungai pada waktu banjir digunakan formulasi model *Long- And Short-Term Runoff* (LST).

Formulasi model LST diperoleh dari model fisisnya. Pada penelitian ini dikaji proses terbentuknya formulasi model LST dari perilaku sistem berdasarkan fenomena siklus hidrologi. Selanjutnya formulasi model LST tersebut akan diimplementasikan untuk menghitung debit banjir pada suatu daerah pengaliran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi model LST dapat digunakan untuk menghitung debit banjir dan merupakan model yang baik karena pada saat implementasi, *error* yang dihasilkan antara debit banjir pengamatan dan debit banjir perhitungan adalah kecil.

Kata kunci: siklus hidrologi, surface runoff, model LST

PENDAHULUAN

Air hujan merupakan salah satu aspek dari siklus hidrologi yang berperan penting dalam ketersediaan air di dalam bumi. Akan tetapi apabila terjadi hujan lebat dalam durasi waktu yang cukup lama maka air hujan tersebut dapat mengakibatkan terjadinya aliran permukaan (*surface runoff*) yang berpotensi banjir.

Untuk mengetahui jumlah potensi air yang ada pada suatu daerah pengaliran diperlukan perhitungan hidrologi dari data-data curah hujan. Untuk menghitung jumlah air atau debit sungai pada waktu banjir digunakan model *Long- And Short-Term Runoff* (LST). Model ini digunakan untuk menganalisa aliran *long-term* dan *short-term* (banjir) dan dapat juga digunakan untuk meramalkan banjir *real time*.

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana kajian formulasi model LST dan implementasinya untuk menghitung debit sungai pada waktu banjir.

Sedangkan batasan masalah adalah data yang digunakan untuk mengimplementasikan model LST adalah data sekunder yang didapatkan dari PERUM Jasa Tirta yaitu berupa data curah hujan di stasiun Dampit dan data tinggi muka air di sungai Lesti, sedangkan untuk nilai parameter-parameter dan data lainnya menggunakan data artifisial.

KAJIAN TEORI

Siklus Hidrologi

Air di bumi ini mengulangi terus menerus sirkulasi yang berupa penguapan, presipitasi dan pengaliran keluar (*outflow*). Air menguap ke udara dari permukaan tanah dan laut, berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses dan kemudian jatuh sebagai hujan atau salju ke permukaan laut atau daratan. Sebelum tiba ke permukaan bumi sebagian langsung menguap ke udara dan sebagian tiba ke permukaan tanah. Sebagian akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan di mana sebagian akan menguap dan sebagian lagi akan jatuh atau mengalir melalui dahan-dahan ke permukaan tanah.

Air hujan yang tiba ke permukaan tanah akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi). Bagian lain yang merupakan kelebihan akan mengisi lekuk-lekuk permukaan tanah, kemudian mengalir ke daerah-daerah yang rendah, masuk ke sungai-sungai dan akhirnya ke laut. Tidak semua butir air yang mengalir akan tiba ke laut. Dalam perjalanan ke laut sebagian akan menguap dan kembali ke udara. Sebagian air yang masuk ke dalam tanah, keluar kembali segera ke sungai-sungai (disebut aliran intra = *interflow*). Tetapi sebagian besar akan tersimpan sebagai air tanah (*groundwater*) yang akan keluar sedikit demi sedikit dalam jangka waktu yang lama ke permukaan tanah di daerah-daerah yang rendah

(disebut *groundwater runoff* = limpasan air tanah).

Sirkulasi yang kontinu antara air laut dan air daratan berlangsung terus. Sirkulasi air ini disebut siklus hidrologi (*hydrological cycle*).

Infiltrasi Horton

Konsep infiltrasi Horton adalah limpasan permukaan dimulai pada tempat dan saat intensitas curah hujan melampaui suatu tingkat di mana air dapat memasuki tanah. Persamaan infiltrasi Horton adalah sebagai berikut:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-kt) \quad (1)$$

Dimana :

- f : kapasitas infiltrasi / daya serap
- f_0 : kapasitas infiltrasi maksimum (pada awal hujan)
- f_c : kapasitas infiltrasi rendah
- k : parameter kapasitas infiltrasi
- t : waktu dari mulainya hujan

Aliran Long-Term dan Short-Term (Banjir)

Model LST adalah model yang terdiri dari tangki-tangki penyimpanan. Pada model LST terdapat dua aliran yaitu aliran *long-term* dan *short-term*.

Secara umum yang disebut aliran *long-term* adalah aliran yang mengalir di suatu daerah pengaliran atau sungai. Dalam model LST, yang disebut aliran *long-term* adalah aliran yang keluar dari tangki penyimpanan dan mengalir menuju ke suatu daerah pengaliran atau sungai.

Banjir disebut juga dengan aliran *short-term* karena aliran banjir terjadi secara langsung ketika hujan turun dan berlangsung dengan cepat. Aliran *short-term* dapat juga mengakibatkan aliran *long-term* apabila banjir yang terjadi sangat besar sehingga air tersebut akan mengalir ke suatu daerah pengaliran.

Hukum Manning

Hukum Manning dapat digunakan untuk menghitung kecepatan aliran dalam saluran yang didefinisikan dengan :

$$V = \frac{1}{k_s} \cdot j^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Jadi,

$$\begin{aligned} Q &= V \cdot CSA \\ &= \frac{1}{k_s} \cdot j^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot CSA \\ &= p \cdot j^{\frac{2}{3}} \cdot CSA \end{aligned} \quad (3)$$

Dimana :

- k_s : koefisien kekasaran
- V : kecepatan aliran rata-rata (m/s)
- I : gradien/kemiringan permukaan air
- j : jari-jari hidrolisis (m)
- Q : debit

CSA : luas penampang melintang air (m^2)

Jari-jari hidrolisis (ketinggian sungai) dapat dihitung dengan membandingkan antara luas penampang melintang air (CSA) dengan keliling basah (WP).

$$j = \frac{CSA}{WP} \quad (4)$$

Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas pada fluida didefinisikan dengan

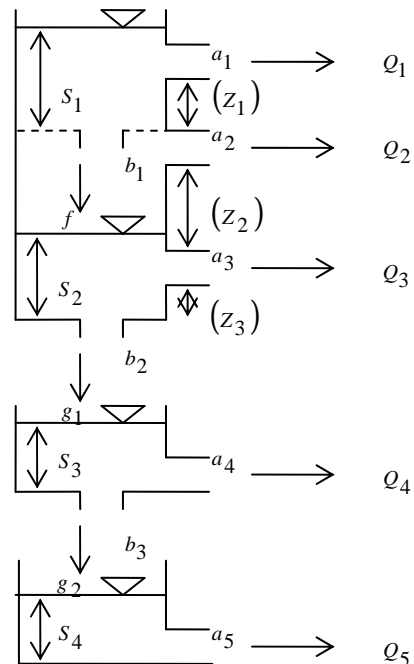
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Dimana :

- $\rho = \rho(x, y, z, t)$: rapat massa (kg/m^3)
- u : kecepatan pada arah sumbu x (m/s^2)
- v : kecepatan pada arah sumbu y (m/s^2)
- w : kecepatan pada arah sumbu z (m/s^2)
- t : waktu (s)

Kajian Formulasi Model LST

Model LST terdiri dari 3 tangki penyimpanan. Pada tangki paling atas dibagi menjadi 2 lapis sehingga jumlah tangki penyimpanan menjadi 4. Bentuk model fisis dari model LST adalah seperti gambar di bawah ini:



Gambar 1. Model LST

∇ : permukaan tangki penyimpanan

Dimana :

S_j : simpanan air dalam tangki penyimpanan

r : rata-rata curah hujan

f : kapasitas infiltrasi (daya serap)

E_j : evapotranspirasi pada permukaan tangki penyimpanan

Q_1 : aliran permukaan (*surface runoff*)

Z_j : ketinggian batas aliran yang keluar tangki penyimpanan (*height of runoff outlet*)

Q_2 dan Q_3 : aliran bawah permukaan (*subsurface runoff*) yang keluar tangki penyimpanan

Q_4 dan Q_5 : aliran air tanah (*groundwater runoff*) yang keluar tangki penyimpanan

a_i dan b_j : parameter-parameter aliran

Dengan memperhatikan perilaku sistem dan pengetahuan tentang siklus hidrologi maka diperoleh persamaan kontinuitas tiap tangki penyimpanan sebagai berikut :

$$\frac{dS_1}{dt} = r - E_1 - f - Q_1 - Q_2, \quad \frac{dS_2}{dt} = f - Q_3 - g_1 \quad (6)$$

$$\frac{dS_3}{dt} = g_1 - E_1 - Q_4 - g_2, \quad \frac{dS_4}{dt} = g_2 - E_3 - Q_5$$

Aliran Q_j dan perembesan g_j dihitung sebagai berikut :

$$Q_1 = a_1(S_1 - Z_1)^m, m = \frac{5}{3}$$

$$Q_2 = a_2 S_1, \quad Q_3 = a_3(S_2 - Z_3), \quad g_1 = b_2 S_2 \quad (7)$$

$$Q_4 = a_4 S_3, \quad Q_5 = a_5 S_4, \quad g_2 = b_3 S_3$$

Dengan mengasumsikan bahwa Hukum Manning dapat diaplikasikan untuk aliran permukaan, maka $m = \frac{5}{3}$ dapat digunakan dalam persamaan $Q_1 = a_1(S_1 - Z_1)^m$.

Tingkat infiltrasi f dari lapisan atas ke lapisan bawah pada tangki atas adalah:

$$f = b_1(Z_2 + Z_3 - S_2) \quad (8)$$

Ketika terdapat cukup banyak air di lapisan atas, persamaan infiltrasi Horton ditunjukkan dalam bentuk parameter-parameter model. Dalam kasus $S_2 > Z_3$, diperoleh hubungan-hubungan dibawah ini:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \exp(-kt)$$

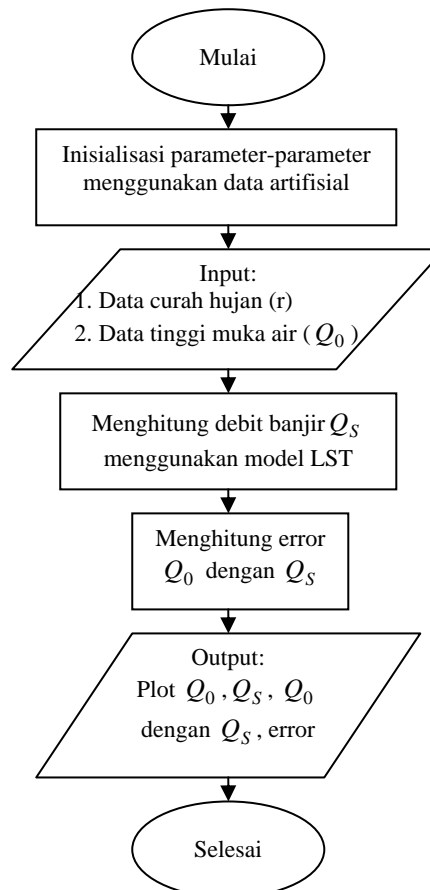
$$f_c = \left[b_1 b_2 (Z_2 + Z_3) + a_3 b_1 Z_2 \right] / k \quad (9)$$

$$k = a_3 + b_1 + b_2$$

METODE DAN TEKNIK ANALISIS

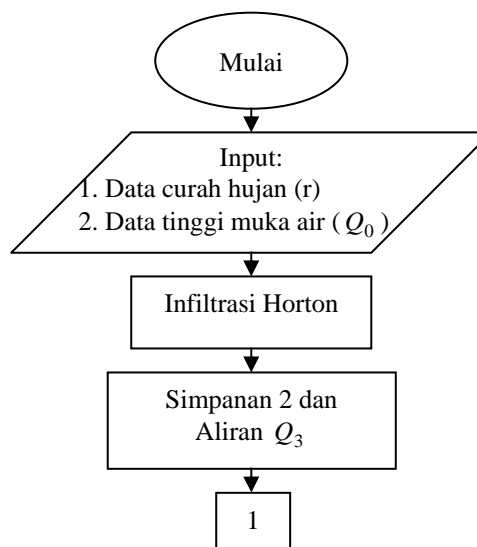
Implementasi Model LST Untuk Menghitung Debit Banjir

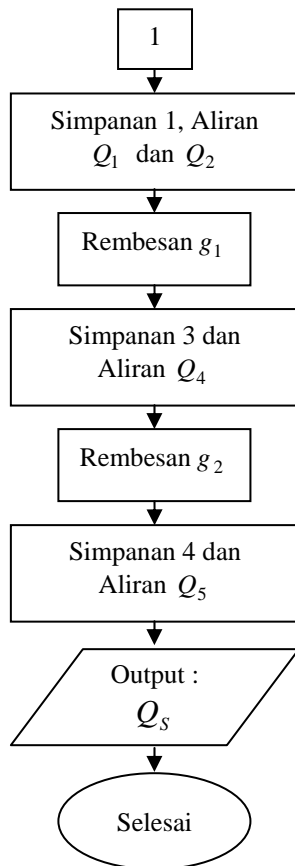
Langkah-langkah dalam implementasi model LST dapat dilakukan sebagai berikut :



Gambar 2. Bagan alir implementasi formulasi model LST

Sedangkan langkah-langkah untuk menghitung debit banjir Q_s menggunakan model LST dapat dilakukan pada bagan alir sebagai berikut:





Gambar 3. Bagan alir perhitungan debit banjir menggunakan model LST

Pada Model LST, debit banjir perhitungan Q_s diestimasi dari debit banjir aktual (pengamatan) yaitu

$$Q_s = Q_0 - (Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad (10)$$

Dimana :

- Q_s : Debit banjir perhitungan menggunakan formulasi model LST
- Q_0 : Debit banjir pengamatan (aktual)
- Q_3 : Aliran bawah permukaan yang keluar dari tangki penyimpanan dua
- Q_4 : Aliran air tanah yang keluar dari tangki penyimpanan tiga
- Q_5 : Aliran air tanah yang keluar dari tangki penyimpanan empat

HASIL DAN PEMBAHASAN

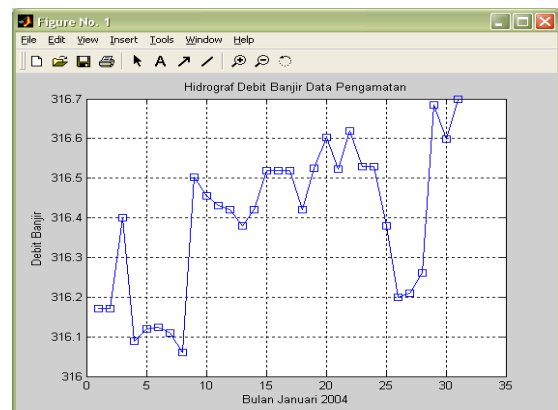
Berdasarkan bagan alir pada gambar 2., diperoleh hasil dari implementasi model LST untuk menghitung debit banjir menggunakan script M-File yang ditunjukkan pada tabel 1.

Dari Tabel 1 diperoleh *error* antara data pengamatan dan perhitungan menggunakan formulasi model LST adalah kecil.

Tabel 1. Perbandingan debit banjir pengamatan dan perhitungan beserta *error*

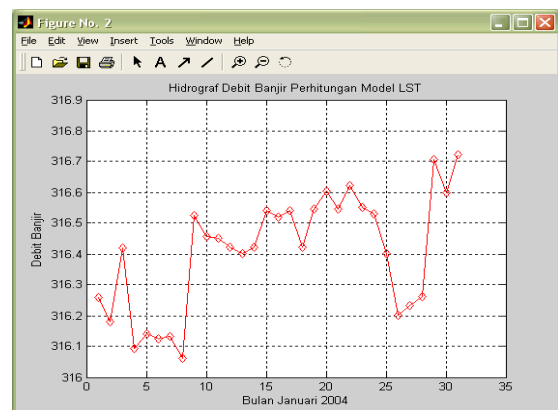
Tanggal	debit banjir pengamatan (m)	debit banjir dengan model LST (m)	<i>error</i> perhitungan dan pengamatan
1	316.1700	316.2600	0.09000
2	316.1700	316.1780	0.01020
3	316.4500	316.4195	0.01988
4	316.0900	316.0944	0.00236
5	316.1200	316.1403	0.02190
6	316.1230	316.1260	0.00166
7	316.1100	316.1310	0.02217
8	316.0600	316.0627	0.00155
9	316.5030	316.5241	0.02221
10	316.4550	316.4576	0.00154
11	316.4300	316.4511	0.02222
12	316.4200	316.4226	0.00153
...
...
...
31	316.7000	316.7211	0.02222

Berikut ini adalah grafik yang menunjukkan debit banjir pengamatan pada bulan Januari 2004.



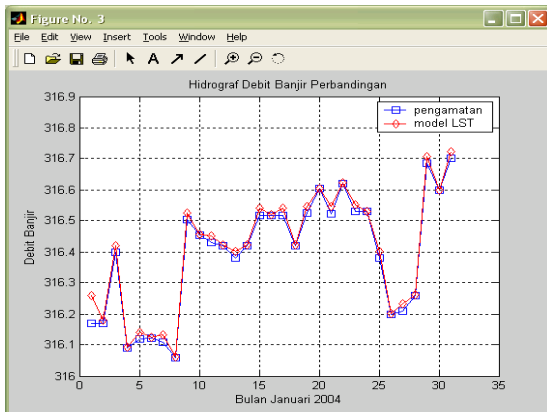
Gambar 4. Hidrograf debit banjir pengamatan

Untuk debit banjir perhitungan menggunakan formulasi model LST ditunjukkan pada grafik dibawah ini.



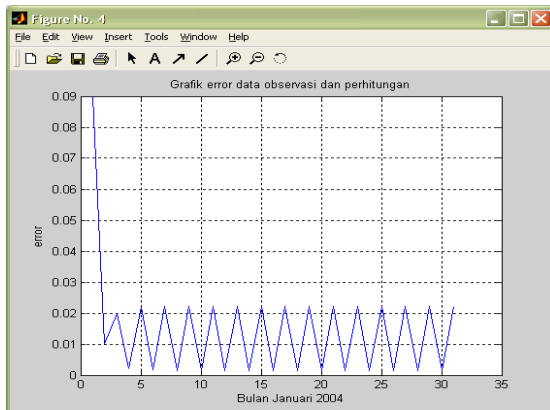
Gambar 5. Hidrograf debit banjir perhitungan

Selanjutnya perbandingan debit banjir pengamatan dan perhitungan ditunjukkan pada grafik dibawah ini



Gambar 6. Hidrograf debit banjir pengamatan dan perhitungan

Kemudian untuk *error* antara debit pengamatan dan debit banjir perhitungan ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 7. Grafik *error* antara pengamatan dan perhitungan

Dari perhitungan debit banjir menggunakan model LST pada Tabel 1 dan Gambar 7 di atas terlihat bahwa *error* antara data aktual dengan data perhitungan adalah kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa model LST adalah model yang baik untuk menghitung debit banjir.

PENUTUP

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi model LST dapat digunakan untuk menghitung debit banjir dan merupakan model yang baik karena pada saat implementasi, *error* yang dihasilkan antara debit banjir pengamatan dan debit banjir perhitungan adalah kecil yaitu antara 0.00153 sampai dengan 0.09000.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bellomo, N. dan Preziosi, L., (1994), *Modelling Mathematical Methods and Scientific Computation*, Politecnico di Torino, Torino.
- [2] De Smedt, F., (1988), Introduction To River Water Quality Management, Interuniversity Post-graduate Programme in Hidrology, Vrije Universiteit Brussel.
- [3] Direktorat Jenderal Pengairan, (1974), Analisa Run-off Dengan Metode Storage Function, *Seminar Pengairan Rainfall & Run Off Relation And Design Flood (DPMA Bandung)*, 27-30 Agustus, 6, jilid I.
- [4] Direktorat Jenderal Pengairan, (1974), Analisa Run-off Dengan Metode Storage Function, *Seminar Pengairan Rainfall & Run Off Relation And Design Flood (DPMA Bandung)*, 27-30 Agustus, 6, jilid II.
- [5] Hanselman, D., dan Littlefield, B., (2001), *Mastering MATLAB 6 A Comprehensive Tutorial and Reference*, Prentice Hall, New Jersey.
- [6] Linsley, R., Kohler, M., dan Paulus, J., (1982), "Hydrologi For Engineers", in: *Hidrologi Untuk Insinyur*, Ed: Sianipar, T. dan Haryadi, E., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Nagai, A, (2002), Hydrologic Modeling of Rainfall-runoff Process and Its application to Real-time Flood Forescating.
- [8] Penny, J., Lindfield, G., (2000), *Numerical Methods Using MATLAB*, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- [9] http://watercycle.gsfc.nasa.gov/images/watergraphic_low.jpg