

KALIBRASI PARAMETER MODEL HEC-HMS UNTUK MENGHITUNG ALIRAN BANJIR DAS BENGKULU

Gede Tunas *

Abstract

HEC-HMS is an hydrology model for use in analyzing a watershed system in order to predict the hydrologic response of the system to a user defined rainfall event. To obtain the optimal parameter value, HEC-HMS model must be calibrated by adjusting model parameter values until model results match historical data. This research would try to calibrate HEC-HMS parameter model in Bengkulu Hulu Watershed. Parameter values are adjusted by the search methods and the hydrograph and objective function for the target element are recomputed. The result of simulation shows that the optimal parameter value for several optimization which stated by function value have 5.8 % error (RMS error type)

Keyword: calibration, parameter models, HEC-HMS models, flood.

1. Pendahuluan

Proses transformasi hujan menjadi aliran merupakan proses alamiah yang sangat kompleks. Kompleksitas proses tersebut disebabkan oleh dua hal, yakni variabilitas sistem DAS dan karakter masukan (*input*) yang mempunyai variabilitas ruang dan waktu yang sangat tinggi. Pada sisi yang lain tanggapan (*response*) DAS dalam proses transformasi sangat tergantung dari sifat masukan dan karakteristik DAS itu sendiri. Adanya kombinasi sifat masukan dan sistem DAS yang sangat kompleks menimbulkan kesulitan dalam memperkirakan perilaku sistem DAS terhadap masukan tertentu.

Analisis kuantitatif terhadap keluaran sistem DAS berdasarkan masukan dan karakteristik sistem dapat dilakukan dengan model. Pada dasarnya model yang baik adalah model yang dapat menirukan perilaku sistem DAS yang sesungguhnya. Namun keterbatasan model selama ini adalah unjuk kerja model tidak sepenuhnya dapat menirukan perilaku sistem DAS. Hal ini terkait dengan kompleksitas sifat masukan dan sistem yang tidak sepenuhnya terwakili dalam model. Demikian pula penentuan besaran parameter dalam model bukanlah pekerjaan yang mudah. Beberapa parameter model memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi sehingga sulit untuk diperkirakan secara tepat.

HEC-HMS adalah salah satu paket model hidrologi yang dikembangkan oleh USACE-HEC.

Untuk dapat menirukan perilaku aliran di dalam sistem DAS, model HEC-HMS memerlukan penyesuaian parameter model yang disebut sebagai kalibrasi. Kalibrasi dilakukan terhadap parameter-parameter model dengan melakukan evaluasi kemiripan hasil simulasi dan data observasi. Pada model ini, tidak semua perkiraan parameter dapat ditentukan berdasarkan karakter fisik DAS. Beberapa parameter harus ditentukan berdasarkan proses kalibrasi karena tidak memiliki arti fisik sama sekali. Oleh karena itu unjuk kerja model HEC-HMS dalam menirukan perilaku DAS yang sesungguhnya sangat tergantung dari ketersediaan data observasi selama periode waktu tertentu agar dapat dilakukan proses kalibrasi parameter model.

2. Tinjauan Pustaka

HEC-HMS adalah model matematika numeris yang dikemas dalam paket program komputer, yang terdiri dari sejumlah metode untuk mensimulasikan *watershed*, saluran dan perilaku bangunan air (*water control structure*). Model ini dikembangkan oleh USACE-HEC dengan tujuan untuk memprediksi keluaran dari suatu sistem DAS. Struktur pembangun model HEC-HMS terdiri dari enam komponen, antara lain model hujan, model volume limpasan, model limpasan langsung, model aliran dasar dan model penelusuran aliran dan model *water-control measure* yang meliputi *diversions* dan *storage facilities*. Masing masing komponen model tersebut

* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

didukung oleh beberapa metode perhitungan yang dapat dipilih dan ditentukan oleh *user* berdasarkan ketersediaan data simulasi pada suatu DAS. Struktur konsep dasar proses transformasi hujan-aliran untuk yang digunakan pada model HEC-HMS dapat dilihat pada Gambar 1 (setelah Ward, 1975 dalam USACE, 2001).

Pada model HEC-HMS hampir semua parameter fisik DAS telah diakomodasi dalam sub-sub model. Menurut USACE (2001), tingkat akurasi hasil simulasi model tergantung pada ketersediaan data dan metode yang dipilih oleh *user*. Beberapa metode pada model ini mengakomodasi hampir semua parameter dan beberapa metode yang lain menggunakan pendekatan yang lain. Hal ini memberikan keluwesan pada *user* dalam menentukan metode yang digunakan.

2.1 Model volume limpasan

Volume *run-off* adalah volume air hujan yang dikurangi volume air yang terintersepsi, terinfiltrasi, tertampung pada permukaan, dan ter-evapotranspirasi. Limpasan merupakan bagian air yang berada di permukaan yang terdiri dari

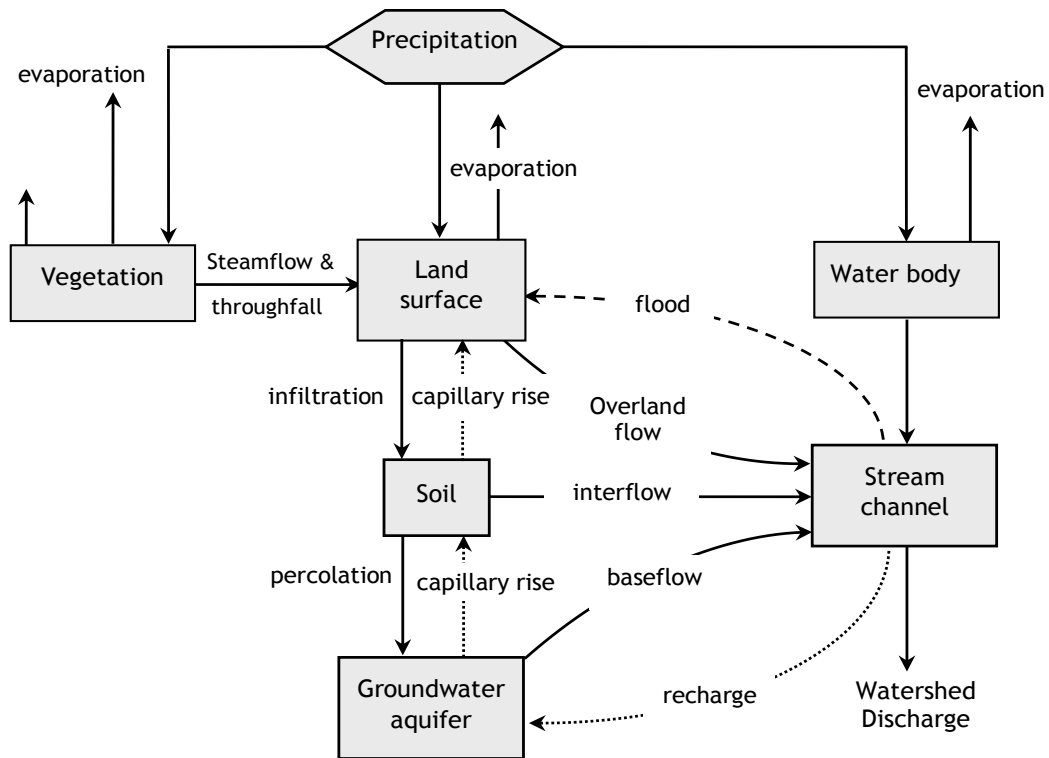
empat unsur yaitu tahanan permukaan (*surface detention*), tampungan-cekungan (*surface storage*), aliran limpasan (*overland flow*) dan limpasan permukaan (*surface run-off*). Salah satu model yang dapat digunakan untuk menghitung *precipitation loss* dan *precipitation excess* adalah *Soil Conservation Service (SCS) Curve Number Loss Model*.

Model *SCS Curve Number (CN)* memperkirakan *precipitation excess* sebagai suatu fungsi kumulatif dari hujan, penutup lahan, tataguna lahan, dan *antecedent moisture* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- P_e = akumulasi *precipitation excess* pada saat t
- P = akumulasi kedalaman hujan pada saat t
- I_a = *Initial Loss*
- S = *maximum retention potential*



Gambar 1 Struktur transformasi hujan aliran pada model HEC-HMS

Interval waktu dihitung sebagai perbedaan antara akumulasi *precipitation excess* pada saat akhir dan awal periode. Nilai *retention maximum* (S) dan karakteristik DAS dihubungkan dengan nilai parameter *curve number* (CN) dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

S = Nilai *retention maximum*

CN = nilai parameter *curve number*

Nilai CN berkisar antara 100 untuk *water body* dan 30 untuk tanah permeabel dengan laju infiltrasi tinggi. Nilai CN dari DAS diperkirakan sebagai suatu fungsi dari tataguna lahan, tipe tanah, dan *antecedent watershed moisture* menggunakan tabel yang dipublikasikan oleh SCS. Tipe tanah dikelompokkan menjadi empat dengan notasi A, B, C dan D seperti Tabel 1. Untuk DAS yang terdiri dari beberapa tipe tanah dan tataguna lahan maka nilai CN adalah $CN_{composite}$ yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots(3)$$

dengan $CN_{composite}$ = Nilai CN komposit; i =indek untuk sub DAS yang mempunyai tatagun lahan yang sama dan A_i =luas daerah subDAS.

2.2 Model limpasan langsung

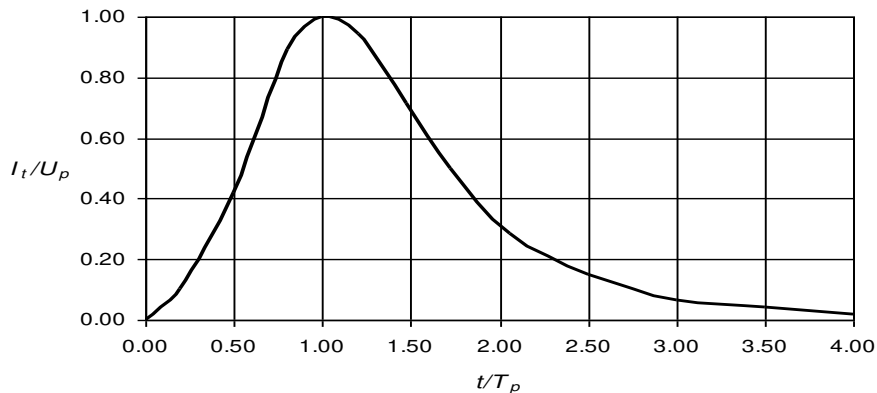
Model limpasan langsung di dalam model HEC-HMS mengikuti prinsip hidrograf satuan dengan asumsi sebagai berikut : hujan terjadi merata diseluruh DAS (*evenly distributed*) dan intensitas tetap pada setiap interval waktu (*constant intensity*), hujan terjadi kapanpun tidak berpengaruh pada proses transformasi hujan menjadi debit atau hidrograf (*time invariant*), debit atau hidrograf berbanding lurus dengan hujan dan berlaku asas superposisi (*linier system*) dan waktu resesi selalu tetap.

Salah satu model hidrograf satuan yang terdapat pada model HEC-HMS adalah hidrograf satuan SCS (*Soil Conversation Service*). Model unit hidrograf SCS merupakan model hidrograf berpuncak tunggal (*single-peaked*) dan hidrograf tanpa satuan (*dimensionless*) seperti terlihat pada Gambar 2.

Tabel 1 Kelompok tanah dan laju kehilangan menurut model SCS

Soil group	Description	Range of loss rates (in/hr)
A	Deep sand, deep loess, aggregated silts	0.30-0.45
B	Shallow loess, sandy loam	0.15-0.30
C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay	0.05-0.15
D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils	0.00-0.05

Sumber : (Skaggs and Khaleel, 1982 dalam USACE, 2000)



Gambar 2 Tipikal hidrograf satuan SCS

Pada metode SCS puncak hidrograf (U_p) dapat diperoleh dengan persamaan :

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \dots\dots\dots(4)$$

dengan A=luas DAS; C=konstanta konversi (2.08); dan T_p =waktu puncak yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \dots\dots\dots(5)$$

dengan Δt = lama kejadian hujan dan t_{lag} = waktu yang diperlukan dari pusat massa hujan sampai pada puncak hidrograf. Waktu lag dan waktu konsentrasi (t_c) dihubungkan dengan persamaan berikut:

$$t_{lag} = 0.6 t_c \dots\dots\dots(6)$$

Sedangkan waktu konsentrasi (t_c) merupakan penjumlahan dari waktu yang diperlukan oleh hujan di permukaan (t_{sheet}), waktu yang diperlukan oleh hujan di alur ($t_{shallow}$) dan waktu yang diperlukan di saluran ($t_{channel}$), yaitu:

$$t_c = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel} \dots\dots\dots(7)$$

2.3 Model aliran dasar

Dua komponen utama penyusun hidrograf aliran di saluran (sungai) adalah limpasan langsung (*direct run-off*) dan aliran dasar (*base flow*). Aliran dasar merupakan aliran yang berasal dari pengatusan air tanah dan selalu tersedia setiap saat. Salah satu model aliran dasar yang digunakan pada model HEC-HMS adalah model resesi eksponensial (*exponential recession model*). Model resesi sering digunakan untuk menjelaskan pengatusan dari suatu tampungan alami pada suatu DAS (Linsley et al, 1982 dalam USACE 2001). Hubungan antara aliran dasar pada waktu tertentu (Q_t) dengan besaran awal adalah:

$$Q_t = Q_0 k^t \dots\dots\dots(8)$$

dengan Q_0 adalah aliran dasar awal (pada $t = 0$) dan k adalah konstanta pengatusan pada sisi resesi.

2.4 Model penelusuran aliran

Penelusuran aliran (*stream routing*) adalah cara (prosedur, analisis) matematik yang digunakan untuk melacak aliran melalui sistem hidrologis

(Chow dalam Sri Harto, 2000). Cara penelusuran aliran yang paling banyak digunakan yang juga diakomodasi oleh HEC-HMS adalah cara Muskingum yang dikembangkan oleh Mc Charty. Cara ini mendasarkan pada persamaan sebagai fungsi masukan dan keluaran yang dapat dinyatakan sebagai:

$$I - O = \frac{ds}{dt} \dots\dots\dots(9)$$

Dalam cara Muskingum tampungan dinyatakan sebagai fungsi linier dari masukan dan tampungan, yang terdiri dari tampungan baji (S_b) dan tampungan prisma (S_p), yang dapat dinyatakan sebagai :

$$S = S_b + S_p = KX(I - O) + KO = K[XI + (1 - X)O] \dots\dots\dots(10)$$

3 Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini bertempat di DAS Bengkulu bagian hulu dengan *outlet* terletak di Tabah Terunjam. DAS Bengkulu bagian hulu memiliki luas daerah tangkapan kurang lebih 332.40 km² yang terdiri dari beberapa anak sungai.

Adapun tahapan yang diambil untuk menyelesaikan penelitian ini dapat dibedakan atas 3 macam yaitu tahap pengumpulan data, tahap pembentukan dan simulasi model (kalibrasi dan aplikasi) dan tahap analisis.

1) Tahap pengumpulan data

Pada tahap ini data yang akan dikumpulkan untuk penelitian adalah data sekunder berupa peta topografi, data curah hujan harian selama 20 tahun pada dua stasiun hujan yaitu Stasiun Surabaya dan Stasiun Taba Mutung, data pengukuran debit di Taba Terunjam (*outlet*), data vegetasi dan data jenis tanah permukaan DAS Bengkulu Hulu.

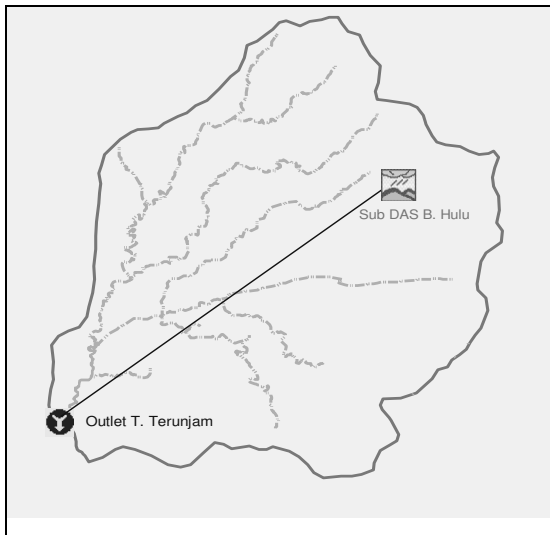
2) Tahap pembentukan dan simulasi model

a. Penyusunan Model dengan menggunakan HEC-GeoHMS. HEC-GeoHMS merupakan salah satu ekstensi pada ArcView GIS yang digunakan untuk menyusun dan mendefinisikan parameter DAS dan selanjutnya model DAS ini dapat diimport pada HEC-HMS dengan format *geo file*.

b. Kalibrasi parameter model HEC-HMS dengan cara memperkirakan parameter awal berdasarkan karakteristik DAS. Optimasi dilakukan dengan membandingkan debit hasil simulasi dengan debit observasi. Apabila hidrograf debit simulasi memiliki kemiripan

dengan hidrograf debit observasi, dalam arti bahwa *function value* relatif kecil atau mendekati nol, maka proses kalibrasi dianggap selesai. Hal ini berarti bahwa model telah memperlihatkan unjuk kerja yang baik. Apabila kondisi ini belum tercapai, maka *trial* parameter selanjutnya dilakukan berulang-ulang sampai kemiripan kurva terpenuhi.

- c. Selanjutnya apabila proses kalibrasi telah dilakukan maka model diaplikasikan untuk menghitung hidrograf banjir untuk beberapa kala ulang. Tahap ini dilakukan dengan memberikan *input* presifitasi berdasarkan hasil perhitungan *hyetograf* untuk masing-masing hujan rancangan.



Gambar 3 Basins model DAS Bengkulu Hulu pada HEC-HMS

3) Tahap analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kurva kalibrasi dan hidrograf debit rancangan yang diperoleh dari simulasi.

4. Hasil dan Pembahasan

DAS Bengkulu Hulu dengan titik *outlet* di Tabah Terunjam memiliki luas kurang lebih 332.40

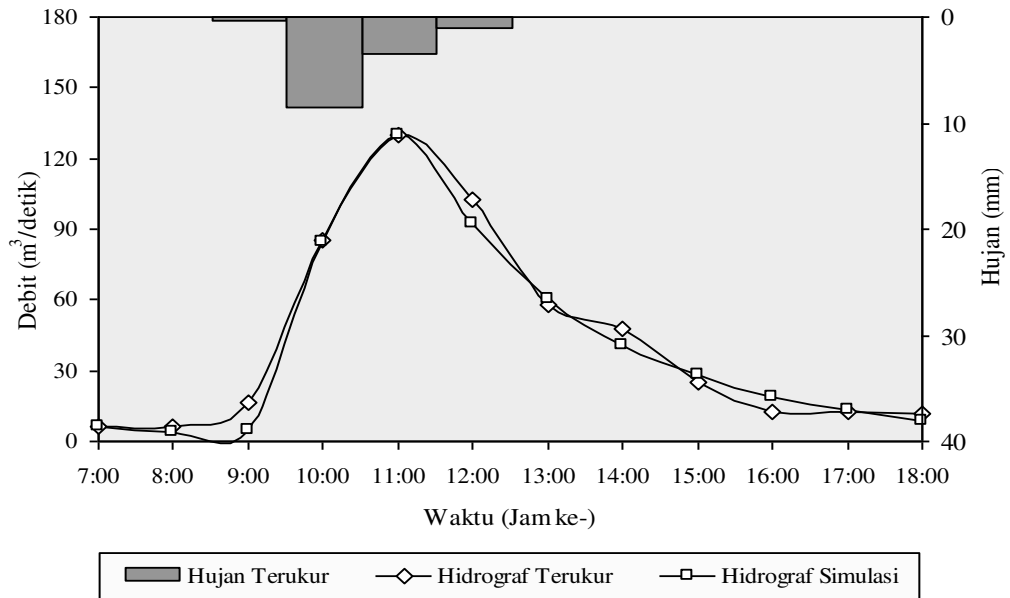
km². DAS dengan bentuk cenderung bulat/oval memiliki faktor bentuk (*shape factor*) 1.5. Hal ini berarti bahwa apabila distribusi hujan dianggap merata di seluruh DAS, maka limpasan air permukaan (*surface run-off*) relatif lebih cepat sampai di titik *outlet*. Hal ini juga dapat dibandingkan dengan sifat karakteristik DAS yang lain, yaitu waktu konsentrasi (t_c). Waktu konsentrasi optimum yang diperoleh dari hasil kalibrasi parameter model adalah 4 jam.

Karakteristik DAS Bengkulu Hulu yang lain yang dapat dinyatakan secara kuantitatif adalah vegetasi penutup permukaan (*vegetal cover*) dan jenis tanah. Berdasarkan Tabel SCS TR-55 yang dikeluarkan oleh SCS US (Skaggs and Khaleel, 1982 dalam USACE, 2000), vegetasi penutup permukaan yang didominasi hutan dan tegalan, dan jenis tanah yang didominasi pasir (*sand*) dan lempung (*clay*) dapat dinyatakan dengan *CN Number* seperti pada Tabel 2. Berdasarkan parameter ini juga dapat diperkirakan angka *impervious* permukaan sebesar 10 %. Parameter lainnya yang tidak dapat ditetapkan berdasarkan karakteristik DAS, dinyatakan dengan perkiraan yang masih berada dalam *range* nilai seperti yang disyaratkan oleh model HEC-HMS.

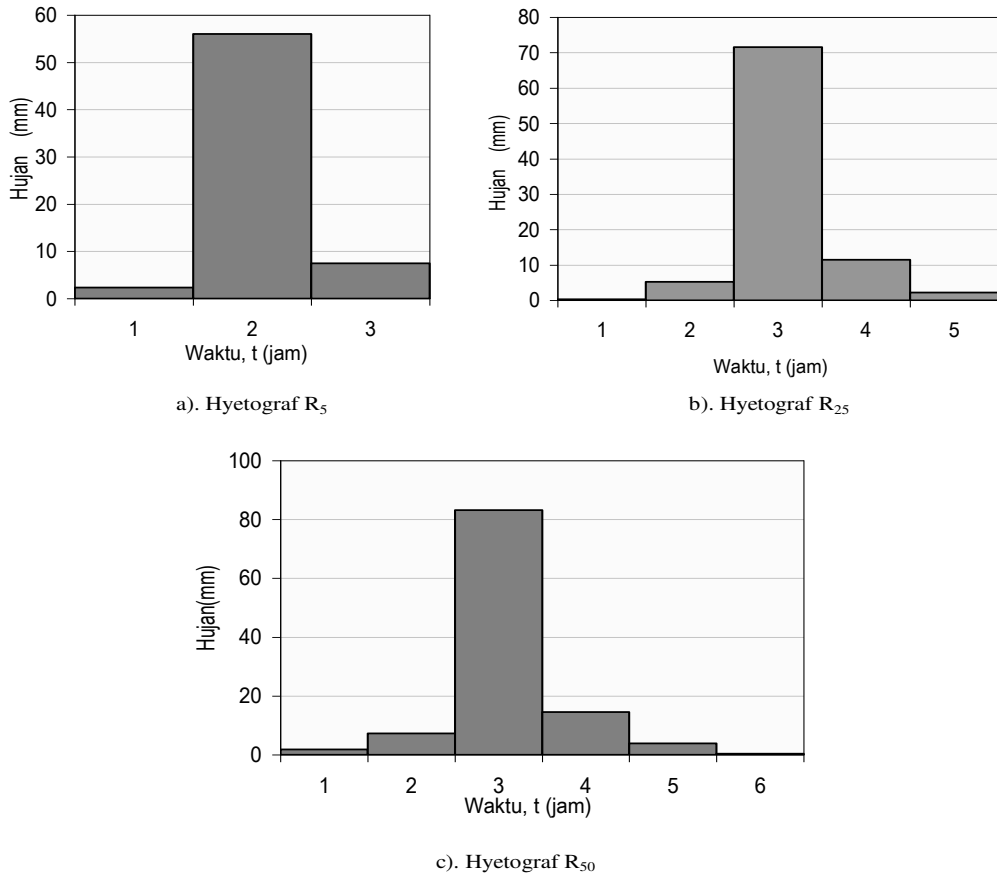
Simulasi optimasi yang dilakukan untuk mengkalibrasi parameter model dilakukan dengan memberikan *input* parameter seperti pada Tabel 2. Optimasi dilakukan dengan *trial* beberapa kali untuk mendapatkan parameter model yang optimum. Hal ini disebabkan setiap parameter memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda-beda. Parameter model optimum dapat diketahui dengan membandingkan kurva hidrograf terukur dengan kurva hidrograf simulasi, dengan nilai *Function Value* sekecil-kecilnya. *Function Value* menyatakan tingkat kesalahan (*error*) hidrograf simulasi terhadap hidrograf terukur. Semakin kecil nilai *Function Value* maka tingkat kesalahan yang terjadi juga semakin kecil.

Tabel 2 Parameter model HEC-HMS pada DAS Bengkulu Hulu

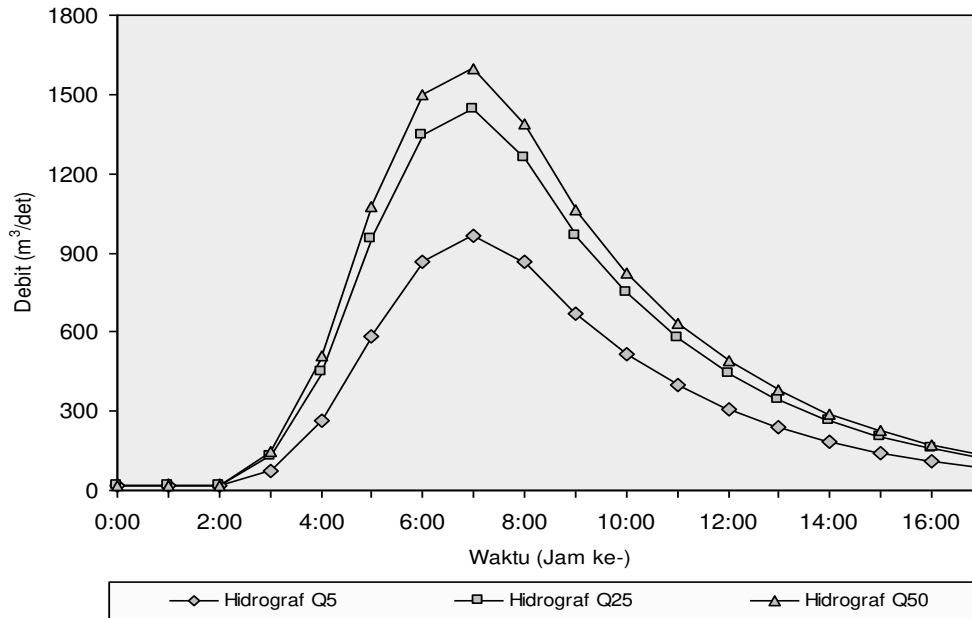
No.	Parameter model	Nilai parameter model	
		Perkiraan awal	Kalibrasi
1	<i>Initial Abstraction</i>	0.8 mm	0.4 mm
2	<i>SSC Lag</i>	50 menit	54 menit
3	<i>Initial Baseflow</i>	6.1 m ³ /det	6.1 m ³ /det
4	<i>Recession Constant</i>	0.6	0.0001
5	<i>Recession Threshold Ratio</i>	0.1	0.5
6	<i>CN Number</i>	65	65



Gambar 4 Hidrograf terukur dan simulasi



Gambar 5 Hyetograf sebagai input model



Gambar 6 Kurva hasil simulasi model HEC-HMS dengan parameter kalibrasi

Gambar 4 menunjukkan kurva hidrograf terukur dengan kurva hidrograf simulasi. Diperlihatkan juga kurva hujan jam-jaman yang digunakan sebagai input model pada tanggal 3 Juni 2003 berturut-turut sebesar 0.4 mm, 11,2 mm, 4.5 mm dan 1.1 mm. Simulasi untuk kalibrasi model memberikan tingkat kesalahan sebesar 5.8 % dengan trial beberapa kali. Tipe fungsi untuk mendefinisikan *Function Value* adalah *Peak-Weighted RMS Error* dengan *Univariate Gradient Search Methods*.

Simulasi model juga dilakukan untuk memprediksi hidrograf banjir kala ulang 5, 25 dan 50 tahun. Penetapan kala ulang ini pada dasarnya hanyalah semata-mata untuk nilai pembanding. Input presifitasi model dinyatakan dalam bentuk *hyetograf* seperti ditunjukkan pada Gambar 5, merupakan hujan rancangan yang ditransformasi menjadi hujan jam-jaman dengan prinsip ABM (*Alternating Block Methods*). Prinsip metode ABM adalah menganggap bahwa distribusi hujan jam-jaman mengikuti pola intensitas-durasi hujan yang dapat dihitung untuk masing-masing jam selama waktu turun hujan. Untuk maksud tersebut diperlukan masukan berupa kurva IDF (*intensity duration frequency*) yang dapat ditetapkan berdasarkan nilai curah hujan harian maksimum untuk berbagai kala ulang dengan pendekatan

rumus Mononobe. Lama hujan ditetapkan berdasarkan pendekatan waktu konsentrasi.

Hasil simulasi model HEC-HMS untuk perkiraan hidrograf banjir rancangan ditunjukkan pada Gambar 6. Debit puncak untuk masing-masing kala ulang diperoleh 965.95 m³/det, 1441.1 m³/det dan 1596.00 m³/det. Hasil simulasi ini memberikan nilai yang relatif besar bila dibandingkan dengan hasil simulasi model HSS Gama I yang dilakukan oleh Tunas (2004) tanpa kalibrasi. Hal ini menunjukkan bahwa setiap model yang akan diaplikasikan pada suatu DAS dengan berbagai sifat hidrologisnya mutlak diperlukan kalibrasi.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari model HEC-HMS pada DAS Bengkulu Hulu maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut ini :

- 1) Kalibrasi model dengan HEC-HMS pada DAS Bengkulu Hulu memberikan hasil yang cukup teliti dengan tingkat kesalahan 5.8 % dengan konsekuensi *trial* optimasi untuk mengkalibrasi parameter harus dilakukan berulang-ulang.
- 2) Parameter model HEC-HMS memiliki tingkat sensitivitas yang bervariasi tergantung dari *input* awal yang diterapkan terhadap model.
- 3) Kalibrasi model HEC-HMS pada DAS Bengkulu hulu memberikan nilai parameter optimum dengan perbedaan yang relatif kecil

pada angka *SCS lag* dan *initial abstraction*, sedangkan pada parameter resesi kalibrasi memberikan nilai perbedaan yang cukup besar.

6. Daftar Pustaka

Bedient, P.B., and Huber, W.C. 1992. "Hydrology and Floodplain Analysis". Addison Wesley, New York.

Sri Harto Br. 2000. "Hidrologi : Teori, Masalah dan Penyelesaian". Nafiri Offset, Yogyakarta.

USACE. 2002. "HEC-HMS Applications Guide". USACE-HEC, Davis C.A

USACE. 2001. "HEC-HMS User's Manual". USACE-HEC., Davis C.A

USACE. 2000. "HEC-HMS Technical Reference Manual". USACE-HEC., Davis C.A

USACE. 2000. "Estimating Design-Flood Discharges for Streams in Iowa Using Drainage-Basin Channel-Geometry". USACE-HEC., Davis C.A