

HIDROGRAF SATUAN SINTETIK LIMANTARA (Studi kasus di sebagian DAS Di Indonesia)

Lily Montarcih L.

Dosen Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145

ABSTRACT

Ideally, every watershed has its own particular unit hydrograph. If the physical and hydrological conditions in general are quite homogeneous, it would be quite possible to create a new SUH model that resembles the ones made up by previous researchers. The SUH model is intended purposefully for (1) finding out the nature of watershed responses against precipitation data input, where by it could become the supportive warning systems to areas that are vulnerable to flooding, (2) resuming up hydrograph data availability that are previously vacant due to the operational problem of the Automatic Water Level Recorder (AWLR), and (3) producing a specific SUH model for Indonesia (SUH Limantara) with a simple mathematical model and without the necessary parametric calibration prior of its application.

This research was done on Java island (involving 6 watersheds and 67 sub-watersheds), on Bali island (involving 2 watersheds and 13 sub-watersheds) and on the east part of Borneo island / pulau Kalimantan (involving 1 watershed and 9 sub-watersheds). The watershed criteria are that every watershed has an area of < 5000 km² and both ARR (Automatic Rainfall Recorder) and AWLR. The calibration model to the observed hydrograph refers to as the amount of the minimum least square. Verification of the result was conducted by filling up to the model the discrepancies of hydrology data. The results of this study are: the peak time of hydrograph = 5.773 hours, the recession time of hydrograph = 9,859 hours and the base time of hydrograph = 15,632 hours; the peak discharge model: $Q_p = 0,042 * A^{0,451} * L^{0,497} * L_c^{0,356} * S^{-0,131} * n^{0,168}$; the rising curve equation: $Q_r = Q_p * [(t/T_p)]^{1,107}$ and the recession equation: $Q_t = Q_p * e^{0,175(T_p - t)}$. Based on these results, it is concluded that: 1) The observed hydrograph really typifies the elongated shaped watershed, which has a faster rising characteristic than that of its recession (hydrograph rising time < hydrograph recession time); 2) There are 5 dominant watershed parameters that influence the peak discharge; they are the length of main river/stream (L), followed by the areal size of watershed (A), the length of the main river to be measured up to a point location nearest to the watershed weight centre (Lc), the roughness coefficient (n) and the river slope (S); 3) the SUH of this research is compared with the observation hydrograph and as a model control. The coefficient of determination (R²) and the level of significance 5% are for the peak discharge (R² = 0,841), the rising curve (R² = 0,980) and the recession curve (R² = 0,990). Besides the SUH Limantara is also compared with the SUH Nakayasu and the deviation obtained is 1,224%.

Keywords : peak discharge model, rising curve, SUH Limantara

PENDAHULUAN

Kurangnya ketersediaan data hidrograf merupakan kendala bagi perencanaan bangunan air. Ketidakterediaan data tersebut dapat disebabkan antara lain karena alat pencatatnya rusak, kelalaian petugas, data rusak sehingga tidak terbaca atau hilang (Sobriyah *et al.*, 2001) atau memang belum terpasang alat pencatatnya. Kendala ini menjadikan model-model HSS akan memberikan manfaat yang cukup besar. HSS dapat memberikan informasi penting untuk keperluan evaluasi keamanan bangunan air (*hydraulic structures*) dan resiko yang didasarkan pada perencanaan (Tung *et al.*, 1995). Di kalangan praktisi, penerapan model tersebut dimaksudkan untuk menganalisa banjir rancangan (*design flood*) dengan masukan data hujan. Namun demikian, sejauh ini para praktisi di Indonesia masih sangat fanatik menggunakan HSS Nakayasu, karena dipandang paling praktis, padahal penerapan model tersebut untuk Pulau Jawa masih memerlukan kalibrasi beberapa parameter (Hoesein dan Montarcih, 1993a). Mereka hampir tidak pernah menggunakan HSS Gama I karena model tersebut memerlukan 10 jenis data fisik DAS dan tidak dapat diterapkan untuk DAS yang hanya mempunyai satu sungai. Mengingat model-model HSS diteliti dan dibentuk di daerah yang karakteristik DAS-nya jauh berbeda dengan DAS terapan, maka seringkali memberikan hasil analisa yang kurang akurat. Akibat lebih lanjut akan menimbulkan dampak ketidakefisienan dalam penentuan dimensi bangunan air. Kondisi hidrologi di setiap daerah adalah khas, sehingga tidak semua cara dan konsep yang ada dapat digunakan untuk memecahkan masalah hidrologi di setiap DAS (Sri Harto, 1993).

Salah satu teknik untuk mengembangkan HSS adalah berdasarkan analisa regresi (Blazkova and Beven, 1995). Statistik regresi merupakan salah

satu cara untuk menganalisa model hidrologi (Sri Harto, 1993). Cara ini dipakai mengingat DAS memiliki kompleksitas dan heterogenitas yang sedemikian rupa sehingga sangat sulit (bahkan hampir tidak mungkin) untuk mengenali parameternya secara rinci (dalam arti pengaruh suatu parameter terhadap salah satu komponen prosesnya). Akibat lebih lanjut, hasil perkiraan debit yang tepat mungkin sulit diharapkan karena alihragam hujan menjadi aliran di DAS merupakan proses alami yang terkait. Idealnya setiap DAS memiliki hidrograf satuan tertentu. Jika kondisi fisik dan hidrologi secara umum dapat dikatakan homogen, maka sangat dimungkinkan untuk membuat suatu Model HSS baru yang serupa dengan model-model HSS yang sudah dihasilkan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Model HSS tersebut dimaksudkan antara lain: (1) untuk mengetahui sifat tanggapan DAS terhadap masukan data hujan sehingga dapat dipakai sebagai pendukung *warning system* di lokasi-lokasi rawan banjir; (2) untuk mengisi kekosongan data hidrograf akibat kerusakan pada alat AWLR sehingga dapat digunakan sebagai sarana untuk menghitung banjir rancangan.

HSS yang akan dibuat, berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan menggunakan 5 data penunjang, DAS yang diteliti mempunyai luas < 5000 km² dan diharapkan menghasilkan persamaan model matematika yang relatif sederhana, tidak perlu kalibrasi parameter untuk diterapkan di Indonesia serta merupakan HSS khas Indonesia. Disebut sebagai HSS khas Indonesia mengingat lokasi penelitian dilakukan pada DAS-DAS di Indonesia sehingga mempunyai karakteristik DAS Indonesia. HSS ini akan diberi nama sebagai HSS Limantara.

Pembuatan model dalam kajian ini dilakukan dengan mengambil batasan-batasan sebagai berikut: (1). Daerah studi dilakukan pada DAS di Indonesia (DAS yang dimaksud harus lengkap datanya, dalam arti mempunyai *Automatic Rainfall*

Recorder-ARR dan Automatic Water Level Recorder-AWLR); (2) Kriteria DAS yang dipakai: DAS dengan luas < 5000 km² (DAS 'kecil'). Ditetapkannya 'DAS kecil' (artinya DAS dengan luasan < 5000 km²) mengingat DAS dengan luasan > 5000 km² tidak akan pernah ditutup oleh suatu hujan besar berintensitas seragam karena hujan besar berintensitas seragam memiliki daerah cakupan yang terbatas (Sosrodarsono, 1977 dan Wilson, 1993); (3) Lokasi penelitian di sebagian Indonesia dianggap mewakili: Jawa (6 DAS, 67 Sub DAS), Bali (2 DAS, 13 Sub DAS), Lombok (1 DAS, 5 Sub DAS) dan Kalimantan Timur (1 DAS, 9 Sub DAS); (4) Pembuatan model dilakukan berdasarkan data fisik DAS dengan mengambil data hujan dari ARR terdekat dan data hidrograf banjir pengamatan dari AWLR di DAS kajian. Dalam hal ini dipilih hidrograf yang terpisah (*isolated*) dan mempunyai satu puncak (*single peak*) serta mempunyai hujan yang cukup dan pencatatan distribusi hujan jam-jaman; (5) Di DAS yang tidak mempunyai stasiun hujan otomatis, menurut Sri Harto (1993), pola distribusi hujan dapat diperkirakan berdasarkan data dari stasiun terdekat; (6) Besaran fisik DAS diambil dari sumber data, yaitu dari instansi terkait. Peta yang dilampirkan adalah peta DAS dengan skala minimum 1 : 500.000. Dalam studi ini tidak dilampirkan peta topografi terbaru karena data penunjang yang dipakai berkisar antara 1984 s/d 1998, sehingga data pengukuran seperti kemiringan sungai dan luas hutan akan berubah. Kedua data tersebut disesuaikan dengan pengambilan data waktu pengamatan hidrograf dan data hujan; (7) Kondisi aliran sungai (yang berhubungan dengan hidrograf banjir pengamatan) ditentukan pada saat pertengahan musim hujan, yaitu diperkirakan antara Bulan Desember s/d Bulan April tahun berikutnya; (8) Asumsi-asumsi yang dipakai dalam pembuatan model antara lain: a) Pemisahan hidrograf aliran langsung dari aliran dasar menggunakan *straight line method* (Sri

Harto, 1993); b) Hujan efektif dihitung dengan metode phi (ϕ) indeks; c) Hidrograf satuan pengamatan diturunkan dari hidrograf banjir pengamatan dengan memakai metode *Collins.*; d) Dalam perhitungan faktor fisik DAS, debit puncak yang digunakan adalah debit puncak pada hidrograf satuan pengamatan; e) Dalam pembuatan kurva hidrograf naik dan kurva hidrograf turun, waktu puncak yang digunakan adalah waktu puncak pada hidrograf satuan pengamatan; f) Pembuatan model dilakukan berdasarkan pada hidrograf satuan yang diteliti; g) DAS dianggap sebagai sistem linier yang tidak berubah menurut waktu, sehingga masukan yang terjadi setiap saat akan mengakibatkan aliran yang sama (Sri Harto, 1993); (9) Model yang dibuat hanya diverifikasikan untuk DAS-DAS terukur yang lengkap datanya, dalam arti DAS yang mempunyai data hidrograf pengamatan.

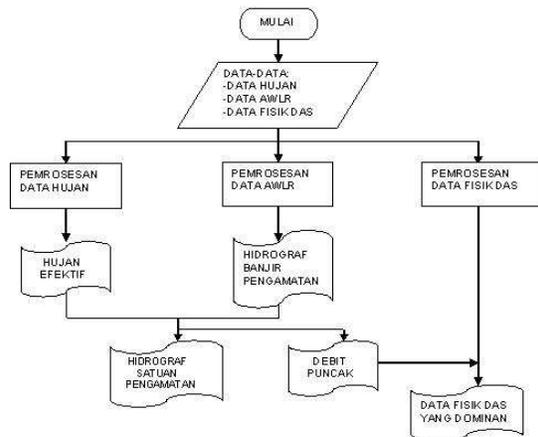
Berdasarkan latar belakang masalah dan batasan masalah di atas, penelitian ini dirumuskan sebagai berikut: (1) Bagaimana bentuk model: a) debit puncak banjir; b) kurva naik hidrograf; c) kurva turun hidrograf di semua DAS yang mewakili?; (2) Berapakah perbandingan keakuratan model yang dibuat dan HSS Nakayasu dibandingkan dengan data historik?

TUJUAN

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan rumusan perkiraan debit puncak banjir sungai melalui model hidrograf satuan sintesis yang diharapkan dapat berlaku secara regional di masing-masing wilayah sungai. Selain itu kajian ini bertujuan juga untuk menghasilkan HSS yang khas untuk Indonesia, antara lain persamaan model matematikanya sederhana dan tanpa kalibrasi parameter dalam penerapannya. Sedangkan manfaat dari model yang dibuat antara lain untuk: (1) Mengetahui sifat tanggapan khas DAS terhadap masukan data hujan, sehingga dapat memberikan informasi *warning system* di

daerah rawan banjir; (2) Mengisi kekosongan data hidrograf akibat kerusakan AWLR., sehingga dapat memberikan masukan bagi instansi terkait untuk memprediksi debit banjir rancangan di DAS yang bersangkutan jika tidak tersedia stasiun hidrometri dan stasiun hujan otomatis (dalam arti DAS tidak terukur atau *ungauge-catchment*).

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data hujan, data AWLR dan data fisik DAS di sejumlah lokasi penelitian. Data hujan dan data AWLR dianalisa untuk menghasilkan hidrograf satuan pengamatan dan debit puncak. Sedangkan data fisik DAS diproses untuk menghasilkan data fisik DAS yang dominan. Berdasarkan data hidrograf satuan pengamatan, debit puncak dan data fisik DAS yang dominan akan dilakukan pembuatan model hidrograf satuan sintesis. Kemudian verifikasi model akan dilakukan dengan menggunakan data AWLR yang belum terpakai. Secara umum kerangka konsep penelitian disajikan seperti pada *flow chart* berikut ini.



Gambar 1.
Bagan alir pembuatan model hidrograf satuan sintesis secara umum

METODE PENELITIAN

Metode yang diuraikan di bawah ini berlaku untuk masing-masing DAS dan berlaku umum untuk semua DAS

Analisis hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi)

Hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi) pada masing-masing DAS dihitung dengan cara Collins (Sub Bab 2.4.), dengan tahapan perhitungan sebagai berikut: (1) Hidrograf Muka Air (*Stage Hydrograph*) dialihragamkan menjadi hidrograf debit (*Discharge Hydrograph*) dengan liku kalibrasi; (2) Aliran dasar dipisahkan dari hidrografnya dengan salah satu cara empiris: *Straight Line Method* (Sri Harto, 1993); (3) Hujan efektif yang menyebabkan banjir dianalisa menggunakan Indeks Infiltrasi ϕ (*Phi Index*); (4) Hidrograf satuan sembarang ditetapkan, dengan menetapkan ordinat-ordinatnya dengan besaran tertentu; (5) Hidrograf satuan awal (coba-coba) tersebut dikalikan dengan semua hujan efektif kecuali hujan efektif terbesar; (6) Hidrograf limpasan langsung yang didapat di atas dikurangkan dengan hidrograf limpasan langsung terukur, dari sini didapatkan hidrograf limpasan langsung yang ditimbulkan oleh hujan maksimum tersebut, diperoleh hidrograf satuan kedua (coba-coba); (7) Hidrograf satuan kedua dibandingkan dengan hidrograf satuan awal. Apabila masih terdapat perbedaan yang besar (sesuai dengan patokan kesalahan yang ditentukan), maka tahapan kelima dan keenam diulangi lagi berdasarkan hidrograf satuan akhir; (8) Demikian seterusnya hingga diperoleh perbedaan yang sekecil mungkin antara hidrograf satuan akhir dengan hidrograf satuan sebelumnya.

Masing-masing DAS dicari hidrograf satuan pengamatannya. Untuk menghasilkan hidrograf satuan pengamatan untuk semua DAS, dilakukan dengan merata-rata ordinat hidrograf

satuan pengamatan pada jam yang sama, debit puncak dan waktu untuk mencapai debit puncak, dengan tahapan sebagai berikut: (1) Menghitung waktu puncak rata-rata dan debit puncak rata-rata; (2) Menghitung hidrograf satuan pengamatan tak berdimensi (t/TP dan Q/Qp) untuk masing-masing DAS; (3) Menghitung hidrograf satuan pengamatan rata-rata tak berdimensi; (4) Menghitung hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi) rata-rata.

Parameter-parameter fisik DAS yang berpengaruh terhadap model

Parameter DAS yang paling mudah diperoleh dan relatif tidak mengalami perubahan adalah sifat geografik dan morfologi DAS (Sri Harto, 1993). Menurut konsep tampungan, jika seluruh DAS telah berkontribusi dalam bentuk limpasan, maka akan tercapai aliran maksimum di mana tidak terjadi perubahan tampungan (Chow, 1988). Untuk kasus DAS, rumus fungsional waktu puncak mengandung faktor-faktor fisik berupa n (koefisien kekasaran DAS), L (panjang sungai utama), A (luas DAS), S (kemiringan sungai utama) atau $T_p = f(n, L, A, S)$. Karena faktor fisik DAS ada sebanyak 4 buah (n , L , A dan S), maka secara korelasi dipastikan ada hubungan kuat antara n , L , A dan S . Dengan demikian diupayakan strategi penggabungan beberapa faktor fisik DAS menjadi sebuah parameter, seperti yang dilakukan oleh Mulyantari (1993). Gupta (1967) dalam Sri Harto (1993) mengadakan penelitian untuk mengaitkan debit puncak dengan faktor fisik DAS yang lain, yaitu L_c (panjang sungai sampai titik terdekat dengan titik berat DAS). Berdasarkan alasan di atas, parameter DAS yang digunakan dalam studi ini adalah luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (L_c), kemiringan sungai (S) dan koefisien kekasaran (n).

Seperti telah diuraikan pada di atas., luas DAS (A), panjang sungai utama (L) dan panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (L_c) diperkirakan dengan mengukur parameter-parameter tersebut pada peta DAS. Panjang sungai (L) merupakan jarak dari outlet ke batas daerah aliran, diukur sepanjang saluran utama pada peta DAS. Sedangkan L_c , yang merupakan panjang sungai dari outlet sampai titik berat DAS, juga diukur sepanjang sungai utama. Kemiringan sungai (S) merupakan kemiringan sungai utama dan bisa diperkirakan berdasarkan rumus. Sedangkan koefisien kekasaran (n) diperkirakan juga berdasarkan rumus.

Kelima parameter yang diperlukan pada penelitian ini seperti tersebut di atas, bisa diperoleh dari instansi terkait. Pengambilan data masing-masing parameter tersebut disesuaikan dengan waktu pengambilan data hidrograf pengamatan dan data hujan. Luas DAS (A), panjang sungai utama (L) dan panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (L_c) relatif tidak mengalami perubahan hingga saat ini. Namun untuk kemiringan sungai (S), jika dipakai data 10 atau 20 tahun yang lalu, jelas tidak sama dengan kondisi saat ini, mengingat adanya proses sedimentasi atau erosi di sungai. Demikian juga untuk data koefisien kekasaran DAS (n), yang mana diperlukan data luas hutan, pasti tidak sama dengan kondisi sekarang. Untuk itu, pada penelitian ini, hanya dilampirkan peta DAS dari masing-masing lokasi penelitian dan bukan peta sub-DAS. Hal ini disebabkan karena hidrograf pengamatan rata-rata yang akan dipakai sebagai kalibrasi model merupakan hasil rata-rata dari hidrograf pengamatan pada DAS yang mewakili lokasi penelitian seperti Lombok, Brantas Hulu, Brantas Tengah, Brantas Hilir, Bengawan Solo Hulu, Bengawan Solo Hilir, Citarum Hulu, Tukad Badung, Tukad Nyuling dan Kandilo. Sedangkan peta topografi terbaru tidak dilampirkan, sehubungan dengan

adanya perubahan morfologi sungai dan tata guna lahan.

Faktor yang berpengaruh terhadap model akan ditetapkan berdasarkan besarnya koefisien determinasi. Analisa pembuatan model dilakukan dengan menggunakan cara regresi dengan beberapa alternatif berdasarkan variabel bebas yang digunakan (lima, empat, tiga, dua dan satu variabel bebas).

Pembuatan model debit puncak

Pembuatan model debit puncak pada studi ini didasarkan pada pemakaian 5 (lima) karakteristik fisik DAS, yaitu luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai diukur sampai titik terdekat titik berat DAS (L_c), kemiringan dasar sungai (S) dan koefisien kekasaran (n). Analisa pembuatan model menggunakan cara regresi dengan beberapa alternatif berdasarkan variabel bebas yang digunakan (lima, empat, tiga, dua dan satu variabel bebas). Dalam analisa ini, debit puncak (Q_p) merupakan variabel tetap, sedangkan karakteristik fisik DAS (A, L, L_c , S dan n) merupakan variabel bebas. Dengan demikian akan dihasilkan banyak alternatif. Pemilihan model didasarkan pada model yang rasional dengan kriteria sebagai berikut (Soewarno, 1995): (1) Variabel bebas dan variabel tidak bebas mempunyai hubungan korelasi yang cukup kuat, dengan koefisien korelasi r antara 0,60 – 1,00 dan koefisien determinasi (R^2) terbesar; (2) Nilai perkiraan kesalahan standar (SEY) terkecil; (3) Terdapat pengaruh nyata antara variabel bebas dengan variabel tidak bebas, dalam model regresi digunakan Uji-F; (4) Tes penyimpangan pada model hidrograf terpilih berdasarkan hidrograf satuan pengamatan dengan tingkat penyimpangan cukup rendah.

Pembuatan model kurva naik dan kurva turun

Pembuatan model kurva naik dan kurva turun dilakukan berdasarkan analisa gradien kurva naik dan kurva turun.

Analisa gradien kurva naik (m_1) dan kurva turun (m_2) dilakukan dengan cara coba-coba, yang didekati dengan 3 (tiga) persamaan regresi, yaitu linier, berpangkat dan eksponensial. Pemilihan model didasarkan pada kriteria yang telah disebutkan di atas.

Perbandingan model HSS Limantara dengan HSS Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu merupakan hidrograf yang sampai saat ini masih umum digunakan baik oleh para ahli maupun para praktisi di Indonesia. Pada studi ini, akan dipaparkan perbandingan penyimpangan antara model HSS Limantara dan HSS Nakayasu terhadap hidrograf satuan pengamatan.

Pengumpulan data

Kriteria pemilihan sampel atau data untuk masing-masing DAS atau Sub DAS adalah sebagai berikut: (1) Tersedia stasiun hidrometri (AWLR) dan di dalam atau sekitar DAS terdapat stasiun hujan otomatis, luas DAS < 5000 km²; (2) Faktor fisik DAS memiliki jenis tanah relatif homogen, demikian pula dengan karakteristik hidrologi bahwa hujan tahunan juga homogen. Dengan demikian bentuk hidrograf relatif serupa.; (3) Hidrograf harus dipilih yang berpuncak tunggal, yang disebabkan oleh hujan jam-jaman. Waktu hujan dan hidrograf harus bersesuaian. Jika terdapat beberapa hidrograf yang memenuhi persyaratan tersebut, maka akan dilakukan perataan hidrograf dengan catatan hidrograf tersebut tetap mewakili puncak tertinggi untuk DAS yang bersangkutan.

Sedangkan data sekunder yang diperlukan adalah sebagai berikut: (1) Peta DAS dengan skala minimum 1 : 500.000; (2) *State Hydrograph* dari stasiun AWLR termasuk lengkung debit yang bersangkutan; (3) Hujan jam-jaman dari stasiun ARR dan hujan harian dari stasiun manual untuk DAS yang tidak tersedia stasiun ARR; (4) Data kemiringan sungai dan luas hutan yang disesuaikan dengan

waktu pengambilan data hidrograf pengamatan dan data hujan.

Di samping data di atas, juga dilakukan pengumpulan data yang dapat menggambarkan deskripsi wilayah secara umum. Selanjutnya, sebagai bahan untuk pembuatan model HSS baru dibutuhkan hidrograf satuan yang diturunkan dari hidrograf aliran langsung. Dari hidrograf satuan pengamatan tersebut diperoleh bentuk kurva, kemudian diukur besaran-besaran: waktu puncak (T_p), waktu turun (T_r), waktu dasar (T_b), dan debit puncak (Q_p).

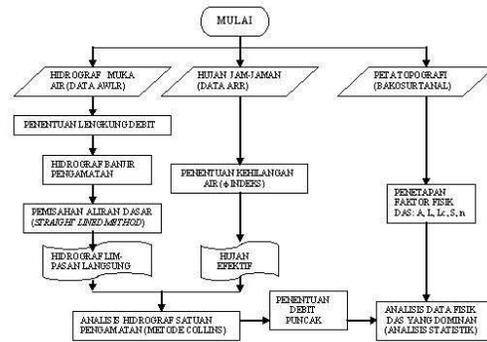
Analisis data

Analisis data ini berlaku untuk masing-masing DAS. Seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, untuk mendapatkan hidrograf pengamatan yang berlaku umum untuk semua DAS dilakukan dengan merata-ratakan ordinat hidrograf pada jam yang sama, debit puncak dan waktu untuk mencapai puncak. Tahapan analisis data tersebut adalah sebagai berikut: (1) Alihragam *stage hydrograph* menjadi *discharge hydrograph*. Data hidrograf yang tercatat di stasiun AWLR berupa hidrograf muka air. Untuk mengubah data tersebut menjadi hidrograf debit diperlukan lengkung debit atau tabel hubungan antara kedalaman air dan debit yang tersedia di setiap stasiun hidrometri (Sri Harto, 1993); (2) Dalam hal ini, dianggap penampang sungai tidak berubah. Kemiringan sungai merata. Kemiringan sungai berpengaruh terhadap kecepatan aliran dan memainkan peran dalam membentuk hidrograf. Pada umumnya hanya sungai utama yang diperhatikan dalam menggambarkan kemiringan DAS secara umum (Linsley *et al.*, 1989). Secara detil cara penentuan kemiringan sungai menggunakan rumus.; (3) Koefisien kekasaran DAS. Di dalam DAS terdapat hutan dan beberapa bagian tegalan, sawah, dan pemukiman, yang membutuhkan perkiraan koefisien kekasaran (n). Koefisien kekasaran erat kaitannya dengan kecepatan limpasan. Untuk memperoleh koefisien kekasaran

dilakukan pendekatan melalui rasio proporsional antara luas hutan (A_f) terhadap luas DAS (A). Chow (1989) menyatakan bahwa koefisien kekasaran (n) lahan pertanian dengan tanaman digariskan 0,035 sedangkan untuk hutan atau semak belukar 0,07. Berdasarkan batasan yang diberikan, hidrograf satuan hanya bisa diterapkan untuk DAS yang relatif kecil dengan tata guna lahan yang relatif sama (Soemarto, 1995). Dengan demikian pemasukan faktor koefisien kekasaran dalam model HSS sebenarnya merupakan langkah awal untuk memanipulasi tata guna lahan yang relatif bervariasi dan berubah dari waktu ke waktu. Untuk keakuratan model HSS yang dibuat, faktor tata guna lahan harus dimasukkan dalam perhitungan banjir rancangan, yang merupakan fungsi dari HSS, koefisien pengaliran (faktor tata guna lahan) dan distribusi hujan jam-jaman.; (4) Aliran dasar. Pemisahan aliran dasar dari hidrograf diperlukan untuk memperoleh hidrograf aliran langsung. Hidrograf aliran langsung sangat berhubungan dengan perhitungan hujan efektif atau kehilangan air dan penurunan hidrograf menjadi hidrograf satuan hasil analisis dari hidrograf banjir pengamatan. Untuk memisahkan aliran dasar dapat digunakan berbagai cara, tetapi tidak satupun cara yang dapat memberikan kebenaran nyata (Sri Harto, 1993). Hal ini disebabkan karena rasio antara aliran dasar dengan debit puncak pada kasus banjir sangat kecil. Berdasarkan kriteria ini, dipilih cara pemisahan aliran dasar menggunakan *straight line method*.; (5) Kehilangan air. Di antara jenis kehilangan (intersepsi, penguapan, infiltrasi, dan tampungan di cekungan), yang terbesar adalah infiltrasi. Infiltrasi adalah masuknya air ke dalam tanah (Sri Harto, 1993). Laju infiltrasi adalah laju infiltrasi nyata suatu jenis tanah, sedangkan kapasitas infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum untuk suatu jenis tanah. Secara fisik terdapat beberapa faktor yang berpengaruh, yaitu jenis tanah, kepadatan tanah, kelembaban tanah, dan tanaman penutup lahan (vegetasi). Kesulitan-kesulitan yang ada pada pendekatan teoritis

untuk infiltrasi mengakibatkan dipakainya indeks infiltrasi dan yang paling sederhana dengan metode *phi index*, yang bernilai rerata (konstan) selama terjadi hujan; (6) Penurunan hidrograf satuan. Hidrograf satuan suatu DAS dapat diturunkan dari hidrograf banjir pengamatan, yang dihasilkan oleh hujan efektif dengan distribusi merata, hujan seragam ini tidak akan pernah terjadi pada daerah seluas > 5000 km². Hidrograf satuan dapat diperoleh dengan membagi ordinat hidrograf limpasan langsung dengan hujan efektif dengan durasi tertentu (Wilson, 1993). Penurunan hidrograf satuan pada hujan kompleks memerlukan teknik penurunan tersendiri. Dibandingkan dengan metode matrik sederhana di mana dapat terjadi kesalahan beruntun dan bilangan negatif, maka metode yang dapat memberikan hasil terbaik dan wajar adalah metode Collins (Wilson, 1993 dan Sri Harto, 1993); (7) Kriteria akurasi model. Hendaknya dimaklumi bahwa hampir tidak mungkin proses alami yang terjadi dapat disamai dengan tepat. Oleh sebab itu akan selalu terjadi penyimpangan antara keluaran terukur dengan terhitung. Dalam hal ini perlu ditetapkan patokan kesalahan atau simpangan (Sri Harto, 1993). Sebagai patokan akurasi adalah kemiripan bentuk hidrograf terukur dan terhitung. Kemiripan bentuk ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi yang diperoleh dari setiap ordinat pada absis yang sama. Di samping itu, akan dihitung besarnya simpangan debit puncak, waktu puncak, dan volume. Berdasarkan patokan tersebut, kriteria batasan ketelitian dengan toleransi yang umum dalam analisis hidrologi adalah koefisien korelasi > 0,70 (koefisien determinasi > 0,50) dan simpangan relatif volume < 10 %. Pemilihan model terbaik ditetapkan berdasarkan nilai koefisien korelasi (koefisien determinasi) tertinggi (Jayadi, 1996).

Untuk lebih jelasnya, metode pengerjaan model tersebut disajikan dalam bentuk bagan alir (*flowchart*) sebagai berikut:



Gambar 2.
Bagan alir pembuatan model hidrograf satuan sintesis secara teknis

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi)

Berdasarkan data hidrograf banjir pengamatan, untuk masing-masing Sub DAS dianalisa hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi) setiap DAS, dengan menggunakan cara Collins.

Data hidrograf banjir (dari analisis AWLR) yang dipakai untuk menurunkan hidrograf satuan pengamatan untuk masing-masing DAS dipilih yang tertinggi dan berpuncak tunggal. Waktu untuk pengambilan data AWLR (data hidrograf banjir) tersebut harus bersamaan dengan waktu pengambilan data ARR (data hujan jam-jaman) untuk masing-masing DAS. Namun tidak perlu ada keseragaman waktu antar DAS, mengingat tujuan analisis hidrograf satuan adalah untuk aliran tinggi (*high flow*). Dengan demikian pengambilan data untuk analisis harus mempunyai keekstriman yang seoptimal mungkin, yaitu dengan cara mengambil hidrograf banjir yang berpuncak paling tinggi di masing-masing DAS.

Berdasarkan analisis faktor bentuk DAS, hampir semua Sub DAS termasuk jenis yang berbentuk memanjang, kecuali untuk Sub DAS di Citarum Hulu. DAS dengan corak cenderung memanjang,

mempunyai waktu untuk mencapai puncak banjir yang relatif singkat, karena begitu hujan turun air akan dengan cepat menuju titik pertemuan (*outlet*). Sehubungan dengan cepatnya air menuju *outlet*, maka diperlukan waktu yang cukup panjang untuk menurunkan debit puncak tersebut atau dapat dikatakan waktu turun hidrograf menjadi lama. Hal ini tidak terjadi pada DAS Kandilo, yang mana mempunyai waktu naik lebih besar dari pada waktu turun hidrograf. Namun demikian, untuk masing-masing Sub DAS cenderung berbentuk memanjang. Dengan demikian secara umum dapat disimpulkan bahwa untuk jenis DAS yang cenderung berbentuk memanjang, mempunyai waktu naik hidrograf (*time to peak*) lebih kecil dibandingkan dengan waktu turun hidrograf (*time recession*).

Dari hasil rerata hidrograf satuan pengamatan (HSO) di seluruh DAS, didapatkan waktu naik (*time to peak*) sebesar 5,773 jam dan waktu turun (*time recession*) sebesar 9,859 jam, sehingga waktu dasar (*time base*) adalah 15,632 jam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa hidrograf banjir untuk DAS-DAS yang diteliti mempunyai karakteristik naiknya lebih cepat dari turunnya (waktu naik hidrograf < waktu turun hidrograf). Berdasarkan keterangan di atas, dapat disimpulkan bahwa DAS-DAS yang diteliti umumnya berbentuk memanjang.

Parameter-parameter fisik DAS yang berpengaruh terhadap model

Dengan debit puncak (Q_p) sebagai variabel tetap dan karakteristik fisik DAS (A , L , L_c , S dan n) sebagai variabel bebas, dihasilkan 62 alternatif persamaan regresi. Pemilihan model didasarkan pada model yang rasional dengan kriteria seperti di atas. Dari 62 alternatif persamaan regresi (dengan lima, empat, tiga, dua dan satu variabel) dipilih model debit puncak secara umum (untuk semua DAS): $Q_p = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot L_c^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,841$ (tingkat kepercayaan: 5%) dan nilai perkiraan

kesalahan standar $SEY = 0,809$. Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa kelima parameter DAS yang dipakai pada pembuatan model debit puncak semuanya berpengaruh, yaitu luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (L_c), kemiringan sungai (S) dan koefisien kekasaran (n).

Dari persamaan terpilih, dapat disimpulkan bahwa parameter DAS yang paling dominan adalah panjang sungai (L) dengan eksponen 0,497; kemudian berturut-turut diikuti oleh luas DAS (A) dengan eksponen 0,451; panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (L_c) dengan eksponen 0,356; koefisien kekasaran (n) dengan eksponen 0,168 dan kemiringan sungai (S) dengan eksponen -0,131. Rumus kontinuitas aliran: $Q = V \times A$ ($V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$) menunjukkan bahwa debit merupakan fungsi dari jari-2 (radius) yang analog dengan panjang sungai (L) dan luas (A) yang analog dengan luas DAS (A). Dengan demikian parameter DAS yang paling dominan terhadap model debit analog dengan rumus kontinuitas aliran.

Asdak (1995) mengatakan bahwa semakin panjang sungai, maka jarak antara tempat jatuhnya hujan dengan *outlet* semakin besar, sehingga waktu yang diperlukan air hujan untuk mencapai *outlet* lebih lama dan dengan demikian akan menurunkan debit puncak. Hal ini disebabkan karena makin panjang sungai makin banyak memberikan kesempatan bagi air hujan untuk mengalir sebagai limpasan sehingga jumlah kehilangan air semakin besar. Berdasarkan pernyataan tersebut berarti makin panjang sungai akan menghasilkan debit puncak banjir makin kecil. Pernyataan ini bertolak belakang dengan yang dihasilkan dalam penelitian ini. Dengan panjang sungai (L) sebagai faktor paling dominan terhadap model debit dan dengan eksponen 0,497 berarti semakin panjang sungai justru akan menghasilkan debit puncak banjir makin besar. Memang benar seperti yang

dikatakan Asdak (1995) bahwa semakin panjang sungai akan menyebabkan kehilangan air makin besar, namun prosentase kehilangan air tersebut sangat kecil dibandingkan dengan besarnya debit puncak banjir, mengingat yang dibicarakan dalam kasus ini adalah aliran-aliran tinggi. Di samping itu, semakin panjang sungai akan memberikan kesempatan air hujan tetap berada pada badan sungai, dalam arti kemungkinan untuk meluap sangat kecil. Dengan demikian untuk sungai yang relatif panjang, sangat dimungkinkan hampir semua air hujan yang jatuh ke sungai akan mencapai *outlet*, yang akan menaikkan debit puncak banjir.

Makin besar DAS akan menyebabkan makin lama pula limpasan mencapai *outlet*, sehingga lebar dasar hidrograf (lama limpasan) menjadi lebih panjang dan debit puncaknya akan berkurang (Sri Harto, 1995). Hal ini bertolak belakang dengan yang dihasilkan dalam penelitian ini. Dengan luas DAS (A) merupakan faktor dominan kedua dan dengan eksponen 0,451 berarti makin besar DAS akan menghasilkan debit puncak banjir makin tinggi. Hal ini berkaitan dengan semakin luas suatu DAS akan menyebabkan distribusi hujan semakin tidak merata. Sifat ini bertentangan dengan konsep yang dikemukakan Sherman (1932) dalam Sri Harto (1993) bahwa hidrograf satuan merupakan hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif merata di DAS. Ukuran DAS menentukan patokan maksimum penggunaan hidrograf satuan. Sebenarnya ukuran yang pasti belum ada, namun menurut Soemarto (1995) diambil maksimum 5000 km², seperti yang sementara telah dilakukan pada penelitian ini. Dengan demikian jika terjadi hujan merata dalam suatu DAS, maka makin besar DAS, limpasan akan cepat mencapai *outlet* dan akan menaikkan debit puncak banjir.

Jarak *outlet* ke titik berat DAS (L_c) merupakan faktor dominan ketiga dalam penelitian ini. Dengan eksponen 0,356

berarti makin panjang L_c akan menghasilkan debit puncak banjir makin besar. Namun dengan eksponen yang relatif kecil maka L_c tidak terlalu berpengaruh terhadap besarnya debit puncak banjir. Memang terdapat perbedaan untuk L_c yang cenderung ke arah hulu dengan L_c yang berada di tengah-tengah DAS, tetapi perbedaan tersebut relatif kecil.

Koefisien kekasaran DAS (n) dalam hal ini diperkirakan berkisar antara 0,035 dan 0,070. Jika DAS secara keseluruhan berupa hutan, maka koefisien kekasaran DAS: $n = 0,070$. Sebaliknya jika tidak ada hutan sama sekali, maka koefisien kekasaran DAS: $n = 0,035$. Seperti diketahui, hutan umumnya ditumbuhi pohon-pohon besar sehingga dianggap sebagai permukaan cukup kasar, yang dapat menghambat jalannya air hujan. Sedangkan tegalan, sawah, pemukiman dan lain-lain dianggap sebagai permukaan yang tidak cukup kasar, sehingga tidak dimasukkan dalam perhitungan koefisien kekasaran DAS. Permukaan yang kasar akan menghambat jalannya air hujan menuju sungai. Dengan demikian secara rasional koefisien kekasaran DAS tersebut relatif tidak memberikan sumbangan terhadap besarnya debit puncak banjir dalam arti berbanding terbalik dengan besarnya debit puncak banjir (Q_p). Karena debit yang dibahas dalam konteks ini merupakan debit banjir (aliran tinggi), maka dalam kondisi tertentu tanah akan jenuh. Dengan demikian, saat kondisi tanah jenuh, air hujan akan melimpas walaupun tidak sebesar jika tidak ada hutan, sehingga koefisien kekasaran DAS relatif tidak menghambat debit banjir. Pada penelitian ini, koefisien kekasaran DAS tetap berpengaruh terhadap model debit puncak dengan eksponen 0,168 dan merupakan faktor dominan keempat dari 5 parameter DAS yang dipakai dalam penelitian ini. Karena mempunyai eksponen yang berharga positif berarti koefisien kekasaran dalam hal ini berbanding lurus dengan besarnya debit

puncak banjir. Sesuai dengan keterangan di atas, koefisien kekasaran DAS diprediksi tetap memberikan sumbangan terhadap besarnya debit banjir walaupun dalam jumlah yang relatif kecil.

Parameter kemiringan sungai (S) yang dihasilkan penelitian ini dengan eksponen -0,131 sangat sesuai dengan yang dikatakan Subramanya (1989) bahwa dalam banyak kasus, kemiringan DAS yang landai justru menghasilkan debit puncak yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena jika kemiringan landai berarti waktu dasar hidrograf menjadi panjang dan akan menghasilkan liku resesi hidrograf yang tidak curam sehingga akan menaikkan debit puncak.

Pembuatan model debit puncak

Pembuatan model debit puncak didasarkan pada pemakaian 5 (lima) karakteristik fisik DAS, yaitu luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai diukur sampai titik terdekat titik berat DAS (Lc), kemiringan dasar sungai (S) dan koefisien kekasaran (n). Analisis pembuatan model menggunakan cara regresi dengan beberapa alternatif berdasarkan variabel bebas yang digunakan (lima, empat, tiga, dua dan satu variabel bebas). Dalam analisis ini, debit puncak (Qp) merupakan variabel tetap, sedangkan karakteristik fisik DAS (A, L, Lc, S dan n) merupakan variabel bebas.. Pemilihan model debit dilakukan berdasarkan 1) kriteria statistika: koefisien determinasi tertinggi dan kesalahan standar terkecil; 2) rasionalisasi model: untuk berapapun harga variabel bebas (A, L, Lc, S dan n) tidak menghasilkan nilai negatif untuk debit dan 3) filosofis hidrologi: model debit yang didapat analog dengan persamaan kontinuitas aliran yaitu $Q = V \times A$ (menurut rumus Manning, $V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$), jadi merupakan fungsi perkalian. Berdasarkan kriteria tersebut, dihasilkan model debit puncak secara umum (untuk semua DAS):

$$Q_p = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot L_c^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168} \dots\dots\dots \text{(pers. 4.1.)}$$

dengan Qp= debit puncak banjir hidrograf satuan (m³/dt/mm); A= luas DAS (km²); L= panjang sungai utama (km); Lc= panjang sungai dari outlet sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (km); S= kemiringan sungai utama; n= koefisien kekasaran DAS; 0,042= koefisien untuk konversi satuan (m^{0,25}/dt)

Persamaan debit di atas (persamaan 4.1.) didapat dengan koefisien determinasi R² = 0,841 (tingkat kepercayaan: 5%) dan nilai perkiraan kesalahan standar SEY = 0,809. Besar koefisien determinasi 0,841 = 84,1% mempunyai arti bahwa sebesar 84,1% data A, L, Lc, S dan n bisa diwakili oleh persamaan 4.1., dengan kata lain sebesar 100% - 84,1% = 15,9% parameter bebas (A, L, Lc, n dan S) tidak dapat menjelaskan keterkaitannya dengan debit puncak banjir (Qp).

Pembuatan model kurva naik dan kurva turun

Analisis gradien kurva naik (m₁) dilakukan dengan mengambil waktu puncak (Tp) = 5,773 jam (waktu naik untuk hidrograf pengamatan rerata). Pemilihan model didasarkan pada kriteria yang telah disebutkan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Persamaan kurva naik:

$$Q_n = Q_p \cdot [(t/T_p)]^{1,107} \dots\dots\dots \text{(pers. 4.2.)}$$

dengan Qn = debit pada persamaan kurva naik (m³/dt/mm); Qp = debit puncak hidrograf satuan (m³/dt/mm); t = waktu hidrograf (jam); Tp = waktu naik hidrograf atau waktu mencapai puncak hidrograf (jam)

Persamaan kurva naik di atas didapat dengan koefisien determinasi (R²) = 0,980 (tingkat kepercayaan: 5%) dan SEY = 0,286. Besar koefisien determinasi 0,980 = 98,0% mempunyai arti bahwa sebesar 98,0% data t, Tp dan Qp bisa diwakili oleh persamaan 4.2., dengan kata lain sebesar

100% - 98,0% = 2,0% parameter bebas (t, Tp dan Qp) tidak dapat menjelaskan keterkaitannya dengan debit pada persamaan kurva naik (Qn). Besarnya nilai koefisien determinasi dalam hal ini (mendekati angka 1) disebabkan karena ada data yang saling tergantung yang dipakai dalam analisis pembuatan kurva naik (debit puncak banjir/Qp dan waktu naik hidrograf/Tp pada persamaan 4.2. adalah sama dengan pada hidrograf satuan pengamatan).

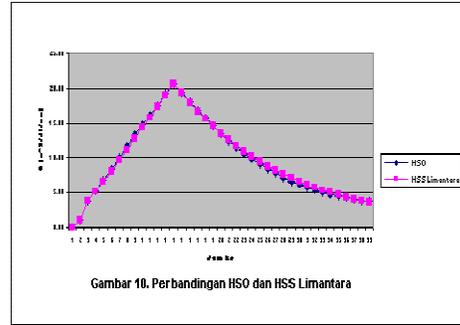
2. Persamaan kurva turun:

$$Q_t = Q_p \cdot e^{0,175(T_p - t)} \dots\dots\dots \text{(pers 4.3.)}$$

dengan Qt= debit pada persamaan kurva turun (m³/dt/mm); Qp= debit puncak hidrograf satuan (m³/dt/mm); Tp= waktu naik hidrograf atau waktu mencapai puncak hidrograf (jam); t = waktu hidrograf (jam); 0,175= koefisien untuk konversi satuan (dt⁻¹)

Persamaan kurva turun di atas didapat dengan koefisien determinasi 0,990 (tingkat kepercayaan: 5%) dan SEY = 0,354. Besar koefisien determinasi 0,990 = 99,0% mempunyai arti bahwa sebesar 99,0% data t, Tp dan Qp bisa diwakili oleh persamaan 4.3., dengan kata lain sebesar 100% - 99,0% = 1,0% parameter bebas (t, Tp dan Qp) tidak dapat menjelaskan keterkaitannya dengan debit pada persamaan kurva turun (Qt). Besarnya nilai koefisien determinasi dalam hal ini (mendekati angka 1) disebabkan karena ada data yang saling tergantung yang dipakai dalam analisis pembuatan kurva turun (debit puncak banjir/Qp dan waktu naik hidrograf/Tp pada persamaan 4.3. adalah sama dengan pada hidrograf satuan pengamatan).

Dari hasil yang diperoleh di atas, persamaan kurva naik dan kurva turun mengikuti persamaan eksponensial., berarti tidak memungkinkan debit bernilai nol. Perbandingan HSS Limantara dan HSO dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.

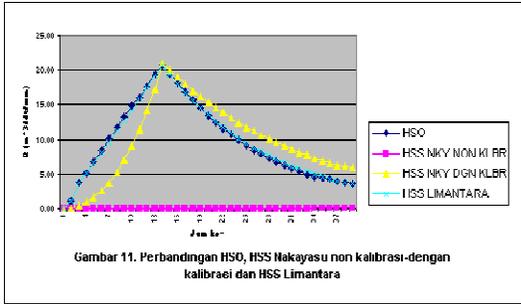


Gambar 10. Perbandingan HSO dan HSS Limantara

Perbandingan model HSS Limantara dan HSS Nakayasu

Kalibrasi dilakukan pada HSS Nakayasu., hasil yang didapat sebagai berikut: parameter $\alpha = 2$ (sama dengan yang disarankan), $t_g = 0,11 + 0,003 L$ (yang disarankan: $t_g = 0,4 + 0,058 L$), $T_p = t_g + 0,47 t_r$ (yang disarankan: $T_p = 0,8 t_r$) dan $Q_p = [C.A.R_o / \{55,264 (0,3 T_p + T_{0,3})\}]$ (yang disarankan: $Q_p = [C.A.R_o / \{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})\}]$). Perbandingan gambar hidrograf dapat dilihat pada Gambar 14. Sedangkan hasil perbandingan yang dilakukan terhadap debit puncak (Qp) dapat dilihat pada Tabel 1.

Dari analisis yang dilakukan, koordinat HSS Limantara menunjukkan penyimpangan yang kecil terhadap hidrograf satuan pengamatan (HSO), yaitu sebesar 1,224%. Dari analisis yang dilakukan, koordinat HSS Limantara dan HSS Nakayasu dengan kalibrasi menunjukkan penyimpangan yang kecil terhadap hidrograf satuan pengamatan (HSO), yaitu sebesar 1,224%. (<10%). Sedangkan HSS Nakayasu tanpa kalibrasi mempunyai simpangan sebesar 20,7% (>10%) terhadap hidrograf satuan pengamatan (HSO). (Hasil perbandingan dapat dilihat pada Gambar 11). Berdasarkan hasil di atas, untuk mendapatkan hasil yang mendekati kenyataan, penerapan HSS Nakayasu untuk DAS Indonesia perlu kalibrasi parameter.



Tabel 1. Perbandingan HSS Limantara dan HSS Nakayasu Terhadap HSO

	Waktu Puncak (Tp) (Jam)	Debit Puncak (Qp) (m ³ /dt/mm)
<i>HSO</i>	5,773	20,956
<i>HSS Limantara</i>	5,773	20,956
<i>HSS Nakayasu</i> Tanpa Kalibrasi	124,103	16,617
<i>HSS Nakayasu</i> Dengan Kalibrasi	5,773	20,956

Batasan keberlakuan model HSS Limantara

Model HSS Limantara yang dihasilkan dapat diterapkan pada DAS lain yang memiliki kemiripan karakteristik dengan DAS-DAS di lokasi penelitian. Spesifikasi teknik model HSS Limantara disajikan pada

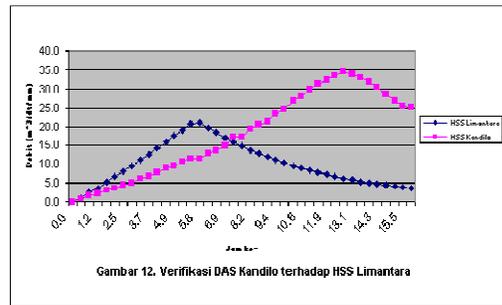
Tabel 2. Spesifikasi Teknik Model HSS Limantara

Uraian	Notasi	Satuan	Kisaran
Luas DAS	A	km ²	0,325 – 1667,50 0
Panjang sungai utama	L	km	1,16 – 62,48
Jarak titik	Lc	km	0,50 –

berat DAS ke outlet			29,386
Kemiringan sungai utama	S	-	0,00040 – 0,14700
Koefisien kekasaran DAS	N	-	0,035 – 0,070
Bobot luas hutan	Af	%	0,00 – 100

Hasil verifikasi

Dengan verifikasi yang dilakukan terhadap data hidrograf yang tidak dipakai untuk menyusun model dan dipilih DAS yang paling besar, yaitu DAS Kandilo di Kalimantan Timur (data parameter DAS: A = 3994 km²; L = 169,74 km; Lc = 120,8 km; S = 0,00128 dan n = 0,064), menunjukkan waktu mencapai puncak banjir (Tp) 12,6 jam dan debit puncak banjir (Qp) 34,751 m³/dt/mm. Sedangkan untuk HSS Limantara: Tp = 5,773 jam dan Qp = 20,956 m³/dt/mm. Berarti terdapat penyimpangan Qp sebesar 39,46%. Jika dicari selisih ordinat (debit) hidrograf pada jam yang sama, didapat jumlah simpangan sebesar 43%, berartkeandalan ordinat (debit) adalah 57%. Hasil perhitungan dan gambar perbandingan hidrograf dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini

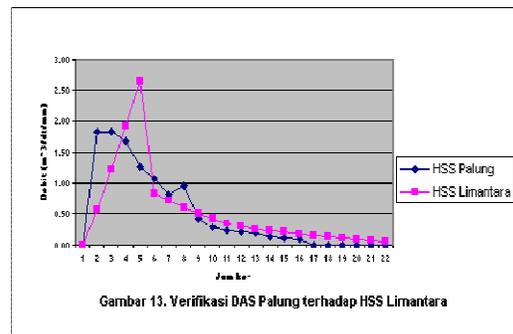


Jika berdasarkan kisaran parameter yang dipakai untuk membuat model HSS Limantara, 3 parameter DAS tersebut yaitu A, L dan Lc berada di luar batas yang dipakai. HSS Limantara dibuat

berdasarkan Sub-DAS dengan kisaran parameter sebagai berikut: A berkisar mulai 0,325 km² sampai dengan 1667,500 km²; L berkisar mulai 1,16 km sampai dengan 62,48 km dan Lc berkisar mulai 0,50 km sampai dengan 29,386 km. Soemarto (1995) mengatakan bahwa ukuran DAS menentukan patokan maksimum penggunaan hidrograf satuan dan diambil maksimum 5000 km². Hal ini berkaitan dengan bahwa DAS dengan luasan > 5000 km² tidak akan pernah ditutup oleh suatu hujan besar berintensitas seragam karena hujan besar berintensitas seragam memiliki daerah cakupan yang terbatas (Sosrodarsono, 1977 dan Wilson, 1993). Pada penelitian ini untuk sementara diambil batasan tersebut karena belum ada hasil penelitian lain yang lebih pasti. Namun kenyataannya, hasil verifikasi untuk DAS dengan luas 3994 km² menunjukkan penyimpangan yang relatif besar. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang batasan luas maksimum penggunaan hidrograf, mengingat luas DAS merupakan faktor dominan kedua pada pembuatan model HSS Limantara. Demikian juga untuk parameter panjang sungai, yang merupakan faktor paling dominan dalam model HSS Limantara. Panjang sungai untuk DAS tersebut berada di luar kisaran yang dipakai untuk membuat model. Kedua faktor dominan tersebut diprediksi sebagai penyebab terjadinya simpangan yang relatif besar pada verifikasi yang dilakukan. Untuk itu perlu dikaji lebih lanjut tentang batasan kisaran yang sesuai untuk penggunaan hidrograf.

Selain itu verifikasi juga dilakukan pada DAS Palung di Pulau Lombok. Walaupun semua parameter DAS Palung (A = 47,80 km²; L = 22,83 km; Lc = 15,125 km; S = 0,08717 dan n = 0,0370) berada di dalam kisaran yang dipakai untuk membuat HSS Limantara, namun hasil verifikasi menunjukkan penyimpangan debit puncak (Qp) yang cukup besar, yaitu sebesar 44%. Debit puncak dari hidrograf satuan pengamatan

sebesar 1,840 m³/dt/mm, sedangkan dari HSS Limantara sebesar 2,648 m³/dt/mm. Selisih ordinat (debit) hidrograf relatif kecil yaitu sebesar 4,17%, yang berarti mempunyai keandalan ordinat (debit) 95,83%. Selisih debit tersebut tidak dihitung dalam bentuk harga mutlak, namun dihitung berdasarkan debit hidrograf satuan verifikasi dikurangi debit hidrograf satuan Limantara. Dengan demikian akan terdapat hasil perbedaan (selisih) yang positif atau negatif. Hal ini mengingat pengontrolan pada hidrograf satuan sintesis didasarkan pada jumlah volume limpasan di bawah hidrograf dan bukan pada perbedaan debit (ΔQ) pada jam yang sama (Wilson, 1990). Oleh sebab itu, pada verifikasi ini walaupun simpangan debit puncak relatif besar namun simpangan ordinat (debit) hidrograf relatif kecil. Hasil perhitungan dan gambar hidrograf dapat dilihat pada Gambar 13 berikut ini.

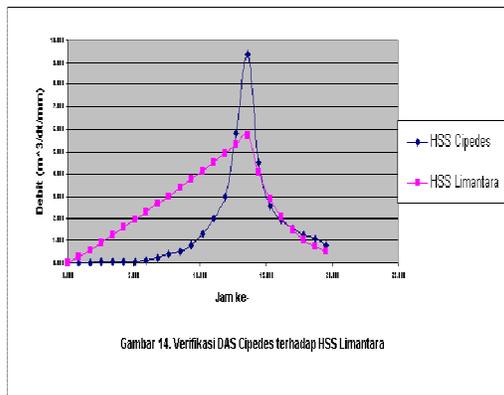


Penyimpangan yang cukup besar pada debit puncak diprediksi karena waktu untuk mencapai puncak banjir pada hidrograf pengamatan terjadi pada jam ke-1, jadi diperkirakan pada saat tersebut terjadi hujan yang cukup ekstrim (seperti banjir bandang), yang begitu hujan langsung sangat deras. Padahal pada hidrograf pengamatan rerata untuk Pulau Lombok, waktu untuk mencapai puncak banjir terjadi pada jam ke-4. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa

penyimpangan yang relatif besar pada debit puncak disebabkan karena hidrograf pengamatan yang dipilih sebagai bahan verifikasi merupakan hidrograf akibat hujan yang sangat ekstrim artinya begitu turun hujan langsung deras sekali sehingga tidak sesuai dengan sifat hidrograf yang umumnya terjadi di Pulau Lombok.

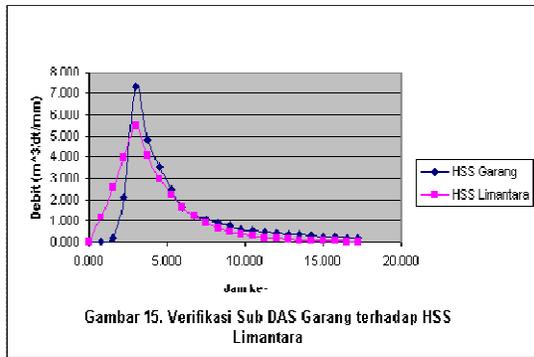
Kedua verifikasi di atas dilakukan pada DAS yang dipakai dalam penelitian namun menggunakan data hidrograf yang tidak dipakai dalam pembuatan model. Verifikasi juga dilakukan pada DAS yang tidak dipakai untuk pembuatan model yaitu pada DAS Cipedes (Jawa Barat) dan Sub DAS Garang (Jawa Tengah).

DAS Cipedes (di Jawa Barat) mempunyai parameter sebagai berikut: $A = 116,716 \text{ km}^2$; $L = 44,65 \text{ km}$; $L_c = 22,29 \text{ km}$; $S = 0,0914$ dan $n = 0,0394$. Sebenarnya semua parameter DAS Cipedes berada di dalam kisaran yang dipakai untuk membuat HSS Limantara. Namun demikian, verifikasi menunjukkan penyimpangan debit puncak yang relatif besar, yaitu sebesar 39,33%, dengan debit puncak pada hidrograf pengamatan sebesar $9,389 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$, sedangkan debit puncak pada HSS Limantara sebesar $5,696 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$. Selisih ordinat (debit) hidrograf sebesar 36,15%, yang berarti mempunyai keandalan ordinat (debit) 63,85%. Hasil perhitungan dan perbandingan gambar hidrograf bisa dilihat pada Gambar 14 berikut ini.



Penyimpangan yang relatif besar disebabkan karena DAS Cipedes mempunyai waktu naik hidrograf ($T_p = 13,6 \text{ jam}$) yang jauh lebih besar dibandingkan dengan waktu turun hidrograf ($T_r = 5,95 \text{ jam}$). Hidrograf-hidrograf yang dipakai untuk membuat model HSS Limantara umumnya mempunyai waktu naik hidrograf yang lebih kecil dari waktu turun hidrograf.

Verifikasi untuk DAS yang tidak dipakai untuk membuat model HSS Limantara juga dilakukan pada Sub DAS Garang (di Jawa Tengah). Parameter Sub DAS Garang berada dalam kisaran yang dipakai dalam pembuatan model HSS Limantara, antara lain: $A = 73,5 \text{ km}^2$; $L = 34,264 \text{ km}$; $L_c = 22,16 \text{ km}$; $S = 0,0129$ dan $n = 0,0506$. Verifikasi menunjukkan penyimpangan debit puncak sebesar 25,39%, dengan debit puncak pada hidrograf pengamatan sebesar $7,307 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$ sedangkan debit puncak pada HSS Limantara sebesar $5,452 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$. Selisih ordinat (debit) hidrograf relatif kecil yaitu sebesar 3,96%, yang berarti mempunyai keandalan ordinat (debit) 96,04%. Perbedaan debit puncak yang relatif besar diprediksi sebagai akibat waktu naik hidrograf atau waktu untuk mencapai puncak banjir (T_p) pada DAS Garang (Jawa Tengah) sebesar 3 jam, padahal hidrograf pengamatan yang mewakili Jawa Tengah mempunyai waktu untuk mencapai puncak banjir (T_p) sebesar 1,56 jam (rerata T_p dari 3 DAS di Bengawan Solo Hulu). Hal ini tampak jelas pada gambar perbandingan hidrograf, yang mana perbedaan besar terjadi pada jam ke-nol sampai dengan jam ke-tiga (waktu untuk mencapai puncak banjir: T_p). Perhitungan verifikasi dan gambar perbandingan hidrograf dapat dilihat pada Gambar 15 berikut ini.



Gambar 15. Verifikasi Sub DAS Garang terhadap HSS Limantara

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan dihasilkan sebagai berikut: (1) Model debit: $Q_p = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot Lc^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168}$ (satuan Q_p : $m^3/dt/mm$, A : km, L : km, Lc : km, $0,042 m^{0,25}/dt$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,841$ dan tingkat kepercayaan 5%); persamaan kurva naik: $Q_n = Q_p \cdot [(t/T_p)]^{1,107}$ (satuan: Q_n dan Q_p : $m^3/dt/mm$, t dan T_p : jam, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,980$ dan tingkat kepercayaan 5%) dan persamaan kurva turun: $Q_t = Q_p \cdot e^{0,175(T_p - t)}$ (satuan Q_t dan Q_p : $m^3/dt/mm$, T_p dan t : jam, $0,175: dt^{-1}$, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,990$ dan tingkat kepercayaan 5%) adalah merupakan model 'HSS Limantara'. Pada HSS Limantara tersebut ada 3 parameter yang hasilnya berlawanan dengan yang dikatakan oleh para pakar terdahulu. Luas DAS (A), panjang sungai utama (L) dan koefisien kekasaran DAS (n), yang seharusnya berbanding terbalik dengan debit puncak banjir, ternyata pada penelitian ini berbanding lurus; (2) Koordinat HSS Limantara dan HSS Nakayasu dengan kalibrasi menunjukkan penyimpangan kecil terhadap hidrograf satuan pengamatan (HSO), yaitu sebesar 1,224%. (<10%). Sedangkan HSS Nakayasu tanpa kalibrasi mempunyai simpangan sebesar 20,7% (>10%) terhadap hidro*graf satuan pengamatan (HSO). Untuk debit puncak banjir

mempunyai besar yang sama baik untuk HSO, HSS Limantara maupun HSS Nakayasu dengan kalibrasi, yaitu sebesar $20,956 m^3/dt/mm$. Sedangkan untuk HSS Nakayasu tanpa kalibrasi sebesar $16,617 m^3/dt/mm$. Demikian juga waktu puncak banjir (T_p), untuk HSO, HSS Limantara dan HSS Nakayasu dengan kalibrasi adalah sama, yaitu sebesar 5,773 jam. Sedangkan untuk HSS Nakayasu tanpa kalibrasi sebesar 124,103 jam.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dikaitkan dengan hasil verifikasi dan manfaat dari penelitian ini, disarankan sebagai berikut: (1) Sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, panjang sungai (L) dan luas DAS (A) merupakan faktor paling dominan dalam pembuatan HSS Limantara. Berdasarkan verifikasi yang telah dilakukan, terutama di DAS yang relatif besar yaitu DAS Kandilo (dengan L dan A di luar batas keberlakuan model HSS Limantara), memberikan penyimpangan yang relatif besar baik terhadap debit puncak maupun simpangan ordinat (debit) hidrograf. Kedua faktor tersebut diprediksi sebagai penyebab terjadinya simpangan yang cukup besar. Demikian juga untuk koefisien kekasaran DAS (n) yang secara rasional berbanding terbalik dengan debit puncak, pada penelitian ini berbanding lurus namun hanya sedikit pengaruhnya terhadap debit puncak. Untuk itu kepada peneliti lanjutan disarankan untuk mencoba-coba mengklasifikasikan data hidrograf berdasar panjang sungai atau luas DAS, kemudian dicoba verifikasi di banyak DAS. Dengan kata lain, disarankan untuk mencoba memberikan kisaran panjang sungai (L) dan luas DAS (A). Selain itu disarankan untuk mengkaji kembali cara penentuan koefisien kekasaran DAS (n); (2) Mengingat sulitnya membuat model hidrograf satuan sintesis (persamaan debit puncak, persamaan kurva naik dan kurva turun hidrograf) yang benar-benar akurat dengan kesalahan masing-masing yang

relatif kecil (<10 %), maka kepada Departemen Pekerjaan Umum, untuk jangka panjang disarankan melengkapi masing-masing DAS dengan AWLR dan ARR.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (1995). **Hidrologi dan Pengelolaan DAS**. University Press, Gajah Mada, Yogyakarta.
- Blazkova, S. and K. Beven. (1997). **Flood Frequency Prediction for Data Limited Catchments in the Czech Republic Using a Stochastic Rainfall Model and TOPMODEL**, *Journal of Hydrology* **195**: 256-278.
- Fariansyah, A. M.; Aniek M.; L. Montarcih. dan Agus S. (1999). **Model Hidrograf Satuan Sintetis di Pulau Lombok**, *Jurnal Teknik* **VI** (1).
- Hidayat, I (1998). **Pengaruh Karakteristik Sungai Terhadap α Pada Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Studi Kasus Sungai Brantas)**. Tesis. Universitas Brawijaya, Malang.
- Hoesein, A.A. dan L. Montarcih. (1993a). **Kalibrasi Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu di Sub DAS Lesti, Genteng, dan Amprong, Jawa Timur**. *Laporan Penelitian*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- (1993b). **Kalibrasi Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Snyder di Sub DAS Lesti, Genteng, dan Amprong, Jawa Timur**. *Laporan Penelitian*, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Holko, L. and A. Lepsito. (1997). **Modelling the Hydrological Behaviour of Mountain Catchment Using TOPMODEL**. *Journal Hydrology* **196**: 361-377.
- Ikhsan, M. Z. dan L. Montarcih (2002). **Model Matematik Untuk Estimasi Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Di Daerah Pengaliran Kandilo (DPS) Kandilo Kalimantan Timur**. *Laporan Penelitian*. Universitas Brawijaya Malang.
- Ilyas, M.A. (1996). **Pengembangan Model Hidrologi Dengan Sistem Parameter Terdistribusi Pada DAS, Untuk Penanggulangan Konservasi Sumber Daya Air**. *Proc. PIT XIII HATHI*, Medan, hal I-43.
- INWRDAM. (2001). **Decision Support System in the Field of Water Resources Planning And Management**. <http://www.nic.gov.jo/inwrdam/dss.htm1>. March 12, 2001.
- Jayadi, R. (1996). **Optimasi Parameter Kalibrasi Model Hujan Aliran Menggunakan Algoritme Gauss-Newton**. *Media Teknik UGM*. No. 2 th. XVIII Agustus.
- Mulyantari, F. (1993). **Modifikasi Hidrograf Satuan Sintetis Segitiga Untuk 'Small Watershed' Di Wilayah Sungai Bengawan Solo**. *Jurnal Litbang Pengairan*. No. 26 th.7-KW.IV hal. 48.
- Nandakumar, N and R.G. Mein.(1997). **Uncertainty in Rainfall-Runoff Model Simulations And The Implications for Predicting the Hydrologic Effect of Land-Use Change**, *Journal of Hydrology* **192**: 211-232.
- Pavoni, B; A. Voinov and N. Zhavora. (2001). **Basin (Watershed) Approach As A Methodological Basis for Regional Decision Making And Management in the EX USSR**. <http://helios.unive.it/%7Eintas/gaboa rt.htm1>. March 12, 2001.
- Sobriyah; Sudjarwadi; Sri Harto Br dan D. Legono. (2001). **Input Data Hujan Dengan Sistem Grid Menggunakan Cara Pengisian dan Tanpa Pengisian Data Hilang pada Sistem Poligon Thiessen**. *Proc. Kongres VII & Pertemuan Ilmiah*

- Tahunan (PIT) XVIII HATHI*,
Jurusan Pengairan Fakultas Teknik
Unibraw Malang, Vol. II, hal. 66-76.
- Soewarno. (1991). **Hidrologi –
Pengukuran dan Pengolahan Data
Aliran Sungai –Hidrometri**. Nova,
Bandung.
- Sri Harto, Br. (1995). **Analisis Hidrologi**,
PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah
Mada, Yogyakarta
- Suhartanto, E. dan S. Hardjomidjojo.
(2001). **Optimasi Pengelolaan DAS
di Sub Daerah Aliran Sungai
Cidanau Kabupaten Serang
Propinsi Banten Menggunakan
Model Hidrologi ANSWERS**. *Proc.
Kongres VII & Pertemuan Ilmiah
Tahunan (PIT) XVIII HATHI*,
Jurusan Pengairan Fakultas Teknik
Unibraw Malang, Vol. II, hal. 98-
103.
- Suwignyo. (2001). **Kajian Pengaruh
Faktor Bentuk DAS Terhadap
Parameter Hidrograf Satuan
Sintetik Sungai-Sungai di Jawa
Timur**. *Proc. Kongres VII &
Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT)
XVIII HATHI*, Jurusan Pengairan
Fakultas Teknik Unibraw Malang,
Vol. II, hal. 98-103.
- Tung, B. Z.; Yeh, Y.K.; Chia, K. and
Chuang, J. Y.. (1997). **Storm
Resampling for Uncertainty
Analysis of a Multiple-Storm Unit-
Hydrograph**, *Journal Of Hydrology*
194: 366-384.
- Varshney, R.M. (1978). **Engineering
Hydrology**. Irrigation Research
Institute, Central Water & Power
Comission, New Delhi.
- Viessman, W. JR; J. W. Knapp; G. L.
Lewis and T. L. T. E. Harbaugh.
(1977). **Introduction to Hydrology**.
Harper & Row Publishers, New York