

PENGARUH POLA DISTRIBUSI HUJAN TERHADAP PENYIMPANGAN DEBIT PUNCAK HIDROGRAF SATUAN SINTETIK NAKAYASU

I Gede Tunas* dan Arody Tanga*

Abstract

There are many methods which used to analyze flood hydrograph, started from the simplest Rational Methods to the most complex mathematical models. One of them is Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph (SUH) which has been known and used in wide area. Without realized, actually the use of the methods has been given a large deviation if compared with the measured river hydrograph. It is especially caused by the using of rainfall distribution pattern which be the input of the Nakayasu SUH Methods. This research was conducted to investigate the effect of rainfall distribution pattern to the peak discharge of Nakayasu SUH Methods using some rainfall distribution pattern such as Mononobe, ABM and Tadashi Tanimoto which applied on Bangga watershed. The result of the research using 10 elected flood data show that the average deviation from the biggest to the smallest, respectively are Mononobe (69.42 %), ABM (59.44 %) and Tadashi Tanimoto (22.42 %).

Keyword: HSS Nakayasu, rainfall distribution pattern, deviation

1. Pendahuluan

Analisis tentang hidrograf banjir sangat penting dalam usaha perkiraan banjir, penetapan debit banjir rencana bagi bangunan air dan memprediksi potensi banjir dalam kaitannya dengan mitigasi banjir. Banyak metode yang dapat digunakan dalam analisis hidrograf banjir mulai dari metode rasional yang cukup sederhana sampai model matematik yang sangat kompleks. Namun semua metode tersebut masih perlu diuji dalam penerapannya terutama di Indonesia yang beriklim tropis, karena karakteristik hujan di daerah tropis memiliki tingkat variabilitas yang tinggi, begitu juga respon DAS-nya yang sangat tergantung dari karakteristik masing-masing DAS bersangkutan.

Salah satu metode analisis hidrograf yang cukup dikenal dan banyak digunakan di Indonesia termasuk di Sulawesi Tengah oleh para praktisi dan peneliti adalah Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. HSS Nakayasu dikembangkan di Jepang berdasarkan karakteristik DAS, dengan ciri 1 bagian sisi naik dan 3 bagian sisi turun (sisi resesi), yang diformulasi menjadi beberapa persamaan empiris untuk masing-masing sisi hidrograf.

Tanpa disadari, sebenarnya debit puncak yang dihasilkan oleh HSS Nakayasu telah

memberikan penyimpangan yang cukup besar bila dibandingkan dengan hidrograf terukur di sungai. Penyimpangan-penyimpangan tersebut disebabkan oleh banyak faktor seperti faktor hujan yang diasumsikan terdistribusi secara merata di seluruh DAS dan faktor metode yang dikembangkan dengan beberapa penyederhanaan dan asumsi.

Salah satu faktor penyebab terjadinya penyimpangan yang banyak diabaikan oleh banyak orang adalah pola distribusi hujan yang menjadi *input* HSS Nakayasu. Selama ini pola distribusi hujan yang umum digunakan adalah distribusi hujan menurut Mononobe. Sebenarnya masih terdapat beberapa pola distribusi hujan lain seperti *alternating block method*, metode Tadashi Tanomoto dan beberapa metode lainnya yang kurang dikenal (Sri Harto, 2000). Masing-masing metode distribusi tersebut memiliki anggapan dan asumsi yang berbeda. Oleh karena itu masing-masing metode distribusi hujan tersebut perlu dianalisis penyimpangannya dengan membandingkan debit puncak yang dianalisis dengan HSS Nakayasu dengan debit puncak terukur.

Metode HSS Nakayasu telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi baik oleh para praktisi maupun peneliti di Indonesia. Sebagaimana telah diketahui, metode ini dikembangkan oleh

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

penemunya di negaranya sendiri, Jepang, menggunakan karakteristik hujan dan DAS di negara Jepang. Tentunya untuk penggunaan di Jepang, metode ini dianggap memberikan kinerja yang baik. Untuk kasus di Indonesia terutama di Sulawesi Tengah, beragam penelitian juga telah dilakukan untuk mengetahui kinerja metode ini. Tunas, dkk (2009) telah meneliti kinerja metode ini dengan penerapan pada beberapa DAS-DAS terukur di Sulawesi Tengah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kebanyakan kasus metode ini memberikan penyimpangan mulai 20 % sampai 500 % tanpa memverifikasi pola distribusi hujan yang digunakan.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui penyimpangan debit puncak HSS Nakayasu berdasarkan beberapa pola distribusi hujan (Mononobe, ABM dan Tadashi Tanimoto) dengan menggunakan DAS Bangga sebagai bahan/lokasi penelitian. Berdasarkan hasil penyimpangan ini, maka dapat disarankan penggunaannya dalam aplikasi lebih lanjut.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi dan data penelitian

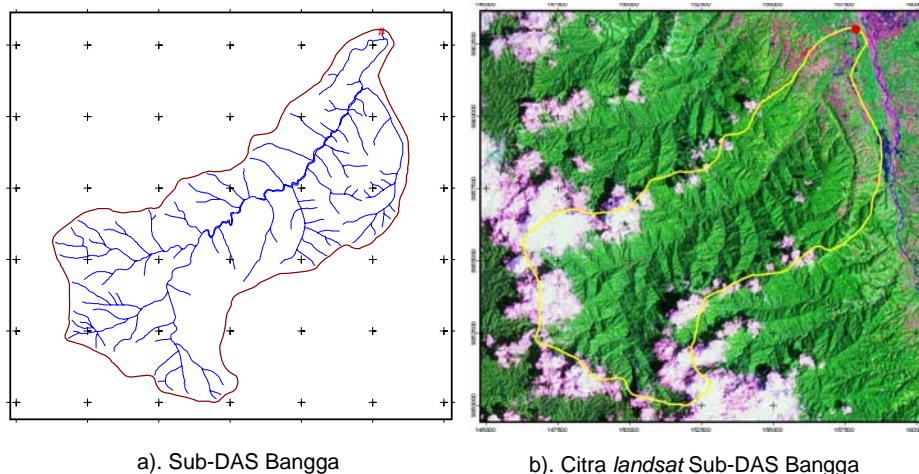
Lokasi penelitian ini bertempat di DAS Bangga, salah satu anak Sungai Palu yang terletak di wilayah Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. Daerah Aliran Sungai Bangga terletak disebelah barat sungai Palu dan berada diatas perkampungan Desa Bangga yang berupa pegunungan, perbukitan dan dataran. Daerah

pedataran dan perbukitan banyak dimanfaatkan untuk sawah dan perkebunan dengan topografi bervariasi mulai dari datar maupun berombak yang mempunyai ketinggian berkisar antara 50 sampai 500 meter diatas permukaan laut. Jenis tanah yang teridentifikasi pada daerah ini memiliki tekstur tanah berpasir dan atau pasir berlempung dengan struktur tanah yang bervariasi dari lepas sampai bergumpal.

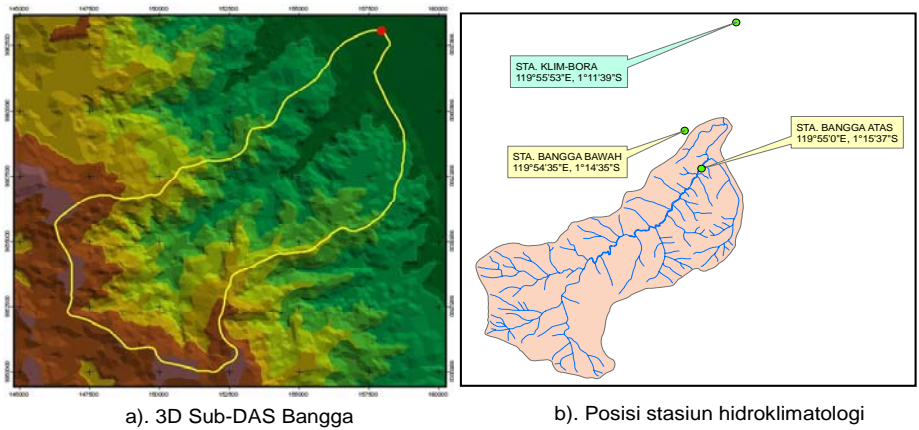
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan yang terdapat pada dua stasiun yaitu pada Stasiun Bangga Atas yang terletak pada $1^{\circ}17'14''$ Lintang Selatan (LS) dan $119^{\circ}54'01''$ Bujur Timur (BT) dan Stasiun Bangga Bawah yang terletak pada $1^{\circ}14'35''$ LS dan $119^{\circ}54'35''$ BT. Selain itu juga digunakan data debit yang telah dikonversi dari data AWLR (*automatic water level recorder*), yang terdapat di hilir Sungai Bangga.

2.2 Prosedur penelitian

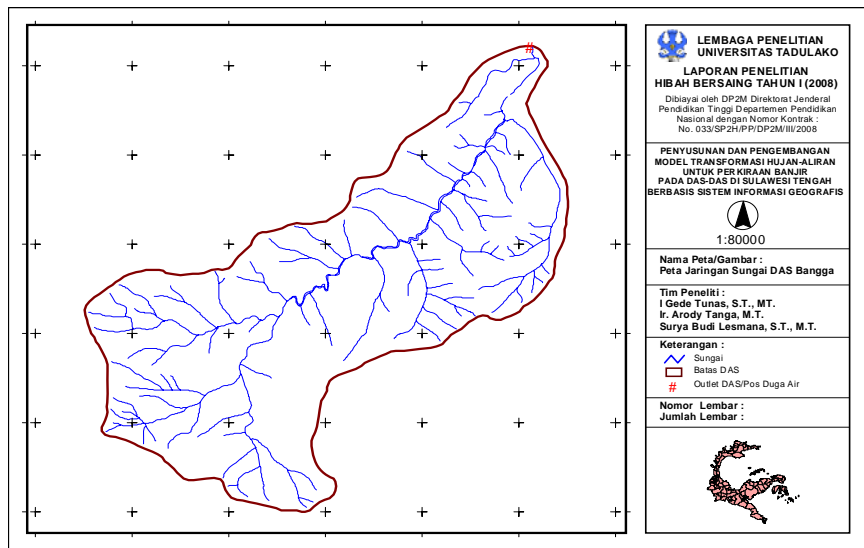
Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mengumpulkan data hujan harian yang terdapat pada kedua stasiun tersebut selama minimal 10 tahun dan data AWLR dalam bentuk data debit jam-jaman selama minimal 10 tahun periode pencatatan. Selanjutnya berdasarkan data debit jam-jaman yang ada, dilakukan pemilihan data dalam bentuk hidrograf banjir berpuncak tunggal minimal 10 data kejadian banjir. Pemilihan ini dilakukan dengan memperhatikan kejadian hujan pada kedua stasiun, dalam hal ini dipilih hujan-debit yang bersesuaian pada hari yang sama.



Gambar 1. Peta DAS dan citra landsat Sub-DAS Bangga



Gambar 2. Peta 3D dan stasiun hidroklimatologi Sub-DAS Bangga



Gambar 3. Jaringan sungai dan bentuk DAS Bangga

Hujan harian terpilih yang mewakili penelitian ini ditransformasikan mengikuti 3 pola distribusi hujan yakni Mononobe, *Alternating Block Method* (ABM) dan Tadashi Tanimoto. Selanjutnya masing-masing pola distribusi hujan akan dialihragamkan menjadi debit banjir menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. Kesesuaian hasil transformasi tersebut dapat diketahui dengan membandingkan hasil hidrograf teranalisis dengan hidrograf terukur dalam bentuk penyimpangan debit puncak hidrograf. Besar penyimpangan masing-masing hidrograf akan dikorelasikan dengan pola distribusi hujan yang

digunakan. Dengan demikian tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh pola distribusi hujan terhadap penyimpangan hidrograf debit puncak HSS Nakayasu untuk kasus DAS Bangga dapat terjawab.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Bangga

DAS Bangga terletak di WS Palu-Lariang memiliki luas dan keliling berturut-turut 72.08 km² dan 42.98 km, berbentuk memanjang

seperti terlihat pada Gambar 3. Panjang DAS sekitar 15.35 km dan lebar 8.21 km, DAS berbentuk memanjang dengan anak-anak sungai menyerupai jaringan syaraf (dendritik) berkepadatan rendah sampai sedang, dengan panjang sungai utama sekitar 20.5 km dan kemiringan rerata 0.062. DAS Bangga merupakan salah satu anak sungai Palu, yang terletak di sebelah kiri aliran Sungai Palu.

Secara topografis dan geologis, DAS Bangga memiliki karakter yang hampir sama dengan DAS-DAS lain disekitarnya yakni sebagian besar wilayah DAS merupakan daerah perbukitan dengan kemiringan rerata lebih dari 15 %. Hanya sebagian kecil saja (kurang dari 10 %) dari wilayah DAS merupakan daerah dataran. DAS Bangga sebagian besar terdiri dari vegetasi sekunder, yakni hutan jerami hasil dari suksesi hutan primer akibat perambahan dan erosi. Jarang sekali ditemukan pohon-pohon besar sebagai ciri hutan tropis.

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap karakteristik DAS, dengan bantuan sistem informasi geografis, dalam hal ini Arc GIS Versi 9.3, dapat ditentukan beberapa parameter penting DAS Bangga sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1, yang selanjutnya akan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1, parameter penting yang sangat menentukan proses transformasi hujan menjadi aliran adalah kerapatan

jaringan kuras (D). Kerapatan jaringan kuras menggambarkan tentang kerapatan jaringan sungai yang terdapat di DAS. Apabila kerapatan jaringan sungai tinggi maka proses transformasi hujan menjadi aliran akan menjadi lebih cepat bila dibandingkan dengan kerapatan jaringan sungai yang rendah. DAS Bangga memiliki kerapatan jaringan kuras yang tergolong tinggi yakni 0.7 (>0.5). Angka ini dapat menggambarkan selain proses transformasi berlangsung lebih cepat juga waktu pencapaian debit puncak relatif lebih pendek. Selanjutnya berdasarkan nilai-nilai parameter ini, dapat ditentukan angka index phi yang menggambarkan besarnya aliran yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Berdasarkan analisis, angka Indeks phi DAS Bangga sebesar 10.47 mm/jam. Angka ini akan menjadi faktor pengurang hujan total menjadi hujan efektif di dalam analisis hidrograf, dalam hal ini HSS Nakayasu.

3.2 Analisa Hidrograf

Sebagaimana telah disampaikan pada metodologi penelitian, sebagai input hidrograf terlebih dahulu ditetapkan kejadian hujan-banjir yang memenuhi syarat. Syarat yang harus dipenuhi adalah pada kedua stasiun hujan sebaiknya dipilih kejadian besaran hujan relatif sama dan menghasikan debit dalam bentuk hidrograf aliran pada titik outlet DAS.

Tabel 1. Parameter fisik DAS Bangga

Uraian	Nilai	Dimensi
Luas DAS (A)	72.080	km ²
Panjang Sungai Utama (L)	20.500	km
Faktor Sumber (SF)	0.524	
Frekuensi Sumber (SN)	0.524	
Faktor Lebar (WF)	1.372	
Luas DAS Sebelah Hulu (RUA)	0.542	km ²
Faktor Simetri (SIM)	0.744	
Jumlah Pertemuan Sungai (JN)	71.000	
Kerapatan Jaringan Kuras (D)	0.703	
Kemiringan Rerata Sungai (S)	0.062	

Tabel 2. Kejadian Hujan – Banjir DAS Bangga Terpilih

Tanggal	Waktu	TMA Puncak (cm)	Debit (Q) (m ³ /det)	Curah Hujan		Rerata (mm)
				B. Atas (mm)	B. Bawah (mm)	
10/02/2001	18:30	106	8.21	35.4	27.8	31.60

02/01/2003	20:00	134	7.13	13.4	43.2	28.30
------------	-------	-----	------	------	------	-------

Tabel 2. (lanjutan)

Tanggal	Waktu	TMA Puncak (cm)	Debit (Q) (m ³ /det)	Curah Hujan		Rerata (mm)
				B. Atas (mm)	B. Bawah (mm)	
10/15/2003	18:00	104	5.65	48.5	24.1	36.30
01/20/2004	19:00	118	6.29	10.7	44.7	27.70
07/27/2004	01:30	101	5.48	24.3	33.0	28.65
02/26/2006	20:30	83	4.56	48.3	18.6	33.45
08/22/2006	22:40	115	5.95	30.5	31.9	31.20
01/23/2007	03:00	132	10.18	23.0	36.0	29.50
05/05/2007	19:00	148	11.76	54.0	42.3	48.15
08/08/2007	20:00	103	7.54	45.7	23.0	34.35

Tabel 3. Distribusi jam-jaman menurut Mononobe, ABM dan Tadashi Tanimoto

Tanggal	Mononobe			ABM			Tadashi Tanimoto		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₁	t ₂	t ₃	t ₁	t ₂	t ₃
10/02/2001	21.91	5.69	3.99	3.99	21.91	5.69	10.68	12.01	8.90
02/01/2003	19.62	5.10	3.58	3.58	19.62	5.10	9.56	10.76	7.97
10/15/2003	25.17	6.54	4.59	4.59	25.17	6.54	12.27	13.80	10.22
01/20/2004	19.21	4.99	3.50	3.50	19.21	4.99	9.36	10.53	7.80
07/27/2004	19.86	5.16	3.62	3.62	19.86	5.16	9.68	10.89	8.07
02/26/2006	23.19	6.03	4.23	4.23	23.19	6.03	11.31	12.72	9.42
08/22/2006	21.63	5.62	3.94	3.94	21.63	5.62	10.54	11.86	8.79
01/23/2007	20.45	5.32	3.73	3.73	20.45	5.32	9.97	11.22	8.31
05/05/2007	33.39	8.68	6.09	6.09	33.39	8.68	16.27	18.31	13.56
08/08/2007	23.82	6.19	4.34	4.34	23.82	6.19	11.61	13.06	9.67

Kejadian hujan-banjir terpilih ditampilkan pada Tabel 2, dengan rentang waktu 2001-2007 dengan jumlah data yang dianggap dapat mewakili sejumlah 10 data hujan-banjir. Hujan rerata ditetapkan berdasarkan metode rerata hitung (*arithmetic mean*). Semua data hujan-banjir terpilih hampir terdistribusi merata pada setiap tahunnya, sehingga data ini dapat dianggap mewakili seluruh kejadian banjir di DAS Bangga.

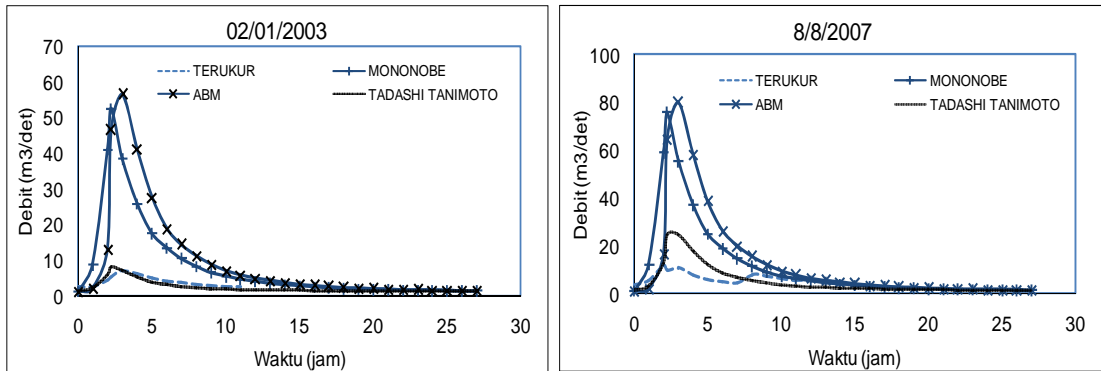
Sebagai langkah lanjut dari pemilihan data hujan-banjir, semua data hujan terpilih didistribusikan menjadi hujan jam-jaman berdasarkan pola distribusi hujan yang rujuk yakni Mononobe, ABM dan Tadashi Tanimoto. Distribusi hujan jam-jaman selengkapnya dapat dilihat pada

Tabel 3, yang menggambarkan kejadian hujan di DAS Bangga terdistribusi selama 3 jam berdasarkan ketiga pola distribusi tersebut.

Berdasarkan distribusi hujan yang diperoleh sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3, pada tahap lanjut dapat dibentuk hidrograf banjir untuk masing-masing kejadian hujan menggunakan Model HSS Nakayasu. HSS Nakayasu sendiri disusun berdasarkan parameter DAS sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1 sebelumnya. Sebagai ilustrasi, pada Gambar 4 diperlihatkan 2 buah hidrograf (tanggal 2 Januari 2003 dan 8 Agustus 2007) yang memperlihatkan hidrograf hasil analisis menggunakan Model HSS Nakayasu dan hidrograf terukur. Penggambaran ini dimaksudkan untuk

memperlihatkan derajat kesesuaian antara hidrograf

hasil analisis dengan hidrograf terukur.



Gambar 4. Perbandingan hidrograf hasil simulasi dengan hidrograf terukur

Tabel 4. Penyimpangan debit puncak hidrograf untuk masing-masing pola distribusi hujan

Tanggal	Debit Puncak (m ³ /det)			Penyimpangan (%)			
	Terukur	Mononobe	ABM	TT	Mononobe	ABM	TT
10/02/2001	8.21	65.30	56.47	33.41	64.30	55.47	32.41
02/01/2003	5.46	52.51	46.57	8.19	51.51	45.57	7.19
10/15/2003	4.92	83.52	70.59	31.41	82.52	69.59	30.41
01/20/2004	4.68	50.18	44.76	7.20	49.18	43.76	6.20
07/27/2004	4.68	53.86	47.62	8.77	52.86	46.62	7.77
02/26/2006	4.56	72.47	62.03	21.33	71.47	61.03	20.33
08/22/2006	5.90	63.75	55.27	13.37	62.75	54.27	12.37
01/23/2007	4.93	57.16	50.17	10.17	56.16	49.17	9.17
05/05/2007	4.93	129.45	106.17	75.84	128.45	105.17	74.84
08/08/2007	9.89	75.96	64.73	24.51	74.96	63.73	23.51
RERATA					69.42	59.44	22.42

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4, perbedaan-perbedaan debit puncak hidrograf terlihat agak menyolok terutama untuk pola distribusi Mononobe dan ABM. Untuk pola distribusi Tadashi Tanimoto, kemiripan bentuk hidrograf terutama debit puncak cenderung sesuai. Hidrograf-hidrograf untuk data-data yang lainnya juga cenderung memperlihatkan *trend* yang relatif serupa.

Untuk menentukan pola distribusi hujan yang mana cenderung sesuai dengan hidrograf terukur dalam arti memberi penyimpangan terkecil, Tabel 4 memberikan penyajian tentang prosentase penyimpangan debit puncak masing-masing pola distribusi hujan terhadap debit puncak hidrograf terukur. Pola distribusi hujan yang memberikan penyimpangan terbesar adalah pola distribusi

menurut Mononobe dengan kisaran antara 49.18 % sampai 128.45 %, dan penyimpangan rerata sebesar 69.42 %. Selanjutnya untuk pola distribusi ABM, penyimpangan debit puncak berkisar antara 43.76 % sampai 105.17 %, dengan simpangan rerata sebesar 63.73 %, sedikit di bawah penyimpangan Mononobe. Demikian pula pola distribusi hujan menurut Tadashi Tanimoto, penyimpangan debit puncak untuk masing-masing hidrograf berada pada rentang 6.20 % sampai 74.84 %, dengan simpangan rerata sebesar 6.20 %.

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada tabel 4 tersebut, dapat diketahui bahwa penyimpangan rerata terbesar diberikan oleh pola distribusi hujan menurut Mononobe dan penyimpangan terkecil diberikan oleh pola disitribusi hujan menurut Tadashi Tanimoto.

Perbedaan penyimpangan tersebut dapat dijelaskan berdasarkan distribusi jam-jaman pada Tabel 3. Distribusi hujan jam-jaman menurut Mononobe selalu dimulai dengan yang distribusi hujan terbesar pada jam 1 dan selanjutnya disusul oleh distribusi hujan yang lebih kecil. Pola distribusi hujan menurut ABM dan Tadashi Tanimoto memiliki pola yang hampir sama dengan hujan terbesar terjadi pada waktu tengah. Walaupun demikian kedua jenis distribusi yang terakhir ini tidak memberikan debit puncak hidrograf yang mirip. Hal ini disebabkan hujan efektif yang dihasilkan oleh pola distribusi hujan menurut Tadashi Tanimoto relatif lebih kecil bila dibandingkan pola distribusi hujan menurut ABM dan Mononobe.

Hal lain yang dapat dicermati dari Tabel 4, tidak adanya pola distribusi hujan yang memberikan penyimpangan kurang dari 5 % sebagaimana idealnya yang disyaratkan di dalam analisis hidrologi. Ketidaksiharian ini dimungkinkan terjadi akibat 2 andaian mendasar teori hidrograf bahwa hujan efektif terjadi secara merata di seluruh DAS yang ditinjau dan hujan efektif terjadi merata dalam unit waktu yang ditinjau (Sri Harto, 2000). Sebagaimana disadari bahwa kedua andaian ini tidak bisa dipungkiri akan memberikan penyimpangan hasil analisis hidrograf, tetapi sedapat mungkin penyimpangan ini dapat diminimalisir. Pengandaian ini harus dilakukan karena sangat sulit melakukan analisis transformasi hujan-banjir berdasarkan teori hidrograf satuan tanpa melakukan penyederhanaan-penyederhanaan dalam asumsi perhitungan. Oleh karena itu adalah hal yang sangat tidak mungkin menghindari terjadinya penyimpangan dalam analisis hidrograf. Oleh karena itu untuk aplikasi lebih lanjut, sangat dianjurkan untuk melakukan kalibrasi parameter hidrograf satuan termasuk HSS Nakayasu.

4. Kesimpulan dan Saran

Sesungguhnya sangat tidak mungkin menghindari penyimpangan hidrograf akibat andaian dasar teori hidrograf satuan. Namun demikian selain kedua andaian tersebut penyimpangan sangat mungkin terjadi akibat pola distribusi hujan yang digunakan. Sebagaimana tujuan akhir tulisan ini, penyimpangan terkecil diberikan oleh pola distribusi hujan menurut Tadashi Tanimoto dengan penyimpangan rerata sebesar 22.42 %. Penyimpangan lebih besar diberikan oleh pola distribusi hujan menurut ABM sebesar 59.44 dan Mononobe sebesar 69.42 %.

Untuk analisis lebih dapat disarankan untuk menggunakan pola distribusi hujan yang memberikan penyimpangan terkecil. Selain itu untuk mendapatkan tingkat akurasi yang lebih baik sedapat mungkin parameter-parameter hidrograf satuan yang digunakan dapat dikalibrasi berdasarkan ketersediaan data debit terukur di sungai yang ditinjau.

5. Daftar Pustaka

- Bedient, P.B., and Huber, W.C. 1992. *“Hydrology and Floodplain Analysis”*. Addison Wesley, New York.
- Sri Harto Br., 1985. *“Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I”*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Sri Harto Br., 1990. *“Hidrograf Satuan Sintetik GAMA II”*. Jurnal Teknik Hidraulik, No. 5, pp. 142-149
- Sri Harto Br., 1991. *“Identifikasi Aliran Antara Pada Hidrograf Satuan Sintetik GAMA II”*. Jurnal Teknik Hidraulik, No. 6, pp. 52-59
- Sri Harto Br., 2000. *“Hidrologi : Teori, Masalah dan Penyelesaian”*. Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Sri Harto Br., dan Sujono, D., 1987. *“Karakteristik Hidrograf Satuan dengan Beberapa Cara Pendekatan”*. Prosiding PIT IV HATHI, Semarang.
- Sujarwadi, Jayadi, R., dan Sri Harto Br., 1994. *“Model Hujan Aliran Untuk Menghitung Debit Aliran Musim Kemarau”*. Forum Teknik, No. 1 Jilid 10, pp. 131-132
- Sukheswalla, Z.R., 2003. *“A Statistical Model For Estimating Mean Annual And Mean Monthly Flows at Ungaged Locations”*, M.Sc. Thesis, University of Texas, Austin
- Tunas I.G., Tanga, A., dan Lesmana, S.B., 2009. *“Penyusunan dan Pengembangan Model Transformasi Hujan-Aliran Untuk Perkiraan Banjir Pada DAS-DAS di Sulawesi Tengah Berbasis Sistem Informasi Geografis”*, Lembaga Penelitian UNTAD, Palu