

UNJUK KERJA HIDROGRAF SATUAN SINTETIK NAKAYASU, ITB 2 DAN LIMANTARA UNTUK DAERAH ALIRAN SUNGAI BERBENTUK MEMANJANG

Humairo Saidah^{1,*}, Agustono Setiawan¹, Lilik Hanifah¹, Agus Suroso¹, Anid Supriyadi¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*Corresponding authors: h.saidah@unram.ac.id

Submitted: 3 May 2022, Revised: 1 July 2022, Accepted: 26 July 2022

ABSTRACT: Estimated flood discharge value for water structure design, ideally determined based on the frequency analysis of measured discharge data. However, the measured discharge data is often not recorded or if the length is limited. So, it needs the technique in getting the design flood value from rain data through the Synthetic Unit Hydrograph (SUH) method. This study examined the suitability of the three (3) SUH methods (Nakayasu, Limantara and ITB2) in generating the design flood discharge and compared it with the Observed Unit Hydrograph (OUH) of the elongated shape watersheds, namely Sidutan and Reak. The main values that are compared are peak discharge, peak time, and base time of HSS to the HSO value. The results obtained from the Sidutan watershed and the Reak watershed are both elongated shape watershed, have almost the same length as the main river, but the area of the Sidutan watershed is greater than Reak watershed. The average OUH of both watersheds indicated that both Q_p and T_b of the Sidutan watershed are greater than Reak, but the time peak hydrograph (T_p) was reached at almost the same time. The SUH method that produced unit hydrographs closest to OUH is Nakayasu, then ITB2 and Limantara, respectively.

KEYWORDS: design flood; SUH ITB2; SUH Limantara; SUH Nakayasu; unit hydrograph.

ABSTRAK: Estimasi nilai debit banjir rencana untuk perencanaan bangunan air, idealnya ditentukan berdasarkan analisis frekuensi menggunakan data debit terukur. Namun keberadaan data debit terukur seringkali tidak tersedia atau walaupun ada terbatas. Sehingga diperlukan teknik untuk mendapatkan nilai banjir rancangan dari data hujan melalui metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS). Penelitian ini menguji kesesuaian tiga metode HSS (Nakayasu, Limantara dan ITB2) dalam menghasilkan debit banjir rancangan dan membandingkannya dengan debit rancangan dari debit terukur pada DAS yang berbentuk memanjang, yaitu DAS Sidutan dan DAS Reak. Nilai utama yang dibandingkan yaitu debit puncak, waktu mencapai puncak, dan waktu dasar dari HSS terhadap nilai dari HSO. Hasil yang diperoleh bahwa DAS Sidutan dan DAS Reak sama-sama berbentuk memanjang, memiliki panjang sungai utama yang hampir sama namun luas DAS Sidutan lebih besar dari DAS Reak. Hasil penurunan HSO rerata kedua DAS menunjukkan bahwa Q_p dan T_b DAS Sidutan lebih besar dari DAS Reak, namun waktu mencapai puncak hidrograf (T_p) dicapai dalam waktu yang hampir sama. Metode HSS yang menghasilkan hidrograf satuan paling mendekati HSO berturut-turut adalah HSS Nakayasu, lalu ITB2 dan kemudian Limantara.

KATA KUNCI: banjir rencana; HSS ITB2; HSS Limantara; HSS Nakayasu; hidrograf satuan.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Informasi besaran debit banjir rencana sangat diperlukan dalam perancangan infrastruktur utamanya infrastruktur keairan. Idealnya estimasi debit banjir rencana diperhitungkan dengan data banjir terukur yang ada di lokasi perencanaan. Debit banjir historis yang tercatat dalam rentang waktu yang cukup panjang (>20 tahun) kemudian dapat langsung diolah menggunakan analisis probabilitas untuk mendapatkan besaran rancangan pada peluang yang diinginkan. Teknik ini banyak digunakan karena debit banjir yang dihasilkan

Pada daerah aliran sungai (DAS) yang memiliki data pengukuran debit, maka analisis debit banjir rancangan dapat dilakukan menggunakan data debit.

Tapi bagi DAS yang tidak memiliki alat ukur debit, nilai besaran banjir rancangan diperoleh dengan cara melakukan transformasi dari data hujan. Pada proses alihragam hujan menjadi aliran ini konsep hidrograf satuan banyak digunakan.

Konsep hidrograf satuan ini diperkenalkan oleh L.K.Sherman pada tahun 1932 (Subramanya, 1984). Pada sungai yang memiliki alat ukur debit, hidrograf satuan dapat diturunkan dari data banjir hasil rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*). Hidrograf satuan ini disebut Hidrograf Satuan Pengamatan atau Hidrograf Satuan Observasi (HSO). Sedangkan pada sungai yang tidak memiliki AWLR dapat menggunakan beberapa metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) dikembangkan di daerah lain yang telah

dipublikasi luas. Diantara HSS yang populer digunakan dalam analisis hidrologi di Indonesia antara lain adalah metode Snyder-Alexeyev, Snyder-SCS, Nakayasu, Gama 1, Gama 2, ITB-1, ITB-2, Limantara, dan lain-lain.

Tingginya kebutuhan untuk menerapkan metode HSS guna mendapatkan debit banjir pada sungai yang tidak memiliki alat ukur debit telah menarik perhatian peneliti untuk menguji pengaplikasian metode tersebut di daerah masing-masing. Pengujian dan pemakaian HSS Nakayasu, Snyder, Gama 1, SCS maupun ITB, dan membandingkannya dengan HSO di berbagai sungai di wilayah Indonesia yang telah dilakukan diantaranya adalah aplikasi HSS ITB pada sungai Citarum Hulu di Bogor (Agus & Hadihardaja, 2011), HSS Gama 1, Snyder dan Nakayasu sungai Ranoyapo di Minahasa (Siby et al., 2013), HSS Gama 1 di Sungai Bangga di Sulawesi Tengah (Andiese, 2013), HSS Snyder dan SCS di Sungai Poso Sulawesi Tengah (Kahffi & Lipu, 2021), HSS Nakayasu dan SCS pada Sungai Ambacang di Kabupaten Kuantan Singingi (Abdaa & Darfia, 2021) dan sebagainya.

Nakayasu merupakan HSS yang sangat populer digunakan dalam berbagai analisis hidrologi di Indonesia. HSS ini dibuat berdasarkan penelitian Nakayasu pada beberapa sungai di Jepang. Di Indonesia juga telah dikembangkan beberapa metode HSS berdasarkan hasil penelitian di berbagai DAS di Indonesia. HSS Gamal dihasilkan dari penelitian 30 DAS di Pulau Jawa pada dekade 1980-an (Amiruddin et al., 2020; Harto, 1993a, 1993b). HSS ITB dikembangkan oleh Dantje Natakusumah berdasarkan pengalaman pada tahun 2009 saat melakukan evaluasi hidrograf banjir rancangan pada pelimpah bendungan Citepus dan bendungan Sadawarna melalui uji model fisik (Handayani et al., 2016), yang perbaikan prosedur umum perhitungannya kemudian dilakukan pada 2010 (Natakusumah et al., 2011). Sedangkan HSS Limantara dikembangkan oleh Lily Montarchih berdasarkan data banjir dari berbagai DAS di Indonesia (Limantara, 2012).

Penelitian lanjutan juga telah banyak dilakukan untuk menyikapi perbedaan hasil model terhadap pengukuran dengan mencari faktor penyesuaian dari parameter HSS agar diperoleh ketelitian yang lebih baik. Ginting (2022) melakukan penentuan durasi hujan efektif pada HSS Nakayasu; Iyan et al., (2022) melakukan optimasi parameter hidrograf ITB 1 dan ITB 2, Syahroni (2021) menguji pemanfaatan HSS ITB 1 dengan software HEC RAS, dan masih banyak lagi. Namun karena parameter fisik morfometri DAS maupun kondisi hidrologis setiap daerah bersifat unik dan sangat spesifik, maka hasil pengujian tersebut masih bersifat lokal dan hanya berlaku di tempat dimana pengujian tersebut dilakukan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan evaluasi dan aplikasi metode HSS yang yang dikembangkan di negara lain namun banyak digunakan di Indonesia

yaitu metode Nakayasu, juga metode yang dikembangkan di Indonesia yaitu ITB 2 dan Limantara. Ketiga metode ini dipilih karena ketiganya cukup sederhana dalam perhitungan dan membutuhkan masukan data yang mudah diperoleh, sehingga cocok diterapkan pada daerah yang memiliki informasi data terbatas.

Penelitian dilakukan di DAS Reak dan DAS Sidutan di Kabupaten Lombok Utara. Kedua DAS ini dipilih karena memiliki bentuk DAS yang kecil memanjang menyerupai bulu, dan memiliki rekaman data debit AWLR yang memadai. Bentuk DAS Reak dan Sidutan yang menyerupai bulu dipilih untuk mewakili bentuk DAS yang dimiliki oleh sebagian besar sungai-sungai yang ada di Pulau Lombok. Sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi pengguna metode HSS akan akurasi dan ketelitian metode ini jika diterapkan pada DAS lain yang memiliki keterbatasan data debit pengukuran, khususnya untuk sungai-sungai di Pulau Lombok.

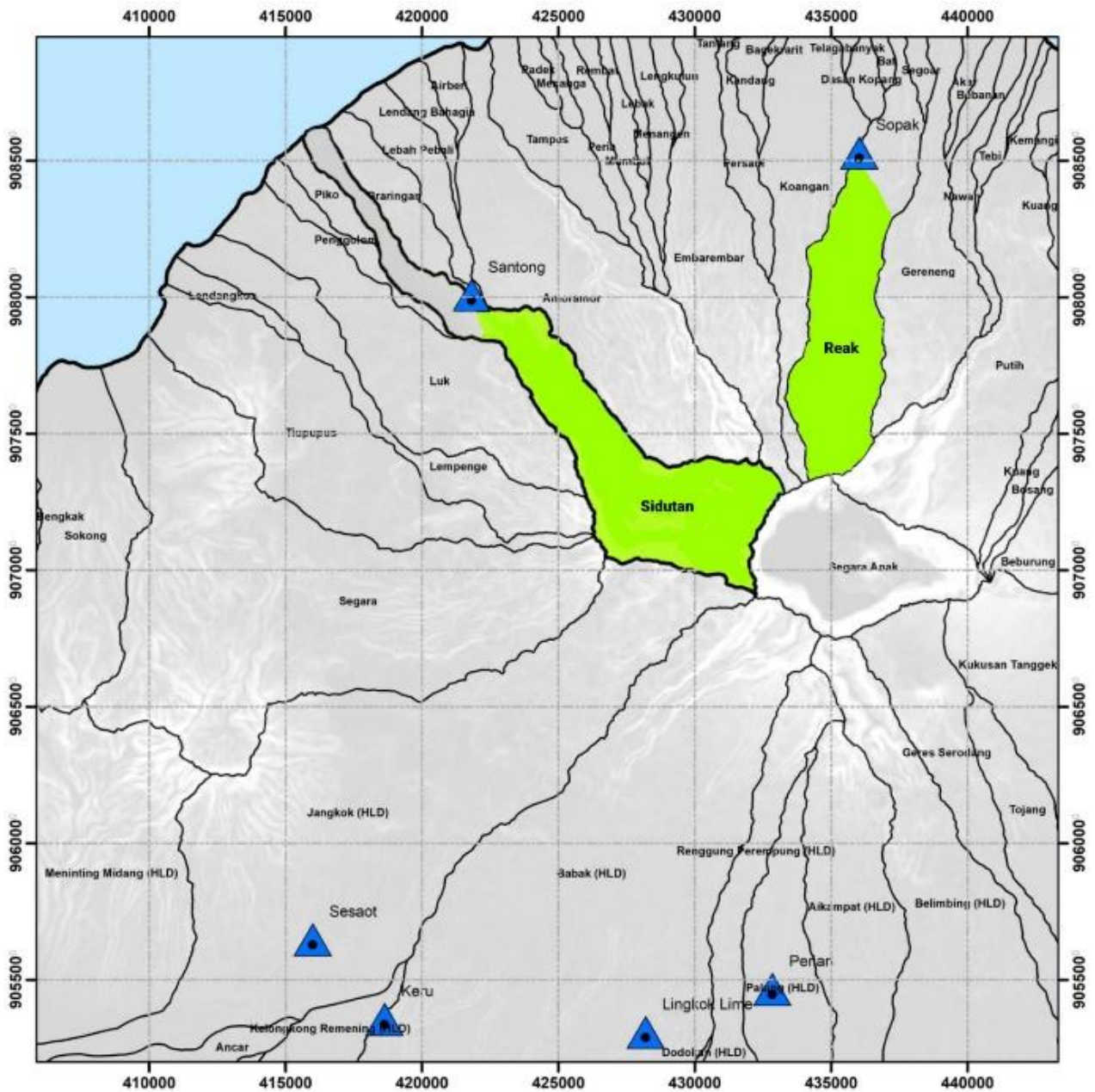
2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di DAS berbentuk bulu yang ada di Kabupaten Lombok Utara, yaitu DAS Sidutan dan DAS Reak. Kedua DAS ini dipilih karena memiliki bentuk DAS yang hampir sama yaitu kecil memanjang menyerupai bulu. Data hujan untuk analisis hidrograf dikumpulkan dari ARR (*Automatic Rainfal Recorder*) Santong untuk DAS Sidutan dan ARR Sopak untuk DAS Reak. AWLR untuk DAS Sidutan terletak di Santong, dengan luas *catchment area* 37.72 km² dan Panjang sungai utama 17.489km. Lokasi AWLR ini secara geografis pada 8° 19' 44" LS dan 116° 17' 47" BT. Sedangkan stasiun AWLR untuk DAS Reak terletak di AWLR Sopak dengan luas *catchment area* 23.66 km² dan Panjang sungai utama 15.04 yang secara geografis terletak pada 8° 16' 29" LS dan 116° 25' 12" BT. Keduanya secara administratif berada di wilayah Kabupaten Lombok Utara, sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

2.2 Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dimulai dari pemilihan DAS dengan menentukan faktor bentuk DAS. Dari kedua DAS terpilih kemudian dilakukan pengumpulan data, baik data debit, data hujan maupun data karakteristik DAS. Data hujan yang digunakan pada penelitian ini untuk DAS Sidutan sepanjang 26 tahun (1991-2016) dan untuk DAS Reak sepanjang 17 tahun (2000-2017). Data hujan yang terkumpul kemudian diuji konsistensinya menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Besaran hujan rerata daerah dihitung dengan cara Thiessen menggunakan stasiun hujan Lingkuk Lima, Stasiun Sesaot, stasiun Santong dan stasiun Sopak.



Gambar 1. DAS Sidutan dan DAS Reak

Faktor bentuk (*Shape Factor/SF*) DAS didefinisikan sebagai perbandingan antara Luas DAS terhadap Panjang keliling DAS pangkat dua, yang disajikan dalam persamaan (Triono, 2010):

$$SF = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana SF = faktor bentuk; A= luas DAS (km²) dan L= Panjang keliling DAS (km).

Langkah berikutnya adalah menentukan HSS dari kedua DAS dengan terlebih dahulu mengumpulkan data parameter fisik DAS seperti panjang sungai utama, luas DAS, kemiringan sungai dan sebagainya. Metode HSS yang digunakan adalah HSS Nakayasu, HSS ITB 2 dan HSS Limantara.

2.2.1 Metode Nakayasu

Analisis hidrograf satuan sintetik dilakukan dengan terlebih dahulu mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk setiap metode. Metode Nakayasu membutuhkan input data luas DAS, Panjang sungai utama, harga α . Beberapa persamaan yang digunakan dalam HSS Nakayasu (Sutapa, 2005):

Persamaan debit puncak:

$$Q_p = \frac{c.A.R_0}{3.6 (0.3T_p + T_{0.3})} \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan kurva naik:

$$Q_a = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan kurva turun:
pada $0 \leq t \leq (T_p + T_{0.3})$;

$$Q(t) = Q_p 0.3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0.3}}} \dots\dots\dots (4)$$

pada $T_p + T_{0.3} \leq t \leq T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$;

$$Q(t) = Q_p 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5 T_{0.3})}{1.5 T_{0.3}}} \dots\dots\dots (5)$$

pada $t > (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$;

$$Q(t) = Q_p 0.3^{\frac{(t-T_p+1.5 T_{0.3})}{2.0 T_{0.3}}} \dots\dots\dots (6)$$

$$T_p = T_g + 0.8 T_r \dots\dots\dots (7)$$

$$T_{0.3} = \alpha \cdot T_g \dots\dots\dots (8)$$

$$\alpha = \frac{T_{0.3}}{T_g} \text{ atau } \alpha = \frac{0.47(A \cdot L)^{0.25}}{t_g} \dots\dots\dots (10)$$

$$T_r = 0.5 T_g \text{ sampai } T_g \dots\dots\dots (11)$$

Untuk $L > 15 \text{ km}$:

$$T_g = 0.4 + 0.058 L \dots\dots\dots (12)$$

Untuk $L < 15 \text{ km}$:

$$T_g = 0.21 L^{0.7} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana: Q_p = debit puncak banjir (m^3/dt); Q_a = limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/dt); Q_d = limpasan setelah mencapai puncak (m^3/dt); R_o = hujan satuan (mm); T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam); $T_{0.3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari puncak sampai 30% dari debit puncak (jam); T_r = lama hujan efektif (jam); T_g = waktu konsentrasi (jam); α = konstanta; L = panjang sungai utama (km)

2.2.2 Metode Limantara

Beberapa persamaan yang digunakan dalam metode Limantara, diantaranya (Limantara, 2012):

Persamaan debit puncak:

$$Q_p = 0.042 A^{0.451} L^{0.497} L_c^{0.356} S^{-0.131} n^{0.168} \dots\dots\dots (14)$$

Persamaan lengkung naik:

$$Q_n = Q_p \cdot [(t/T_p)]^{1.107} \dots\dots\dots (15)$$

Persamaan lengkung turun:

$$Q_t = Q_p \cdot e^{0.175(T_p - t)} \dots\dots\dots (16)$$

Persamaan waktu puncak:

$$T_p = t_g + 0.8 T_r \dots\dots\dots (17)$$

Jika $L \geq 15 \text{ km}$, maka $t_g = 0.40 + 0.058 L$ dan jika $L < 15 \text{ km}$, maka $t_g = 0.21 L$.

Dimana: Q_p = debit puncak banjir hidrograf satuan (m^3/detik); A = luas daerah tangkapan sampai outlet (km^2); L = panjang sungai utama (km); L_c = panjang sungai dari outlet sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (km); S = kemiringan sungai; n = koefisien kekasaran DAS; t = waktu hidrograf (jam); Q_n = debit

sebelum puncak hidrograf satuan (m^3/detik); Q_t = debit setelah puncak hidrograf satuan (m^3/detik); T_p = waktu mencapai puncak hidrograf (jam); t_g = waktu konsentrasi hujan (jam); T_r = lama hujan efektif (jam).

Penentuan nilai n (koefisien kekasaran DAS) sebagai berikut:

$n = 0.035$ untuk lahan pertanian dengan tanaman,

$n = 0.07$ untuk hutan atau semak belukar, atau dapat juga dihitung dengan persamaan dari Chow dalam (Natakusumah et al., 2011) :

$$n = 0.035 \left(1 + \frac{A_f}{A} \right) \dots\dots\dots (18)$$

Dengan: A_f = luas hutan, A = luas DAS.

Hasil perhitungan HSS Limantara disajikan pada Tabel 4 untuk DAS Sidutan dan Tabel 5 untuk DAS Reak, serta perbandingannya terhadap HSO disajikan pada Gambar 4.

2.2.3 Metode ITB2

Beberapa komponen penting pembentuk hidrograf satuan sintesis dalam analisis HSS ITB antara lain:

1. Kedalaman dan durasi hujan satuan. Umumnya kedalaman dan durasi hujan satuan yang digunakan adalah 1 mm dengan durasi 1 jam. Sebenarnya bisa juga menggunakan durasi lain asal tetap dinyatakan dalam satuan jam, misal durasi 1/2 jam, 1/6 jam, dan sebagainya. Jika memang diinginkan untuk menggunakan interval waktu 1/2 jam, maka hujan setiap jam harus didistribusikan dalam interval 1/2 jam dengan cara dibagi dua, begitu juga jika diinginkan interval waktu yang lain.
2. Time lag (T_L), Waktu puncak (T_p) dan Waktu dasar (T_b)
3. Bentuk hidrograf satuan, dan
4. Debit puncak hidrograf satuan

Persamaan yang digunakan dalam metode ITB 2 adalah sebagai berikut (Natakusumah et al., 2011):

Debit puncak:

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \dots\dots\dots (19)$$

Lengkung naik, ($0 \leq t \leq 1$); $q(t) = t^\alpha$

Lengkung turun, ($t > 1 \text{ s/d } \sim$); $q(t) = \exp\{2 - t^{\beta C_p}\}$ dimana $t = T/T_p$ dan $q = Q/Q_p$, keduanya adalah waktu dan debit yang dinormalkan. Nilai t berkisar antara 0 dan 1, dan q berharga antara 0 hingga \sim atau bernilai antara 0 dan 10 jika $T_b/T_p = 10$.

Time lag dapat dihitung menggunakan cara Nakayasu, Snyder, SCS maupun USGS. Namun dalam penelitian ini *timelag* dihitung menggunakan cara Nakayasu, dengan persamaan:

$$T_L = C_t \begin{cases} 0.21 L & (L < 15 \text{ km}) \\ 0.527 + 0.058 L & (L \geq 15 \text{ km}) \end{cases} \dots\dots\dots (20)$$

Dalam penjelasannya, Natakusumah menjelaskan bahwa koefisien 0.48 yang biasa digunakan dalam rumus tersebut telah dikoreksi menjadi 0.527 untuk membuat kedua segmen tersebut tidak terputus (Natakusumah et al., 2011)

Waktu puncak; $T_p = T_L + 0.50 T_r$ (21)

Waktu dasar; $T_b = \frac{8}{3} T_p$ untuk DAS kecil luas < 2km², sedangkan pada DAS ukuran sedang dan besar secara teori harga T_b dapat mencapai tak terhingga (seperti pada cara Nakayasu), namun prakteknya T_b dapat dibatasi saat lengkung turun sudah mendekati nol, atau dapat juga ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$T_b = (10 \text{ s/d } 20) T_p$ (22)

Dimana: Q_p = debit puncak hidrograf satuan (m³/detik); R = curah hujan satuan (1 mm); T_p = waktu puncak (jam); A_{DAS} = luas DAS (km²); A_{HSS} = luas HSS tak berdimensi yang dapat dihitung secara *exact* atau secara numerik; T_L = *time lag* (jam); C_t = koefisien waktu; L = panjang sungai (km); T_p = waktu mencapai puncak (jam); T_L = *time lag* (jam), T_r = durasi hujan (jam); T_b = waktu dasar (jam)

Koefisien C_t dibutuhkan untuk kalibrasi nilai T_p . Harga C_t standar adalah 1.0. Jika T_p perhitungan < T_p pengamatan, maka diambil $C_t > 1.0$ supaya nilai T_p membesar. Jika T_p perhitungan > T_p pengamatan, maka diambil $C_t < 1.0$ supaya T_p mengecil. Proses ini diulang hingga T_p perhitungan mendekati nilai T_p pengamatan. Dengan konsep yang sama dengan C_t , koefisien C_p digunakan untuk mengkalibrasi Q_p

Sedangkan penentuan HSO dilakukan dengan menurunkan hidrograf satuan hasil pengamatan dari beberapa kejadian banjir yang kemudian dirata-ratakan. Penurunan hidrograf satuan dilakukan dengan metode polinomial.

Selanjutnya HSS ketiga metode dibandingkan dengan HSO, dan dilakukan analisis simpangan dari dua parameter pokok hidrograf yaitu debit puncak (Q_p) dan waktu mencapai puncak (T_p). Pada tahap ini penyimpangan dilihat dari nilai RMSE (*Root Mean Square Errors*) dan NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor bentuk (*Shape Factor/SF*) DAS Sidutan dan DAS Reak dihitung dan diklasifikasikan mengikuti kriteria seperti disajikan pada Tabel 1.

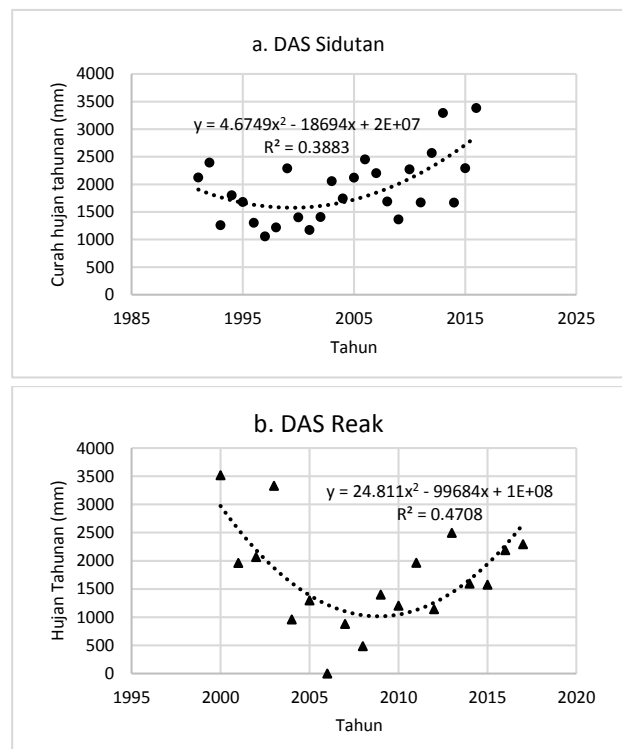
Tabel 1. Klasifikasi Bentuk DAS

No	Nilai bentuk DAS	Kelas bentuk DAS
1	< 0.5	Memanjang
2	>0.5	Membulat

Berdasarkan data geometri sungai yang ada diperoleh angka faktor bentuk sungai Sidutan sebesar 0.16 dan sungai Reak memiliki Faktor bentuk 0.076. Angka rasio yang kecil ini menunjukkan bahwa kedua DAS ini memiliki bentuk memanjang.

Selain memilih DAS yang berbentuk hampir sama, pemilihan DAS juga mempertimbangkan kondisi hidrologisnya, dimana pada penelitian ini kondisi hidrologis kedua DAS dinilai dari informasi hujan tahunan dan kecenderungannya. Data yang terkumpul kedua DAS memiliki hujan tahunan yang tidak jauh berbeda dan memiliki kecenderungan yang juga hampir sama. Hal itu sangat wajar, mengingat lokasi kedua DAS yang berdekatan sehingga memiliki kondisi hidrologis yang juga hampir sama.

Berdasarkan data yang diperoleh, DAS Sidutan memiliki hujan tahunan rerata sebesar 1918mm/tahun, sedangkan DAS Reak sebesar 1687 mm/tahun. Data hujan dan kecenderungannya tersebut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Data Hujan Rerata Tahunan DAS Sidutan dan DAS Reak

Data yang ada kemudian dilakukan pengujian konsistensi datanya. Data yang dinyatakan konsisten kemudian dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Hasil uji konsistensi data hujan kedua DAS disajikan pada Tabel 2.

Hasil uji konsistensi data hujan menunjukkan bahwa data hujan yang ada telah konsisten dan selanjutnya dapat dipergunakan dalam analisis.

Tabel 2. Hasil Uji Konsistensi Data Hujan

Nilai dari	Santong	Sopak
$\frac{Q}{\sqrt{n}}$	1.383	1.109
$\frac{Q}{\sqrt{n}}$ tabel	1.472	1.360
$\frac{R}{\sqrt{n}}$	1.670	1.644
$\frac{R}{\sqrt{n}}$ tabel	1.584	1.569
Kesimpulan	Konsisten	konsisten

3.1 Analisis Hidrograf Satuan Observasi (HSO)

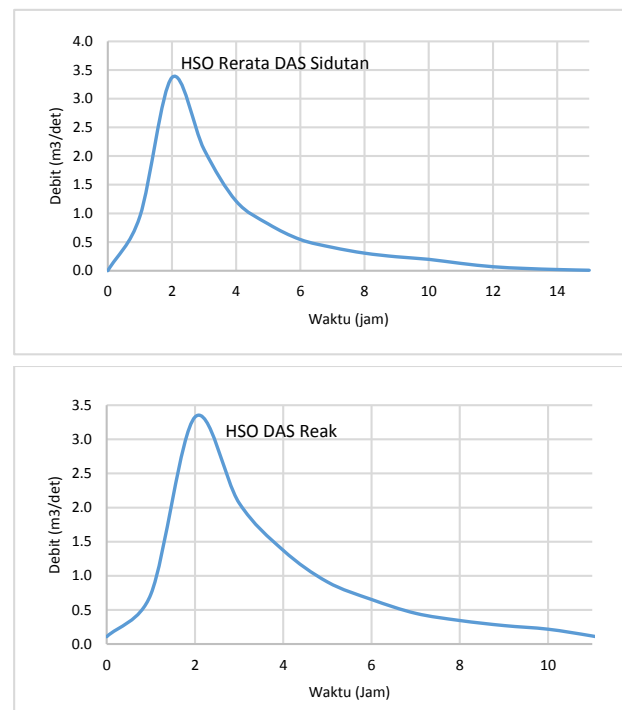
Analisis HSO diturunkan dari data record banjir pada beberapa tanggal kejadian pada tahun yang berbeda. Pengambilan tanggal kejadian banjir mempersyaratkan bahwa kejadian banjir yang dipilih adalah kejadian banjir yang *isolated* dengan *single peak* serta memiliki volume cukup besar. Setelah penurunan HSO dari setiap kejadian banjir dilakukan, maka seluruh HSO tersebut dirata-ratakan untuk mendapatkan HSO rerata yang dianggap mewakili karakteristik hidrograf DAS tersebut.

Sejauh ini tidak ditemukan panduan berupa kejadian banjir yang diperlukan untuk mendapatkan HSO rerata yang paling ideal. Sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan pembatasan jumlah kejadian banjir dengan harapan makin banyak data banjir yang digunakan, makin banyak pula karakteristik hujan dan kondisi fisik DAS yang bersifat dinamis yang terwakili. Kondisi fisik DAS yang cukup dinamis dalam hal ini seperti tingkat kekeringan tanah, jenis vegetasi dan penggunaan lahan secara umum, utamanya pada tanah terolah yang ditanami tanaman musiman. Dimana pada kondisi tingkat kekeringan tanah yang berbeda pada penggunaan lahan yang berbeda, diyakini memberikan respon yang berbeda untuk masukan hujan yang sama.

Penelitian ini melibatkan jumlah hidrograf banjir yang berbeda tergantung banyaknya kejadian banjir yang memenuhi kriteria. DAS Sidutan berhasil mengumpulkan sebanyak 66 kejadian banjir yang sesuai kriteria yang terjadi antara 2011-2016 untuk DAS Sidutan, dan untuk DAS Reak menggunakan 11 data kejadian banjir yang terjadi antara tahun 2013-2017. Perataan yang dilakukan adalah dengan meratakan besaran nilai puncak dan waktu mencapai puncak. Sedangkan nilai debit pada koordinat jam yang lain dilakukan penyesuaian seperlunya hingga diperoleh volume limpasan totalnya sebesar 1 m^3 sebagaimana konsep dari hidrograf satuan itu sendiri.

Hasil dari perataan hidrograf satuan observasi (HSO) dari DAS Sidutan dan DAS Reak disajikan pada Gambar 3. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa hidrograf satuan pengamatan (HSO) kedua DAS memiliki bentuk yang hampir sama. Debit HSO rerata yang

diturunkan dari beberapa kejadian banjir pada kedua DAS memiliki memiliki debit puncak yang berbeda tipis, dimana Q puncak (*Peak discharge*/ Q_p) DAS Sidutan sebesar $3.37 \text{ m}^3/\text{det}$ dan Q puncak DAS Reak $3.33 \text{ m}^3/\text{det}$. Hal ini wajar karena DAS Sidutan memiliki luas yang lebih besar dibanding DAS Reak, meski debit puncak yang dihasilkan HSO-nya tidak berbanding lurus terhadap peningkatan luas DASnya. Hal ini memungkinkan karena pada DAS yang besar diyakini lebih banyak hambatan bagi perjalanan air menuju outlet sehingga debit puncak cenderung menjadi lebih rendah, seperti cekungan alamiah atau yang sejenisnya (Harto, 1999).



Gambar 3. Hidrograf Satuan Observasi (HSO) DAS Sidutan dan DAS Reak

Lama waktu mencapai puncak (*Time peak*/ T_p) pada HSO hasil perataan yang terjadi juga dicapai dalam waktu yang hampir sama yaitu pada DAS Sidutan jam puncak dicapai dalam 2.12 jam dan waktu puncak pada DAS Reak 1.92 jam. Untuk penyederhanaan penyajiannya maka T_p pada HSO rerata dibulatkan menjadi 2 jam. Pencapaian waktu puncak yang hampir sama diindikasikan disebabkan oleh faktor panjang sungai utama kedua DAS yang hampir sama sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menjangkau titik outlet juga hampir sama, meskipun luas DASnya berbeda.

Waktu dasar hidrograf (*Time base*/ T_b) diartikan sebagai waktu yang dibutuhkan DAS untuk menghabiskan limpasan air dalam DAS akibat suatu kejadian hujan. Hasil perataan HSO dari kedua DAS menunjukkan adanya perbedaan. Dimana pada DAS Sidutan yang lebih luas memiliki debit yang lebih besar dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk

menghabiskan limpasan air akibat hujan. Sehingga HSO dari DAS Sidutan memiliki waktu dasar yang lebih lama yaitu 15 jam sedangkan waktu dasar DAS Reak 12 jam.

3.2 Analisis Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

Beberapa data teknis yang dibutuhkan dalam pembuatan HSS kedua DAS disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Teknis untuk Input Analisis HSS

HSS	Komponen	DAS	
		Sidutan	Reak
Data DAS	Panjang sungai (km)	37.72	23.66
	Luas DAS (km ²)	17.489	15.04
	Koefisien pengaliran	0.165	0.12
Nakayasu	α	1.698	1.618
	S	0.06	0.05
Limantara	Lc	10.29	5.99
	n	0.07	0.04
ITB 2	Ct	0.98	1.5
	Cp	0.9	0.9

Hasil perhitungan HSS Nakayasu, HSS Limantara dan HSS ITB 2 disajikan pada Tabel 4 untuk DAS Sidutan dan Tabel 5 untuk DAS Reak. Sedangkan perbandingan ketiga HSS terhadap HSO disajikan pada Gambar 4.

Tabel 4. Hidrograf Satuan Sintetik untuk DAS Sidutan

Jam	HS (m ³ /det)		
	Nakayasu	Limantara	ITB2
0	0.00	0.00	0.00
1	0.66	0.88	0.68
2	3.50	1.90	2.42
3	2.12	1.27	1.52
4	1.28	0.85	0.87
5	0.78	0.57	0.59
6	0.61	0.38	0.39
7	0.44	0.25	0.29
8	0.31	0.17	0.22
9	0.22	0.11	0.18
10	0.19	0.08	0.14
11	0.15	0.05	0.09
12	0.12	0.03	0.05
13	0.09	0.02	0.03
14	0.07	0.02	0.02
15	0.05	0.01	0.01
16	0.04	0.01	0.00
17	0.03	0.00	0.00
18	0.03	0.00	0.00

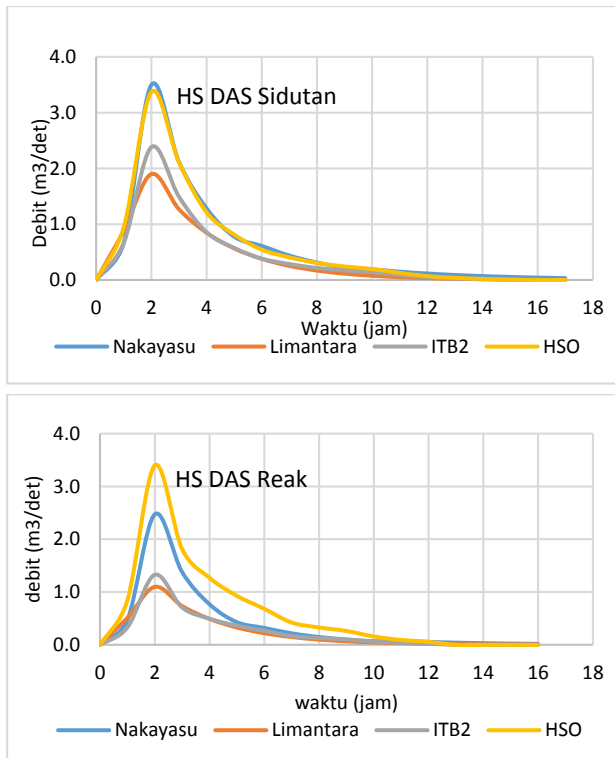
Tabel 5. Hidrograf Satuan Sintetik untuk DAS Reak

Jam	HS (m ³ /det)		
	Nakayasu	Limantara	ITB2
0	0.00	0.00	0.00
1	0.47	0.51	0.33
2	2.47	1.10	1.33
3	1.38	0.73	0.71
4	0.77	0.49	0.50
5	0.43	0.33	0.36
6	0.32	0.22	0.27
7	0.22	0.15	0.17
8	0.15	0.10	0.13
9	0.10	0.07	0.10
10	0.07	0.04	0.06
11	0.07	0.03	0.04
12	0.05	0.02	0.02
13	0.04	0.01	0.00
14	0.03	0.01	0.00
15	0.02	0.01	0.00
16	0.02	0.00	0.00
17	0.01	0.00	0.00
18	0.01	0.00	0.00

Dari hasil perhitungan ketiga metode hidrograf satuan sintetik yang diaplikasikan pada DAS Sidutan dan DAS Reak, nilai yang menjadi perhatian adalah besaran debit puncak (Qp), waktu mencapai puncak (Tp) dan waktu dasar hidrograf (Tb). Hasil perhitungan yang diperoleh memperlihatkan bahwa HSS Nakayasu memiliki nilai ordinat debit puncak paling tinggi dibandingkan debit puncak yang dihasilkan metode HSS Limantara maupun HSS ITB2.

Dari hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4 dan 5 serta Gambar 4 dapat dilihat secara visual bahwa HSS yang dihasilkan metode Nakayasu memiliki nilai debit puncak yang paling mendekati nilai debit puncak hidrograf satuan pengamatan (HSO) pada kedua DAS yang diujikan. Setelah HSS Nakayasu, debit puncak hidrograf satuan sintetik kedua yang lebih mendekati adalah dari metode HSS ITB2 lalu kemudian HSS Limantara.

Pada perhitungan waktu puncak, ketiga persamaan HSS mengacu pada rumus yang sama yaitu rumus Tp dari HSS Nakayasu. Pada HSS Limantara tidak ada modifikasi terhadap rumusnya sedangkan pada HSS ITB2 dilakukan koreksi pada koefisien yang digunakan pada sungai yang panjang melebihi 15 km. Dari hasil perhitungannya, baik DAS Sidutan maupun DAS Reak memiliki nilai Tp yang hampir sama. Hal ini karena kedua DAS memiliki panjang sungai utama yang hampir sama, dimana parameter panjang sungai adalah merupakan faktor dari sifat fisik DAS yang menentukan lamanya waktu mencapai puncak. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai Qp, Tp dan Tb dari ketiga model disajikan pada Tabel 6.



Gambar 4. Perbandingan HSS Nakayasu, Limantara dan ITB2 terhadap HSO

Tabel 6. Nilai Parameter Hidrograf dari HSS Nakayasu, Limantara dan ITB2

	Qp	Tp	Tb
<u>DAS Sidutan</u>			
HSO	3.37	2.00	15
Nakayasu	3.50	1.98	>24
Limantara	1.90	2.26	16
ITB2	2.38	2.12	15
<u>DAS Reak</u>			
HSO	3.33	2.00	12
HSS Nakayasu	2.47	1.78	>24
HSS Limantara	1.10	2.04	15
HSS ITB2	1.33	2.33	12

Bagian akhir dari tulisan ini melakukan pengujian terhadap kesesuaian ketiga HSS yang diuji jika dibandingkan dengan HSO, menggunakan parameter NSE (*Nash Sutcliffe Efficiency*) dan nilai RE. Hasil evaluasinya disajikan pada Tabel 7.

Dari hasil evaluasi yang dilakukan, nilai NSE yang ditunjukkan ketiga HSS yang diujicobakan menunjukkan bahwa ketiganya memberikan hasil yang baik yang diperlihatkan dari nilai $NSE > 0.75$ (Tabel 7). Namun dari ketiga HSS tersebut, HSS Nakayasu memiliki kedekatan yang lebih baik dibandingkan 2 HSS yang lain, dimana secara umum cenderung *underestimate* yang diperlihatkan dari RE yang bernilai negatif.

Tabel 7. Evaluasi 3 Model HSS di DAS Berbentuk Memanjang

DAS	NSE	RE Qp (%)	RE Tp (%)
<u>Sidutan</u>			
Nakayasu	0.99	3.77	-0.99
Limantara	0.77	-43.67	13.15
ITB2	0.88	-29.35	5.92
<u>Reak</u>			
Nakayasu	0.997	-25.37	-10.94
Limantara	0.991	-66.16	1.79
ITB2	0.992	-59.39	16.44

Tabel 7 juga memperlihatkan HSS Nakayasu memiliki kesesuaian lebih baik dibandingkan kedua model yang lain, dilihat dari nilai NSE. Nilai NSE tersebut menguji kedekatan seluruh ordinat hidrograf satuan terhadap hidrograf satuan pengamatan (HSO). Hanya saja Nakayasu tidak membatasi panjang waktu dasar (T_b) yang merupakan salah satu parameter pembentuk hidrograf. Meski begitu, dalam pemanfaatan konsep debit banjir rancangan yang digunakan untuk keperluan perancangan, besaran yang lebih diutamakan dan diperhatikan adalah puncak banjir (Q_p). Dan jika dilihat dari nilai debit puncak yang dihasilkan, maka pada kedua DAS yaitu Sidutan dan Reak, HSS Nakayasu tetap lebih baik dibandingkan ITB2 dan Limantara.

Selain hidrograf satuan yang dihasilkan lebih mendekati hidrograf satuan pengamatan, HSS Nakayasu juga memiliki langkah perhitungan dan persamaan yang sederhana dan kemudahan dalam pengoperasiannya. Sehingga untuk keperluan perhitungan debit banjir rencana, metode Nakayasu tetap direkomendasikan untuk diaplikasikan.

4 KESIMPULAN

Pada DAS yang berbentuk memanjang, kinerja HSS terbaik ditunjukkan oleh HSS Nakayasu, lalu ITB2, kemudian Limantara. Secara umum hidrograf satuan yang dihasilkan ketiga model HSS memiliki kecenderungan estimasi nilai debit puncak taksiran yang terlalu rendah (*underestimate*) dengan penyimpangan yang bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk Husniatiningsih dan Rr. Widyawati untuk datanya.

DAFTAR PUSTAKA

Abdaa, D., & Darfia, N. E. (2021). Analisis Debit Banjir Rencana Das Ambacang Berdasarkan Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu Dan Metode Scs. *PROSIDING SNAST*, 11–18. <https://journal.akprind.ac.id/index.php/prosidingsnast/article/view/3438>

- Agus, I., & Hadihardaja, I. K. (2011). Perbandingan Hidrograf Satuan Teoritis Terhadap Hidrograf Satuan Observasi DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 55–70. <https://fa.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/8/2011/04/5.-Indra-Agus-dkk-Vol.18-No.1.pdf>
- Amiruddin, A., Saparuddin, S., & Anasiru, T. (2020). Debit Banjir Rancangan DAS Tojo Metode HSS ITB 1. *Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil*, 4(2), 126–137. <https://doi.org/10.35334/be.v4i2.1582>
- Andiese, V. W. (2013). Pengujian Metode Hidrograf Satuan Sintetik Gama I Dalam Analisis Debit Banjir Rancangan Das Bangga. *MEKTEK*, 14(1), Article 1. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mektek/article/view/1027>
- Ginting, S. (2022). Evaluasi Penentuan Durasi Hujan Efektif (Tr) Pada Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. *Akselerasi*, 3(2).
- Handayani, R., Fauzi, M., & Hendri, A. (2016). Analisis Besaran Hidrograf Satuan Berdasarkan Karakteristik Daerah Aliran Sungai Siak, *Doctoral Dissertation*, Riau University.
- Harto, S., BR. (1993a). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama.
- Harto, S., BR. (1993b). *Hidrograf Satuan Sintetik Gama I*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Harto, S., BR. (1999). *Hidrologi, Teori, Masalah dan Penyelesaian* (Vol. 1–1). Teknik Sipil UGM.
- Iyan, E. R., Labdul, B. Y., & Husnan, R. (2022). Optimasi Koefisien Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Itb-1 Dan Itb-2 Di Sub Das Bionga Kayubulan. *Composite Journal*, 2(1), 21–27.
- Kahffi, A., & Lipu, S. (2021). Analisis Hidrograf DAS Poso dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetis Soil Conversation Service (SCS). *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 121–128.
- Limantara, L. M. (2012). Hidrograf Satuan Sintetik Limantara (Studi Kasus di Sebagian DAS di Indonesia). *Rekayasa Sipil*, 3(3), 209–226. <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/153>
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011a). *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*. 42.
- Natakusumah, D. K., Hatmoko, W., & Harlan, D. (2011b). *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(3), 251–291. <https://doi.org/10.5614/jts.2011.18.3.6>
- Siby, E. P., Kawet, L., & Halim, F. (2013). Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik Pada Daerah Aliran Sungai Ranoyapo. *Jurnal Sipil Statik*, 1(4), Article 4. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/1389>
- Subramanya, K. (1984). *Engineering Hydrology*. McGraw-Hill.
- Sutapa, I. W. (2005). *Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan Di Daerah Aliran Sungai Kodina*. 1, 6.
- Syahroni, M. (2021). Peak Debit Analysis Using Synthetic Unit Hydrographic Method Itb 1 And Hec-Ras Version 5.0.7 (Case Study of Manna Downstream watershed). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 17–24. <https://doi.org/10.33369/ijts.13.1.17-24>
- Triono, N. D. (2010). *Kajian Hubungan Geomorfologi DAS dan Karakteristik Hidrologi*.