

KOMPARASI MODEL HIDROGRAF SATUAN TERUKUR DENGAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIS (STUDI KASUS DAS TUKAD PAKERISAN)

**Ayub Benny Kristianto, I Nyoman Norken, I Gusti Bagus Sila Dharma,
dan Mawiti Infantri Yekti**

*Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana
Email: ayubbenny.abk@gmail.com*

ABSTRAK

Beberapa metode dan model Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) telah dikembangkan untuk membantu dalam proses analisis hidrologi dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Metode tersebut antara lain Snyder, Nakayasu, GAMA I, Limantara dan ITB. Metode HSS banyak digunakan oleh para praktisi dalam menghitung debit banjir, tanpa mengetahui penyimpangan metode-metode tersebut apabila dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur pada suatu DAS. Hal ini menyebabkan model HSS memberikan hasil yang overestimated atau underestimated terhadap hidrograf satuan terukur. Untuk itu diperlukan komparasi model-model HSS guna mengetahui besar penyimpangan masing-masing model, dan apabila diperlukan dilakukan penyesuaian koefisien model HSS sehingga didapatkan model HSS yang mendekati hidrograf satuan terukur pada suatu DAS. Penelitian komparasi beberapa HSS dan hidrograf satuan terukur dilakukan pada DAS Tukad Pakerisan di Kab. Gianyar-Bali. Komparasi hidrograf satuan terukur pada DAS tersebut dengan model HSS Snyder, Nakayasu, GAMA I, Limantara, ITB-1 dan ITB-2 memberikan hasil yang menyimpang cukup signifikan. Penyimpangan ini ditunjukkan pada tiga parameter hidrograf satuan yang meliputi debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p), dan waktu dasar (T_b). Model HSS Snyder dengan penyesuaian koefisien $C_t = 0.800$ dan $C_p = 1.052$ sangat mendekati hidrograf satuan terukur DAS Tukad Pakerisan dengan besar penyimpangan kurang dari 5%.

Kata kunci: hidrograf satuan terukur, hidrograf satuan sintetik, daerah aliran sungai

COMPARATIVE MODEL OF MEASURED UNIT HYDROGRAPH WITH SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH (CASE STUDY OF TUKAD PAKERISAN WATERSHED)

ABSTRACT

Several methods and models of Synthetic Unit Hydrograph (SUH) have been developed to assist in the process of hydrological analysis within a Watershed. These methods include Snyder, Nakayasu, GAMA I, Limantara and ITB. The SUH methods are widely used by practitioners in calculating flood discharge, without knowing the deviations of these methods when compared to measured unit hydrographs in a watershed. This causes the SUH models give an overestimated or underestimated results to the measured unit hydrograph. Therefore, comparative SUH models are needed to determine the deviation of each model, and if necessary adjust the coefficient of the SUH model so that the SUH model approached the measured unit hydrograph in a watershed. Comparative studies of several SUH and measured unit hydrograph were performed on the Tukad Pakerisan watershed in Gianyar Regency-Bali. The measurable unit hydrograph comparisons on the watershed with the SUH Snyder, Nakayasu, GAMA I, Limantara, ITB-1 and ITB-2 models have significantly deviated results. This deviation is shown in three unit hydrograph parameters which include peak discharge (Q_p), peak time (T_p), and base time (T_b). The SUH Snyder model with adjustment coefficient $C_t = 0.800$ and $C_p = 1.052$ very close to measured unit hydrograph of Tukad Pakerisan watershed with deviation less than 5%.

Keywords: measured unit hydrograph, synthetic unit hydrograph, watershed

1. PENDAHULUAN

Masing-masing model Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) pada dasarnya hanya berlaku pada Daerah Aliran Sungai (DAS) tertentu, yakni pada DAS di mana HSS tersebut secara empirik diteliti atau dirumuskan (Kamiana, 2010). Hingga saat ini sudah banyak dilakukan penelitian mengenai komparasi beberapa model hidrograf satuan

sintetik terhadap hidrograf satuan terukur, dengan tujuan didapat model yang sesuai untuk suatu DAS dengan kondisi morfometrinya.

DAS Tukad Pakerisan merupakan satu-satunya daerah kawasan Cagar Budaya di Kabupaten Gianyar dan telah ditetapkan sebagai salah satu Warisan Budaya Dunia (WBD) oleh *UNESCO*. Pada bagian hulu dan tengah DAS Tukad Pakerisan merupakan lahan perkebunan dan sawah, sedangkan bagian hilir adalah kawasan pemukiman penduduk. Keterbatasan data debit DAS Tukad Pakerisan (< 20 tahun), mengakibatkan tidak dimungkinkan apabila dilakukan perhitungan debit banjir menggunakan metode analisis probabilitas. Sehingga metode yang disarankan adalah menghitung debit banjir rencana dengan metode hidrograf satuan (Sartivana, 2017). Dalam analisis hidrologi DAS Tukad Pakerisan, metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) banyak digunakan oleh para praktisi dalam menghitung debit banjir, tanpa mengetahui penyimpangan HSS tersebut apabila dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur pada DAS Tukad Pakerisan. Hal ini menyebabkan model HSS memberikan hasil yang *overestimated* atau *underestimated* terhadap hidrograf satuan terukurnya. Oleh karena itu diperlukan komparasi model-model HSS guna mengetahui besar penyimpangan masing-masing model dan apabila diperlukan kemudian dilakukan penyesuaian koefisien model HSS sehingga didapatkan model HSS yang mendekati hidrograf satuan terukur pada DAS Tukad Pakerisan.

2. HIDROGRAF SATUAN

Hidrograf satuan merupakan suatu metode hidrologi yang banyak digunakan untuk menaksir banjir rancangan (*design flood*). Hidrograf satuan ada yang berupa hidrograf satuan terukur yaitu hidrograf satuan hasil penurunan data hujan dan debit. Data hujan didapat dari stasiun pada alat pencatat hujan, misalnya *Automatic Rainfall Recorder* (ARR). Sedangkan data debit didapat dari alat pencatat debit, misalnya *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Apabila data hujan dan debit tidak cukup tersedia, maka penurunan hidrograf satuan dilakukan dengan cara sintetik, hasilnya berupa hidrograf satuan sintetik (HSS).

2.1 Hidrograf Satuan Terukur

Untuk menurunkan hidrograf satuan dari hidrograf terukur yang dibangkitkan oleh hujan efektif tunggal diperlukan data hujan dan debit aliran yang berkaitan. Langkah-langkah penurunan hidrograf satuan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

1. Digambar hidrograf akibat pengaruh hujan yang terjadi. Dilakukan pemisahan aliran dasar, sehingga diperoleh hidrograf aliran langsung (HAL).
2. Dihitung volume aliran permukaan, yaitu luasan dibawah Hidrograf Aliran Langsung (HAL). Volume aliran tersebut kemudian dibagi luas DAS sehingga menghasilkan kedalaman aliran.
3. Ordinat dari HAL dibagi dengan kedalaman aliran, sehingga menghasilkan hidrograf satuan.

2.2 Model HSS Snyder

Snyder membuat model hidrograf satuan sintetik sebagai berikut:

$$t_p = C_t (L L_c)^{0,3} \dots\dots\dots (1)$$

$$t_D = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_p = \frac{C_p \cdot A}{t_p} \dots\dots\dots (3)$$

$$T = 3 + \frac{t_p}{8} \dots\dots\dots (4)$$

Apabila durasi hujan efektif t_r tidak sama dengan durasi standar t_D , maka:

$$t_{pR} = t_p + 0.25(t_r - t_D) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_{pR} = Q_p \frac{t_p}{t_{pR}} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

- t_D = durasi standar dari hujan efektif (jam)
- t_r = durasi hujan efektif (jam)
- t_p = waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_D ke puncak hidrograf satuan (jam)
- t_{pR} = waktu dari titik berat durasi hujan t_r ke puncak hidrograf satuan (jam)
- Q_p = debit puncak untuk durasi t_D ($m^3/detik$)
- Q_{pR} = debit puncak untuk durasi t_r ($m^3/detik$)

- C_t = besar koefisien C_t berkisar antara 0,70 sampai 3,00
- C_p = besar koefisien C_t berkisar antara 0,90 sampai 1,40

2.3 Model HSS Nakayasu

Perhitungan hidrograf satuan sintetis ini dikembangkan oleh Nakayasu. Hidrograf satuan sintetis Nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan dari hidrograf satuan alami yang berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di Jepang.

Rumusan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$T_g = 0.4 + 0.058L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots (7)$$

$$T_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \dots\dots\dots (8)$$

$$T_p = T_g + 0.8 t_r \dots\dots\dots (9)$$

dimana:

T_p = peak time (jam)

T_g = time lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)

T_r = satuan waktu curah hujan (jam)

L = panjang sungai

$$Q_p = \frac{A \cdot Re}{3.6(0.3T_p + T_{0.3})} \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

Q_p = debit puncak banjir (m^3/det)

Re = hujan efektif satuan (1 mm)

T_p = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

A = luas daerah pengaliran sampai outlet

$T_{0.3}$ = waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30%

$(T_{0.3} = \alpha T_g)$

α = parameter hidrograf, dimana

$\alpha = 2.0 \rightarrow$ pada daerah pengaliran biasa

2.4 Model HSS GAMA I

HSS GAMA-1 diteliti dan dikembangkan berdasarkan perilaku 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto. Bagian-bagian dari HSS GAMA-1 adalah bagian naik, puncak dan bagian turun. Unsur-unsur HSS GAMA-1 meliputi: waktu puncak (T_r), debit puncak (Q_p) dan waktu dasar (T_b).

Rumus-rumus yang digunakan dalam menurunkan HSS GAMA-1 adalah sebagai berikut (Natakusumah, 2014):

a) Waktu Puncak (T_p)

Rumusan waktu naik/time to rise (T_p) dalam satuan jam yang digunakan

adalah: $T_r = 0.43x \left(\frac{L}{100xSF} \right)^3 + 1.0665xSIM + 1.2775 \dots\dots\dots (11)$

b) Waktu Dasar (T_b)

Rumusan waktu dasar/time to base (T_b) dalam satuan jam yang digunakan adalah:

$$T_b = 27.4132xT_r^{0.1457} xS^{-0.0986} xSN^{0.7344} xRUA^{0.2574} \dots\dots\dots (12)$$

c) Debit Puncak/Peak Discharge (Q_p)

Debit puncak/peak discharge (Q_p) dalam satuan m^3/dt adalah sebagai berikut:

$$Q_p = 0.1836xA^{0.5886} xT_r^{-0.4008} xJN^{0.2381} \dots\dots\dots (13)$$

d) Bentuk Hidrograf Satuan

- Lengkung naik ($0 \leq T \leq T_p$)

$$Q_t = Q_p x T$$

- Lengkung turun ($T_p \leq T \leq T_b$)

$$Q_t = Q_p x e^{(t/K)}$$

K = koefisien tampungan dalam satuan jam yang digunakan untuk menetapkan kurva resesi didekati dengan persamaan eksponensial seperti berikut:

$$K = 0.561xA^{0.1793} xS^{-0.1146} xSF^{-1.0897} xD^{0.0452}$$

e) Parameter Morfometri DAS

Parameter morfometri DAS yang diperlukan dalam membuat hubungan antara pengalirragaman data hujan menjadi debit adalah sebagai berikut:

- L = panjang sungai utama mulai dari outlet sampai hulu (km),
- S = kemiringan memanjang dasar sungai,
- JN = jumlah pertemuan sungai JN = (Σ sungai orde 1)-1,
- SF = jumlah panjang sungai orde 1 dibagi dengan jumlah panjang sungai semua orde,
- D = kerapatan drainase DAS yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat setiap satuan luas (km/km²),
- A = luas total DAS (km²),
- RUA= AU/A (Relative Upstream Area) yaitu perbandingan luas DAS sebelah hulu dan luas DAS,
- WF = faktor lebar,
- SIM = *Symmetry factor* merupakan parameter bentuk DAS (SIM=WF x RUA).

2.5 Model HSS Limantara

Hidrograf Satuan Sintetis Limantara merupakan HSS asal Indonesia, ditemukan berdasarkan penelitian oleh Montarich pada tahun 2006 di sebagian Indonesia: 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).

Pembuatan model HSS Limantara didasarkan pada lima (5) karakteristik fisik DAS, yaitu luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai dari outlet sampai titik berat DAS (Lc), kemiringan dasar sungai (S) dan koefisien kekasaran (n).

$$Q_p = 0,042 \cdot A^{0,451} \cdot L^{0,497} \cdot Lc^{0,356} \cdot S^{-0,131} \cdot n^{0,168} \dots\dots\dots (14)$$

dengan:

- Qp = Debit Puncak (m³/dt),
- A = luas daerah aliran sungai,
- Lc = panjang sungai dari outlet sampai titik berat DAS (km),
- n = koefisien kekasaran DAS,
- 0,042 = koefisien konversi satuan

$$Q_n = Q_p \cdot \left(\frac{t}{T_p} \right)^{1,107} \dots\dots\dots (15)$$

dengan:

- Qn = debit pada persamaan kurva naik (m³/dt/mm)
- t = waktu hidrograf (jam)
- Tp = waktu capai puncak hidrograf (jam)

$$Q_t = Q_p \cdot 10^{0,175(T_p - t)} \dots\dots\dots (16)$$

dengan:

- Qt = debit pada persamaan kurva turun (m³/dt/mm)
- 0.175 = koefisien untuk konversi satuan (dt⁻¹)

$$T_g = 0.4 + 0.058L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots (17)$$

$$T_g = 0.21 L^{0.7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots (18)$$

$$T_p = T_g + 0.8 tr \dots\dots\dots (19)$$

$$T_r = 0,5 tg \text{ sampai } tg \dots\dots\dots (20)$$

dimana:

- Tp = *peak time* (jam)
- Tg = *time lag* yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)
- Tr = satuan waktu curah hujan (jam)
- L = panjang sungai

2.6 Model HSS ITB

Untuk HSS ITB-1 rumusan time lag yang digunakan adalah rumus Snyder (dalam hal ini Lc = 1/2 L dan n=0.3).

$$T_L = Ct \cdot 0.81225 \cdot L^{0.6} \dots\dots\dots (21)$$

Sedang untuk HSS ITB-2 rumusan time lag yang digunakan adalah

$$T_L = Ct \cdot (0.0394 \cdot L + 0.201 \cdot L^{0.5}) \dots\dots\dots (22)$$

dimana:

- T_L = *time lag* (jam)
- C_t = koefisien penyesuaian waktu
- L = panjang sungai (km)

Waktu puncak HSS ITB-1 didefinisikan sebagai berikut:

$$T_p = T_L + 0.50 \cdot T_r \dots\dots\dots (23)$$

Waktu puncak HSS ITB-2 didefinisikan sebagai berikut:

$$T_p = 1.6 \cdot T_L \dots\dots\dots (24)$$

Selanjutnya waktu dasar Hidrograf Satuan (T_b) didefinisikan sampai harga tak berhingga ($T_b=\infty$), namun untuk perhitungan praktis (T_b) dibatasi antara 10 s/d 20. T_b dalam penelitian ini harga yang digunakan adalah:

$$T_b = 20 \cdot T_p \dots\dots\dots (25)$$

HSS ITB-1 memiliki persamaan bentuk dasar yang dinyatakan dengan satu persamaan berikut:

$$q(t) = \left\{ t \cdot e^{(1-t)} \right\}^{\alpha \cdot C_p} \quad (t > 0 \text{ s/d } \infty) \quad \alpha = 3.700 \dots\dots\dots (26)$$

HSS ITB-2 memiliki persamaan bentuk dasar yang dinyatakan dengan dua persamaan yaitu persamaan lengkung naik dan lengkung turun:

$$\text{Lengkung naik: } q(t) = t^\alpha \quad (0 \leq t \leq 1) \quad \alpha = 2.400 \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{Lengkung turun: } q(t) = e^{(1-t)^\beta \cdot C_p} \quad (t > \text{s/d } \infty) \quad \beta = 0.880 \dots\dots\dots (28)$$

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \cdot \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \dots\dots\dots (29)$$

$$A_{HSS} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (T_{i+1} - T_i) \cdot (Q_{i+1} + Q_i) \dots\dots\dots (30)$$

Atau bisa juga dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$Q_p = \frac{K_p \cdot A_{DAS} \cdot R}{T_p} \dots\dots\dots (31)$$

dimana:

R = curah hujan satuan (1.0 mm)

Q_p = debit puncak hidrograf satuan (m^3/dt)

T_p = waktu mencapai puncak (jam)

A_{DAS} = luas DAS (km^2)

A_{HSS} = luas kurva hidrograf satuan tak berdimensi (*dimensionless unit*

hydrograph) yang bisa dihitung secara eksak atau secara numerik. Selanjutnya Harga *Peak Rate factor* dihitung sebagai berikut:

$$K_p = \frac{1}{(3.6 \times A_{HSS})} = \text{peak rate faktor } (\text{m}^3/\text{dt}/\text{km}^2/\text{mm}) \dots\dots\dots (32)$$

Volume limpasan dihitung sebagai dengan cara sebagai berikut:

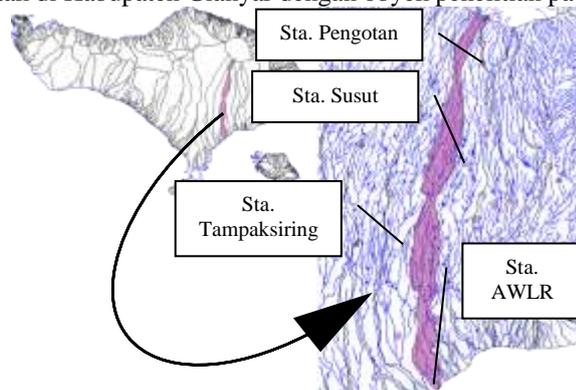
$$V_i = \frac{3600}{2} (Q_i + Q_{i+1}) \cdot (T_{i+1} - T_i) \dots\dots\dots (33)$$

3. METODE

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dalah sebagai berikut:

a. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kabupaten Gianyar dengan obyek penelitian pada DAS Tukad Pakerisan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian, DAS Tukad Pakerisan (sumber:Peta GIS Bakosurtanal)

- b. Pengumpulan Data
Data yang dikumpulkan berupa peta topografi DAS Tukad Pakerisan, data hujan, data debit
- c. Analisis Data
Data hujan harian pada stasiun hujan dibuat pola distribusi hujan. Digunakan metode *Poligon Thiessen* untuk perhitungan hujan wilayah. *Rating Curve* digunakan untuk menghitung debit terukur dari data AWLR (Pratomo, dkk. 2014).
- d. Grafik hidrograf satuan terukur
Menggambarkan model hidrograf satuan terukur yang dipengaruhi oleh data hujan wilayah dan data debit.
- e. Menghitung hidrograf satuan sintesis (HSS)
Mengumpulkan parameter yang akan digunakan dan dihitung menggunakan metode Snyder, Nakayasu, GAMA-1, Limantara dan ITB.
- f. Komparasi Model (Kalibrasi Model)
Komparasi dilakukan dengan menggunakan analisis grafis. Langkah selanjutnya menghitung persentase perbedaan dari masing-masing model hidrograf terhadap hidrograf satuan terukurnya dengan rumusan sebagai berikut (Syafudin, 2014):
 - 1) Persentase perbedaan nilai debit puncak (Qp)

$$\frac{Q_{P\text{ model}} - Q_{p\text{ terukur}}}{Q_{p\text{ terukur}}} \times 100\%$$
 - 2) Persentase perbedaan nilai waktu puncak (Tp)

$$\frac{T_{P\text{ model}} - T_{p\text{ terukur}}}{T_{p\text{ terukur}}} \times 100\%$$
 - 3) Persentase perbedaan nilai waktu dasar (Tb)

$$\frac{T_{b\text{ model}} - T_{b\text{ terukur}}}{T_{b\text{ terukur}}} \times 100\%$$
- g. Program Linier dengan Menggunakan *Solver*
Pengertian program linier yaitu perencanaan kegiatan-kegiatan untuk mencapai hasil optimum (maksimal atau minimal), yaitu hasil yang mencerminkan tercapainya sasaran tertentu yang paling baik sesuai model matematis (Budianto, 2013).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

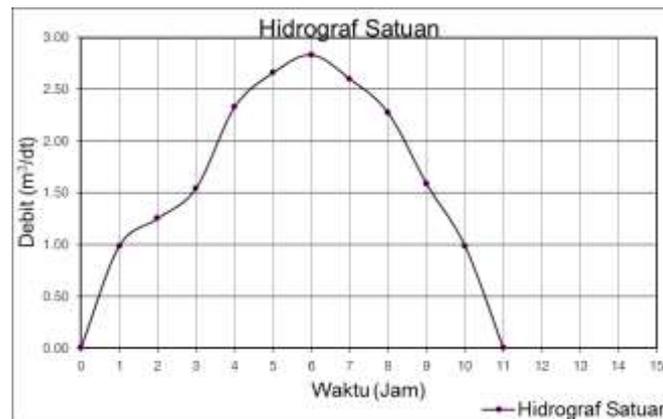
4.1 Perhitungan Debit Banjir dengan Hidrograf Satuan Terukur

Pada penelitian ini akan digunakan data pada tanggal 26 Maret 2005 karena tersedia data berupa pasangan data hujan dan debit terukur yang cukup lengkap. Data debit terukur dicari dengan menggunakan *Rating Curve* Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terlebih dahulu (CV. Hastungkara, 2005).

Tabel 1. Hitungan Hidrograf Satuan Tgl 26 Maret 2005

Hari-Jam	Muka Air (m)	Hidrograf Rating Curve (m ³ /det)	Debit Pengambilan Bendung (m ³ /det)	Hidrograf Aliran Total (m ³ /det)	Base Flow (m ³ /det)	Direct Run Off (m ³ /det)	HS Alami (m ³ /det/mm)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
26 Maret 2005	1	0.56	6.00	5.84	11.85	6.00	5.84	0.99
	2	0.63	7.57	5.84	13.41	6.00	7.41	1.25
	3	0.70	9.30	5.84	15.15	6.00	9.14	1.54
	4	0.86	13.93	5.84	19.78	6.00	13.77	2.32
	5	0.92	15.90	5.84	21.75	6.00	15.74	2.66
	6	0.95	16.94	5.84	22.78	6.00	16.78	2.83
	7	0.91	15.57	5.84	21.41	6.00	15.41	2.60
	8	0.85	13.62	5.84	19.46	6.00	13.46	2.27
	9	0.71	9.57	5.84	15.41	6.00	9.40	1.59
	10	0.56	6.00	5.84	11.85	6.00	5.84	0.99
112.79								

Sumber: hasil perhitungan



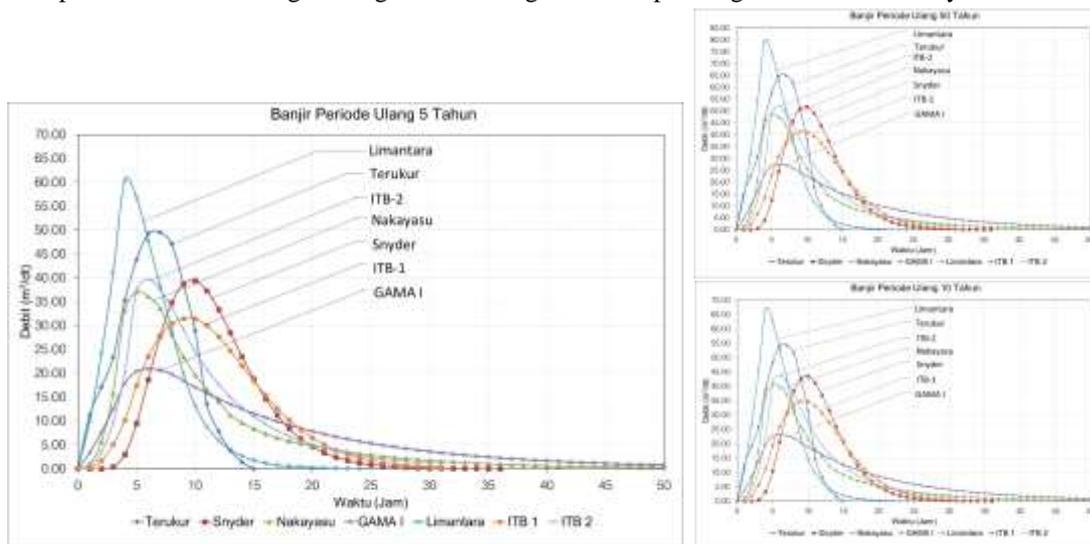
Gambar 2. Hidrograf Satuan DAS Tukad Pakerisan

4.2 Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

Perhitungan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dilakukan berdasarkan parameter fisik maupun non fisik yang sesuai pada rumusan masing-masing model HSS. Komparasi Model dilakukan untuk mengetahui metode HSS mana yang paling mendekati dengan Hidrograf Satuan Terukur DAS Tukad Pakerisan.

4.3 Komparasi Model (Kalibrasi Model)

Komparasi dilakukan dengan menggunakan analisis grafis. Langkah selanjutnya mengitung persentase perbedaan dari masing-masing model hidrograf terhadap hidrograf satuan terukur.



Gambar 3. Komparasi Banjir Rancangan Periode Ulang 5, 10 dan 50 Tahun

Tabel 2. Rata-rata Penyimpangan Debit Puncak (Q_p) dan Waktu Puncak (T_p)

No	Metode HSS	Rata-rata Penyimpangan, Δ (%)
1	Snyder	25.90
2	Nakayasu	25.83
3	GAMA I	46.78
4	Limantara	27.56
5	ITB-1	34.37
6	ITB-2	18.27

sumber: hasil perhitungan

Berdasarkan hasil Tabel 2 penyimpangan rata-rata debit puncak dan waktu puncak kemungkinan disebabkan oleh penentuan faktor non fisik DAS C_t dan C_p . Berikut penyebab penyimpangan HSS Snyder, Nakayasu dan ITB:

a) Penyimpangan pada Model HSS Snyder

Koefisien C_t dan C_p yang digunakan pada penelitian ini tidak dapat ditentukan besarnya dengan pasti pada lokasi penelitian. Menurut Soemarto (1995), besar koefisien C_t berkisar antara 0.75-3.00,

sedangkan besar koefisien C_p berkisar antara 0.9-1.4.

b) Penyimpangan pada Model HSS Nakayasu

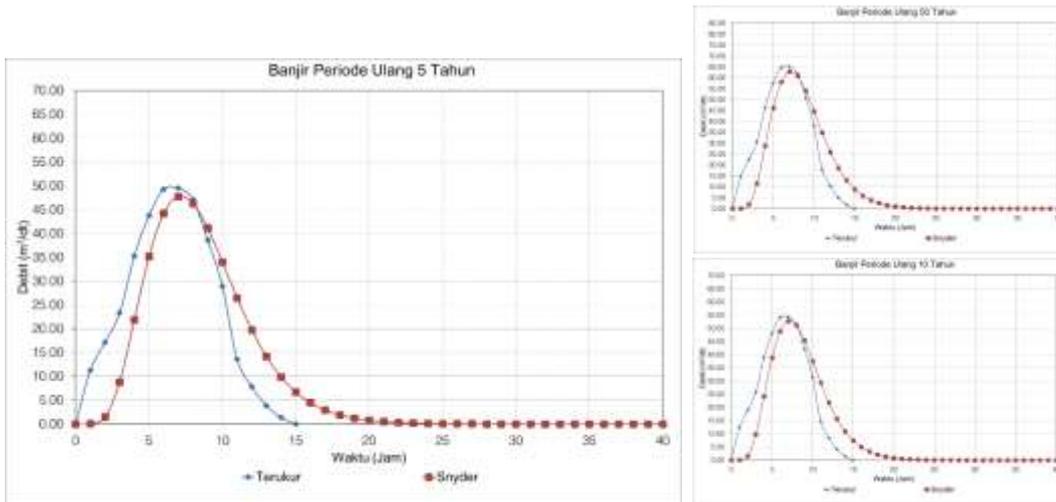
Besarnya penyimpangan ini kemungkinan diakibatkan karena nilai α dalam pemakaian metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Dalam penelitian ini digunakan nilai $\alpha=2$. Nilai α sebagai koefisien karakteristik DAS (di Indonesia) biasanya diambil 2 (Triatmodjo, 2008).

c) Penyimpangan pada Model HSS ITB-2

Penyimpangan model Hidrograf Satuan Sintetik ITB-2 kemungkinan diakibatkan oleh harga C_t dan C_p . Dipilih model HSS Snyder dan HSS ITB-2 dalam penelitian ini, selanjutnya kedua HSS akan dilakukan analisis optimasi koefisien C_t dan C_p .

4.4 Optimasi HSS Snyder

Dengan menggunakan program *solver* dalam *excel 2013* dapat dicari nilai optimasi koefisien C_t dan C_p sehingga menghasilkan model hidrograf Snyder yang mendekati hidrograf terukurnya.



Gambar 4. Komparasi Hidrograf Aliran Terukur dengan Hidrograf Aliran Model Snyder dengan Penyesuaian nilai C_t dan C_p (Banjir Rancangan Periode Ulang 5, 10 dan 50 Tahun)

Tabel 3. Kalibrasi Model Snyder dengan Hidrograf Terukur untuk Debit Puncak dan Waktu Puncak Banjir Periode Ulang 5, 10 dan 50 Tahun

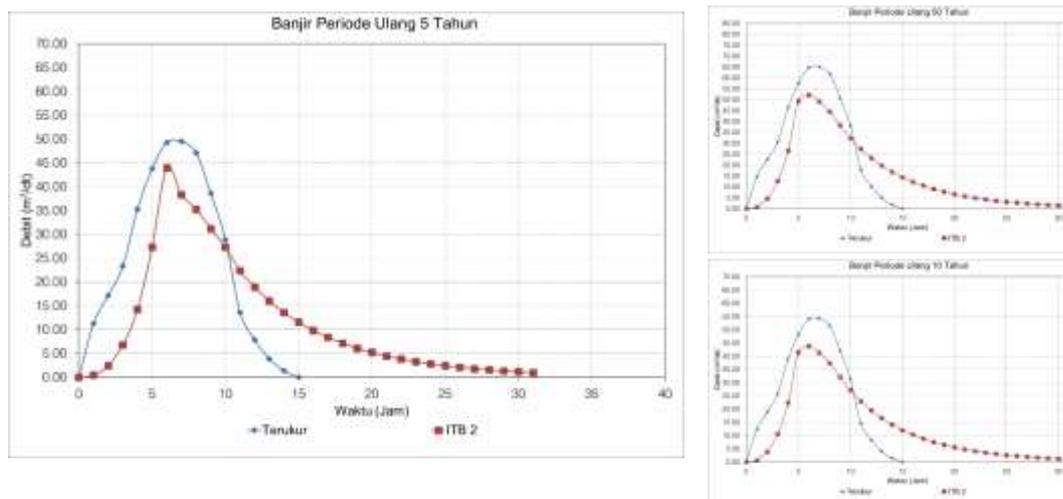
Parameter	Terukur	Snyder	$\Delta(\%)$
Q_p , periode ulang 5 th (m^3/dt)	49.50	47.76	3.53
Q_p , periode ulang 10 th (m^3/dt)	54.26	52.73	2.82
Q_p , periode ulang 50 th (m^3/dt)	65.05	62.75	3.53
T_p , periode ulang 5, 10 dan 50 th (jam)	7.00	7.15	2.17

sumber: hasil perhitungan

Dari hasil pada Tabel 3 didapatkan penyimpangan debit puncak dan waktu puncak yang kecil yaitu kurang dari 5%, hal ini karena pengaruh penyesuaian koefisien $C_t = 0.800$ dan $C_p = 1.052$. Penyesuaian koefisien C_t dan C_p menghasilkan HSS Snyder yang mendekati hidrograf satuan terukur dengan penyimpangan debit puncak dan waktu puncak kurang dari 5%.

4.5 Optimasi HSS ITB-2

Dengan menggunakan program *solver* dalam *excel 2013* dapat dicari nilai optimasi koefisien C_t dan C_p sehingga menghasilkan model hidrograf ITB-2 yang mendekati hidrograf terukurnya.



Gambar 5. Hasil Komparasi HSS ITB-2 (Penyesuaian nilai C_t dan C_p) dengan Hidrograf Aliran Terukur Banjir Periode 5 Tahun

Tabel 4. Kalibrasi Model ITB-2 dengan Hidrograf Terukur untuk Debit Puncak dan Waktu Puncak Banjir Periode Ulang 5, 10 dan 50 Tahun

Parameter	Terukur	ITB-2	$\Delta(\%)$
Q_p , periode ulang 5 th (m^3/dt)	49.50	43.94	11.24
Q_p , periode ulang 10 th (m^3/dt)	54.26	48.52	10.58
Q_p , periode ulang 50 th (m^3/dt)	65.05	57.74	11.24
T_p , periode ulang 5, 10 dan 50 th (jam)	7.00	6.00	14.29

sumber: hasil perhitungan

Dari hasil pada Tabel 4 didapatkan penyimpangan debit puncak dan waktu puncak yang masih besar yaitu lebih dari 10%, walaupun telah dilakukan penyesuaian koefisien $C_t = 1.218$ dan $C_p = 1.220$. Penyesuaian koefisien C_t dan C_p masih menghasilkan HSS ITB-2 yang menyimpang terhadap hidrograf satuan terukur dengan penyimpangan debit puncak dan waktu puncak lebih dari 10%.

Berdasarkan hasil penyesuaian koefisien C_t dan C_p masing-masing model hidrograf Snyder dan ITB-2, dapat dipilih bahwa model hidrograf yang mendekati bentuk hidrograf satuan DAS Tukad Pakerisan adalah model Snyder dengan persentase penyimpangan debit puncak dan waktu puncak kurang dari 5%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Hasil komparasi model hidrograf satuan sintetis model Snyder, Nakayasu, GAMA I, Limantara, ITB-1 dan ITB-2 memberikan hasil yang menyimpang cukup signifikan terhadap hidrograf satuan terukur. Penyimpangan ini ditunjukkan pada tiga parameter hidrograf satuan yang meliputi debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p), dan waktu dasar (T_b).
- Besar penyimpangan parameter debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetis terhadap hidrograf satuan terukur untuk menyusun hidrograf banjir rancangan periode ulang 5, 10 dan 50 tahun secara berturut-turut yaitu Snyder 20.44%, 19.85% dan 20.44%, Nakayasu 25.10%, 24.55% dan 25.10%, GAMA I 57.71%, 57.40% dan 57.71%, Limantara 22.16%, 23.06% dan 22.16%, ITB-1 36.46%, 35.99% dan 36.46%, ITB-2 19.80%, 19.20% dan 19.80%. Penyimpangan parameter waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetis terhadap hidrograf satuan terukur untuk menyusun hidrograf banjir rancangan periode ulang 5, 10 dan 50 tahun secara berturut-turut yaitu Snyder 42.86%, Nakayasu 28.57%, GAMA I 14.29%, Limantara 42.86%, ITB-1 28.57%, ITB-2 14.29%. Penyimpangan parameter waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetis terhadap hidrograf satuan terukur untuk menyusun hidrograf banjir rancangan periode ulang 5, 10 dan 50 tahun secara berturut-turut yaitu Snyder 166.67%, Nakayasu 433.33%, GAMA I 606.67%, Limantara 60.00%, ITB-1 166.67%, ITB-2 166.67%.
- Dengan optimasi koefisien $C_t = 0.800$ dan $C_p = 1.052$ didapatkan model Snyder menghasilkan hidrograf yang mendekati hidrograf satuan terukur DAS Tukad Pakerisan dengan persentase penyimpangan debit puncak dan waktu puncak kurang dari 5%.

5.2 Saran

Hidrograf satuan sintetik model Snyder dengan penyesuaian koefisien $C_t = 0.800$ dan $C_p = 1.052$ dapat digunakan untuk menganalisis hidrograf banjir pada DAS yang memiliki bentuk dan karakteristik fisik yang mirip dengan DAS Tukad Pakerisan yaitu berbentuk menyerupai bulu burung.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, D., dan Imamuddin, U. 2010. *Perencanaan Waduk Pendidikan Diponegoro Tembalang Semarang*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- Ardianto, G. 2013. *Studi Komparasi Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dan Hidrograf Satuan Alami Sub DAS Garang*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Budianto, M. B., dkk. 2013. *Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Air pada Daerah Aliran Sungai Jangkok*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS 7) 24-26 Oktober 2013. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Febrina, R. 2010. *Perbandingan Hidrograf Satuan Terukur dengan Hidrograf Satuan Sintetis pada DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Way Simpang Kiri*. Lampung. Universitas Lampung.
- Gunawan, A. 2007. *Kajian Unjuk Kerja Metode Hidrograf Satuan Sintetik untuk Penetapan Banjir Rancangan pada DAS di Pulau Jawa, Studi Kasus DAS Cimanuk Hulu*. *Dinamika Rekayasa* Vol. 3 No. 1 Februari 2007. Purbalingga. Universitas Jenderal Soedirman.
- Hastungkara Group. 2005. *Pengukuran dan Perencanaan Teknis Tukad Pakerisan di Kabupaten Gianyar*. Denpasar. Hastungkara CV.
- Hastungkara Group. 2010. *Kajian Tukad Pakerisan dan Tukad Petanu*. Denpasar. Hastungkara CV.
- Jayadi, R., dan Sujono, J. 2008. *Pelatihan Analisis Hidrologi: Design Flood*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada.
- Kamiana, I. M. 2010. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Palangkaraya. Graha Ilmu.
- Lasmana, T. M. dkk. 2017. *Analisis Tinggi Tanggul Ekonomis sebagai Bangunan Pengendali Banjir Sungai Ciraja Kecamatan Karangpucung Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah*. Malang. Universitas Brawijaya.
- Musianto, L. S. 2002. *Perbedaan Pendekatan Kuantitatif dengan Pendekatan Kualitatif dalam Metode Penelitian*. *Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan* Vol. 4, No. 2, September 2002: 123-136. Surabaya. Universitas Kristen Petra.
- Natakusumah, D. K. dkk. 2011. *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 18 No. 3, Desember 2011. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Pariartha, G. S. 2013. *Analisis Debit Banjir Rancangan dengan Menggunakan Hidrograf Satuan Terukur pada Daerah Aliran Sungai Progo Bagian Hulu*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 17, No. 2, Juli 2013. Denpasar. Universitas Udayana.
- Pratomo, M. I. T. dkk. 2014. *Analisis Hidrograf Aliran Daerah Aliran Sungai Keduang dengan Beberapa Metode Hidrograf Satuan Sintetis*. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, September 2014. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Rinaldi, A. 2010. *Pemodelan Hidrograf Satuan Universal (H2U) pada Berbagai Skala Peta Dasar Berbasis Sistem Informasi Geografis, Studi Kasus DAS Ciliwung Hulu*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Sartivana, R. 2017. *Perbandingan Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf Satuan Sintetis pada Daerah Aliran Sungai Batang Anai*. Padang. Universitas Andalas.
- Seyhan, E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Siswoyo, H. 2011. *Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetis Snyder untuk Daerah Aliran Sungai di Jawa Timur*. Vol 2. No 1. 2011. Malang. Universitas Brawijaya.
- Slamet. B. 2006. *Model Hidrograf Satuan Sintetik Menggunakan Parameter Morfometri, Studi Kasus di DAS Ciliwung Hulu*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Soemarto, C. D. 1986. *Hidrologi Teknik*. Surabaya. Usaha Nasional.
- Sosrodarsono, S. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Susilowati. 2007. *Analisis Hidrograf Aliran Sungai dengan adanya Beberapa Bendung Kaitannya dengan Konservasi Air*. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Syafrudin, M. 2004. *Studi tentang Model Hidrograf Satuan Sintetik pada Sub DAS Bayur Samarinda, Kalimantan Timur*. *Jurnal Geografi Gea* Vol 8. No 2. 2008. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta. Beta Offset.

- Tunas, I., G. dan Tanga, A. 2011. *Pengaruh Pola Distribusi Hujan terhadap Penyimpangan Debit Puncak Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu*. Majalah Ilmiah Tahun XIII No. 1, Januari 2011. Majalah Ilmiah Mektek. Universitas Tadulako.
- Zahri, R. dkk. 2017. *Analisis Karakteristik DAS Tapakis Berbasis Sistem Informasi Geografis untuk Analisis Hidrograf Satuan Sintetik*. Jurnal Online Mahasiswa FTEKNIK Vol. 4 No.1 Februari 2017. Universitas Riau.