

PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP PARAMETER C_p DAN C_t HSS SNYDER PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI SANGAT KECIL (DAS CODE)

LAND USE CHANGES TO C_p AND C_t PARAMETERS HSS SNYDER IN VERY SMALL RIVER BASIN (DAS CODE)

Burhan Barid^{1)*} Sri Wahyuni¹⁾ Surya Budi Lesmana¹⁾

¹⁾Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jl Brawijaya, Bantul, Yogyakarta

* Corresponding email: burhan.barid@umy.ac.id

Diterima: 29 Agustus 2023; Direvisi: 24 Februari 2024; Disetujui: 04 September 2024

ABSTRACT

The growth in population over time requires improvements in infrastructure services, which often lead to changes in land use within watersheds. These changes frequently result in the ground surface becoming more impervious, ultimately increasing runoff discharge. Land use changes have a significant impact on the C_p and C_t parameters within watersheds. To assess the impact of land use changes, we conducted research using the Snyder Synthetic Unit Hydrograph (SUH) Method on the Code Watershed in 2016 and 2020. Determining the C_t and C_p parameters is essential in predicting peak discharge. C_p is a characteristic watershed parameter that naturally changes as the watershed itself changes, while C_t is a parameter related to watershed slope, which also varies with changes in land use. The analysis shows an increase in the values of both parameters over the two different time periods, leading to an increase in peak discharge. In 2016, C_p and C_t values were 0.40 and 1.80, respectively, with a peak discharge of 0.47 m³/s. By 2020, these values had risen to 0.60 and 1.85, with a peak discharge of 0.68 m³/s. The increase in the C_p parameter indicates that the Code Watershed has become more impervious, reflecting a change in its characteristics. Similarly, the increase in the C_t parameter indicates changes in the watershed slope due to land use constraints. The RMSE calculation results show that the SUH Snyder prediction is consistent with the unit hydrograph calculations.

Keywords: land use, discharge, C_p , C_t , SUH Snyder

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk dari waktu ke waktu memerlukan peningkatan pelayanan infrastruktur yang seringkali menyebabkan perubahan penggunaan lahan di daerah aliran sungai. Perubahan-perubahan ini seringkali mengakibatkan permukaan tanah menjadi lebih kedap air, yang pada akhirnya meningkatkan debit limpasan. Perubahan penggunaan lahan berdampak signifikan terhadap parameter C_p dan C_t di DAS. Untuk mengkaji dampak perubahan penggunaan lahan, kami melakukan penelitian dengan menerapkan Snyder Synthetic Unit Hydrograph (SUH) pada DAS Code pada tahun 2016 dan 2020. Penentuan parameter C_t dan C_p berperan penting dalam prediksi debit puncak. C_p merupakan parameter karakteristik DAS yang secara alami berubah seiring dengan perubahan DAS itu sendiri, sedangkan C_t merupakan parameter yang berkaitan dengan kemiringan DAS yang juga bervariasi terhadap perubahan penggunaan lahan. Analisis menunjukkan adanya peningkatan nilai kedua parameter pada dua waktu yang berbeda yang menyebabkan kenaikan debit puncak, yaitu pada tahun 2016 dengan nilai C_p dan C_t masing - masing 0,40 dan 1,80 serta debit puncak 0,47 m³/detik mengalami kenaikan pada tahun 2020 menjadi masing - masing 0,60 dan 1,85 dengan debit puncak 0,68 m³/detik. Meningkatnya parameter C_p menunjukkan bahwa DAS Code semakin kedap air, hal ini mencerminkan perubahan karakteristiknya. Demikian pula, peningkatan parameter C_t menunjukkan perubahan kemiringan DAS akibat kendala penggunaan lahan. Hasil perhitungan RMSE menunjukkan bahwa prediksi dari penelitian SUH Snyder selaras dengan perhitungan hidrograf satuan.

Kata Kunci: tata guna lahan, debit, C_p , C_t , HSS Snyder

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan ekonomi akan membutuhkan kelengkapan infrastruktur yang memadai. Pembangunan merupakan langkah untuk meningkatkan dan melengkapi infrastruktur suatu wilayah. Pembangunan infrastruktur senantiasa menyebabkan perubahan tata guna lahan. Perubahan tataguna lahan cenderung menuju tata guna lahan yang semakin kedap. Peningkatan kedekatan lahan tentu mengurangi jumlah air hujan yang meresap dalam tanah dan meningkatkan limpasan permukaan. Limpasan permukaan yang meningkat dapat menyebabkan resiko banjir setiap waktu (Rosyidie, 2013). Pengelolaan DAS berhubungan dengan peraturan lainnya yaitu pemerintahan daerah, sumber daya air, perencanaan tata ruang, dan konservasi tanah dan air. Pengelolaan DAS harus sesuai dengan peraturan yang berlaku agar semua terpenuhi sehingga tidak mengakibatkan resiko bencana dan aspek hukum (Aryani et al., 2020).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder, antara lain di Serenan, Tayan dan lain sebagainya. Barid & Afanda (2022) melakukan penelitian tentang perubahan tata guna lahan menggunakan metode HSS Snyder di DAS Serenan. Pada DAS tersebut, debit puncak meningkat sebesar $55 \text{ m}^3/\text{detik}$ dari $140 \text{ m}^3/\text{detik}$ menjadi $195 \text{ m}^3/\text{detik}$. DAS Serenan menunjukkan perubahan kondisi lahan yang semakin kedap dengan kenaikan nilai koefisien limpasan dari 0,34 menjadi 0,4. Selain itu, penurunan nilai Ct dari 2,3 menjadi 2,0 yang diakibatkan oleh perubahan tata guna lahan telah memperlambat aliran, sedangkan kenaikan nilai Cp dari 0,9 menjadi 1,1 menunjukkan tata guna lahan di DAS tersebut semakin kedap.

Kusumastuti et al. (2015) melakukan penelitian tentang perubahan tata guna lahan yang terjadi selama periode 5 tahun dari tahun 2010 s.d 2015 di Kabupaten Probolinggo. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya penambahan risiko banjir yang ditunjukkan dengan kenaikan nilai koefisien limpasan dari 0,39 menjadi 0,4, meskipun peningkatan debit banjir relatif kecil. Helena et al. (2022) melakukan penelitian di DAS Ciliwung yang mengalami perubahan lahan menjadi semakin kedap sehingga menyebabkan penurunan kemampuan meresapnya air ke dalam tanah. Hal tersebut tentunya akan meningkatkan presentase debit limpasannya. Maulina & Christiana (2022) melakukan penelitian tentang banjir besar di sungai

yang sering terjadi pada titik pertemuan anak-anak sungai. Sungai Tayan merupakan salah satu anak sungai Kapuas yang memiliki tipe DAS melebar. Metode HSS Snyder digunakan untuk pendekatan perhitungan debit di sungai Tayan.

Penelusuran Banjir sungai Code dilakukan dengan metode Muskingum. Parameter-parameter sungai digunakan dengan hujan rerata dua puluh tahunan untuk penelitian banjir dua puluh tahunan. Hasil penelitian tersebut berupa kejadian banjir dua puluh tahunan dengan waktu perjalanan banjir dua puluh tahunan dari hulu ke hilir selama empat jam (Budiyanto, 2018).

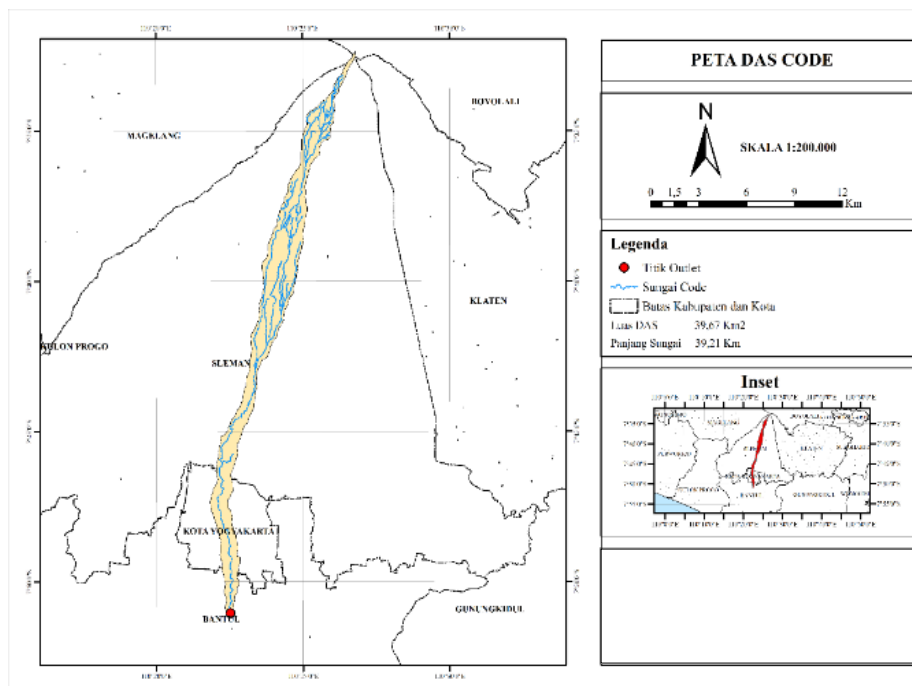
Sungai Code yang melewati jantung kota tentunya menjadi perhatian utama apabila terjadi resiko banjir. Perubahan lahan yang terjadi antara tahun 2016 s.d 2020 tentu berpotensi menyebabkan perubahan debit banjir di wilayah tersebut. Pengungkapan resiko banjir memerlukan pasangan data hujan dan debit yang lengkap. HSS diperlukan apabila mendapati pasangan data hujan dan debit yang tidak lengkap. Salah satu HSS adalah HSS Snyder yang mempunyai parameter Cp dan Ct. Cp merupakan parameter karakteristik DAS yang secara alami berubah seiring dengan perubahan DAS itu sendiri, sedangkan Ct merupakan parameter yang berkaitan dengan kemiringan DAS yang juga bervariasi terhadap perubahan penggunaan lahan. Perubahan tata guna lahan dari tahun 2016 sampai tahun 2020 akan mempengaruhi parameter Cp dan Ct pada HSS Snyder. Perubahan parameter Cp dan Ct akan mempengaruhi besaran debit puncak. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perubahan tata guna lahan pada DAS Code tahun 2016 dan 2020, terhadap parameter Cp dan Ct pada HSS Snyder.

METODOLOGI

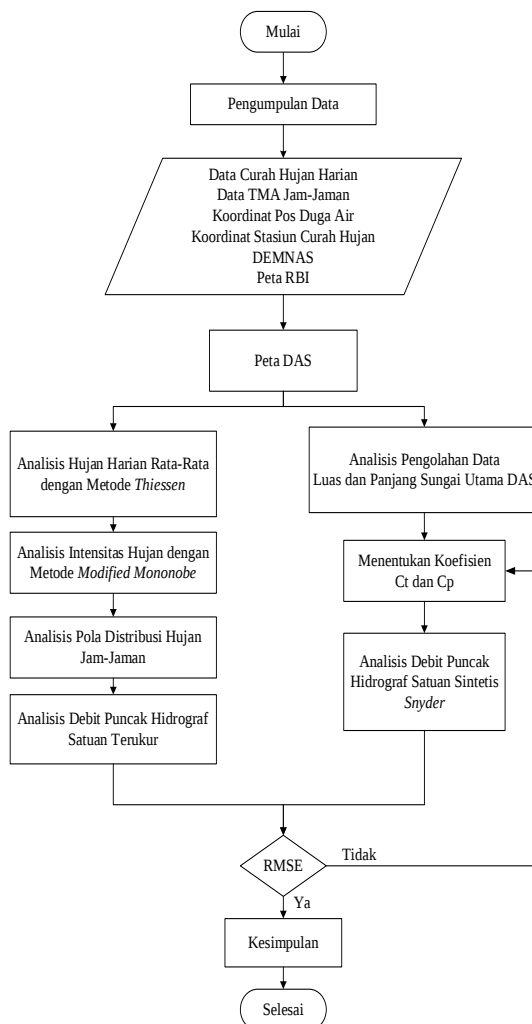
Metode penelitian terdiri dari lokasi penelitian dan langkah penelitian. Lokasi penelitian berupa DAS Code yang akan dijelaskan di bagian berikut ini.

Lokasi Studi

Lokasi penelitian ini dilakukan di wilayah Daerah Aliran Sungai Code yang terletak di Desa Bakung, Kelurahan Bangunharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pos Duga air yang digunakan adalah pos duga Kaloran. Data terkait dengan topografi DAS, data dari curah hujan dan data AWLR diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak. Peta DAS Code dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian pada DAS Code



Gambar 2 Bagan Alir Penelitian

Penjelasan umum bagan air sebagai berikut :

- Data hujan harian diambil dari stasiun hujan yang sesuai koordinat stasiun hujannya. Data TMA diambil dari stasiun pos duga yang sesuai koordinat pos duganya.
- DEMNAS untuk mendapatkan Peta kontur DAS Code diakses melalui <https://tanahair.indonesia.go.id/>.
- Analisis data hujan kawasan Code dengan Metode Thiessen, dilanjutkan dengan hitungan hujan Mononobe dengan distribusi hujan jam-jaman.
- Menghitung hidrograf satuan terukur dari debit TMA
- Hitung HSS Snyder
- Validasi Antara hidrograf satuan terukur dan HSS Snyder.

Metode

a. Pengumpulan dan Analisis Data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data sekunder berupa data hujan dan data AWLR dari pos duga air. Data sekunder tersebut dapat diperoleh dari situs resmi Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Serayu Opak.

Data hujan dari beberapa stasiun hujan dipilih dengan waktu yang sama. Data hujan yang terpilih dipasangkan dengan data TMA dengan tanggal yang sama. Koordinat stasiun hujan dan TMA perlu dilihat langsung di lapangan, agar memang benar stasiun tersebut yang dipilih. Curah hujan yang terpilih merupakan data curah hujan yang mempunyai pasangan dengan data debitnya.

b. Peta DAS

Kasifikasi Peta DAS tergantung dari luas DAS. Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial mengklasifikasikan DAS menurut luas hektar (ha), sebagai berikut (Kementerian Kehutanan, 2013) :

- DAS sangat besar, lebih besar dari 1.500.000
- DAS besar, 500.000 - < 1.500.000
- DAS sedang, 100.000 - < 500.000
- DAS kecil, 10.000 - < 100.000
- DAS sangat kecil, kurang dari 10.000.

Sungai Code merupakan salah satu sungai yang melewati jantung kota Yogyakarta. DAS Code yang mempunyai pos duga di Kaloran tersebut memiliki luas sebesar 39,67 km². Secara luas, DAS tersebut termasuk katagori DAS sangat kecil dengan luas dibawah 10.000 ha (Kementerian Kehutanan, 2013). Panjang sungai utama DAS Code sebesar 39,21 km. Hulu dari DAS Code ini terletak di Kawasan Gunung Merapi yang selain membawa

debit banjir juga dimungkinkan membawa lahar dingin.

c. Analisis Hujan Harian Rata-Rata

Metode Thiessen salah satu yang digunakan untuk menghitung hujan kawasan. Metode ini dipilih karena memasukkan unsur luasan daerah dari lokasi stasiun hujan. Luasan dan lokasi stasiun hujan dapat mewakili hujan yang terjadi di areal tersebut. Berikut merupakan persamaan dari perhitungan curah hujan rata-rata menggunakan metode thiessen sebagai berikut (Anam et al., 2020):

$$\bar{P} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

$\bar{P}$: hujan rata-rata (mm)

P_n : hujan di tiap stasiun

A_n : luas poligon Thiessen

d. Analisis Intensitas Hujan

Kedalaman hujan per satuan waktu merupakan Intensitas hujan. Besar kecilnya intensitas hujan dipengaruhi oleh lama curah hujan atau frekuensi kejadian. Metode Mononobe digunakan untuk merubah curah hujan harian menjadi intensitas hujan jam-jaman. Menurut Van Breen hujan di pulau jawa terkonsentrasi 90% dengan durasi 4 jam (Harisuseno et al., 2020). Intensitas hujan pada penelitian ini digunakan lama durasi hujan yakni 4 jam dikarenakan DAS Code terletak di pulau Jawa.

e. Pola Distribusi Hujan

Pola distribusi hujan secara empiris dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain, ABM atau *Alternating Block Method*, *Modified Mononobe*, dan THM atau *Triangular Hyetograph Method* (Yuli Yani et al., 2021). Penurunan rumus yang dilakukan oleh Van Breen di Indonesia didasarkan atas anggapan bahwa lamanya durasi hujan yang terjadi di Pulau Jawa selama 4 jam dengan hujan efektif sebesar 90% dari jumlah curah hujan selama 24 jam (Harisuseno et al., 2020). Penelitian DAS Code menggunakan metode *Modified Mononobe* dengan durasi hujan yang digunakan yakni 4 jam sehingga pola intensitas hujannya tinggi pada jam pertama dan semakin menurun hingga akhir durasi atau jam berikutnya.

Adapun persamaan dengan menggunakan metode *Modified Mononobe* sebagai berikut (Yuli Yani et al., 2021) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

I : intensitas hujan (mm/jam)

R_{24} : curah hujan maksimum selama 24 jam (mm/hari)
 t : lama atau durasi curah hujan (jam)

Setelah menghitung intensitas hujan, maka pola distribusi hujan dapat dibagi seperti pada Tabel 1 dengan lama hujan 4 jam (Wardhani, 2012).

Tabel 1 Rasio Hujan Jam-Jaman

Waktu	1	2	3	4
% Hujan	40.50	31.25	14.75	13.50

Sumber: (Wardhani, 2012)

f. Koefisien Limpasan (C)

Koefisien limpasan merupakan nilai yang ditentukan berdasarkan fungsi lahan. Koefisien limpasan atau nilai C menjadi faktor penting dalam perhitungan untuk menentukan debit limpasan. Pada penelitian ini menggunakan nilai koefisien aliran (C) dari ketetapan SNI 03-2415-1991 (BSN, 2002). Nilai koefisien limpasan (C) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Herdiaprila & Hartati, 2023):

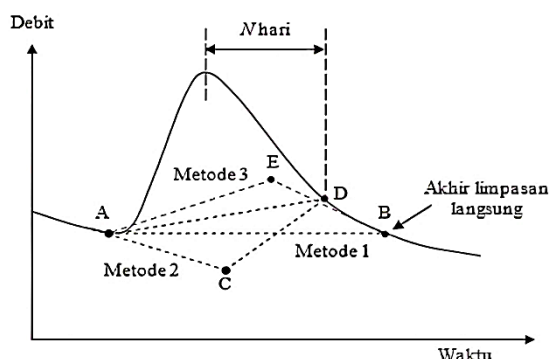
$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

A_i : luas lahan (ha)
 C_i : koefisien aliran lahan
 C_{DAS} : koefisien limpasan DAS

g. Debit Aliran Dasar (Baseflow)

Untuk aliran dasar atau baseflow dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Pemisahan Aliran Dasar ((Agusalim & Nanda, 2018)

Berdasarkan Gambar 2 terdapat 3 metode yang dapat digunakan untuk menentukan aliran dasar, antara lain metode 1 dengan menarik garis lurus dari A yakni titik mulai aliran langsung hingga titik B atau akhir limpasan langsung. Kemudian, metode 2 dengan cara menarik garis dari titik A sampai titik C yang berada sejajar dengan puncak hidrograf

hingga ke titik D yang jaraknya menggunakan nilai N yakni hari sesudah puncak. Nilai N dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut (Indarto & Herlinda, 2020):

$$N = A^{0.2} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

N : waktu (hari)
 A : luas DAS (mil^2)

Metode yang terakhir yakni metode 3 dapat digunakan dengan cara menarik kurva resesi ke belakang yang berawal dari titik akhir aliran langsung atau titik B hingga titik E dibawah titik balik. Sungai Code menggunakan metode A ke B untuk penentuan aliran dasarnya, dikarenakan merupakan sungai *intermittent*. Sungai *intermittent* dipengaruhi saat terjadi hujan debit naik, saat kemarau debit kecil tetapi masih ada airnya. Sungai *intermittent* memiliki aliran dasar yang relatif tetap. Debit sungai yang diperoleh dipisahkan terlebih dahulu aliran dasarnya, kemudian dibuat hidrograf satuan dari data hujan efektifnya.

h. Hidrograf Satuan Terukur

Hidrograf satuan adalah suatu teknik atau metode dalam hidrologi yang umumnya berperan dalam memperkirakan banjir rancangan atau *design flood*, dan atau dapat memperkirakan banjir dalam jangka pendek berdasarkan data curah hujan. Hubungan salah satu unsur dari model DAS yang umum yakni hubungan antara limpasan langsung dengan curah hujan efektif, hal ini pertama kali dikemukakan oleh Sherman tahun 1932, dimana teori sistem linear yang pertama dalam hidrologi adalah teori hidrograf satuan (Budi et al., 2012)

DAS dengan satuan waktu tertentu yang membentuk suatu hidrograf. Hidrograf satuan terbagi atas hidrograf satuan terukur dan HSS. Hidrograf satuan terukur merupakan hidrograf satuan yang diperoleh melalui hasil dari penurunan data hujan dan debit. Data hujan dapat diperoleh melalui alat pencatat hujan yang ada di stasiun tertentu, misalnya menggunakan *Automatic Rainfall Recorder* (ARR). Sementara untuk data debit dapat diperoleh melalui alat pencatat debit, umumnya menggunakan *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) (Kristianto et al., 2019).

Berdasarkan data yang diperoleh di lapangan, maka debit dapat dihitung dengan data AWLR yang ada yakni menggunakan persamaan lengkung debit. Persamaan lengkung debit ini menghubungkan antara AWLR dan debit. Adapun rumus dari persamaan tersebut sebagai berikut (Ramadhani et al., 2018):

$$Q = K (H - H_0)^n \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

Q : debit (m³/s)
 K : nilai hantaran penampang (m²/s)
 H : tinggi muka air (m)
 H₀ : kedalaman aliran nol (m)
 n : eksponen (untuk sungai lebar 1,3 - 1,8, untuk alur yang relatif dalam > 2 tetapi < 3)

Hidrograf satuan terukur perlu dianalisis agar memiliki satu puncak. Analisis tersebut dapat menggunakan dua metode yakni dengan persamaan polinomial dan cara collins. Dalam penelitian ini menggunakan persamaan polinomial, yang mana nantinya hidrograf satuan akan dimisalkan sebagai ordinat U₁, U₂, ..., U₈, dan seterusnya. Adapun persamaannya sebagai berikut (Zulfa et al., 2023):

$$\begin{aligned} A : R_1 U_1 &= X_1 \dots\dots\dots U_1 = \dots\dots\dots (6) \\ B : R_1 U_2 + R_2 U_1 &= X_2 \dots\dots\dots U_2 = \dots\dots\dots \\ C : R_1 U_3 + R_2 U_2 + R_3 U_1 &= X_3 \dots\dots\dots U_3 = \dots\dots\dots \\ D : R_1 U_4 + R_2 U_3 + R_3 U_2 &= X_4 \dots\dots\dots U_4 = \dots\dots\dots \\ E : R_1 U_5 + R_2 U_4 + R_3 U_3 &= X_5 \dots\dots\dots U_5 = \dots\dots\dots \text{dst.} \end{aligned}$$

i. HSS Snyder

Snyder mengembangkan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) pada tahun 1938 di Amerika Serikat. Sejumlah DAS yang diteliti di dataran tinggi Appalachian dengan luas DAS berkisar antara 30 sampai 30.000 km² (3000 – 3.000.000 ha) yang memanfaatkan parameter DAS (Kahffi & Lipu, 2021). Beberapa Sungai di Sulawesi Selatan dilakukan penelitian debit puncaknya dengan metode HSS Snyder. Hasilnya menunjukkan ada 6 sungai yang cocok dengan metode HSS Snyder dari 8 sungai yang diteliti (Yamin, 2019).

HSS Snyder menggunakan dua parameter non fisik yakni C_t dan C_p yang merupakan koefisien yang tergantung pada unit serta karakteristik DAS. Besaran nilai C_t dan C_p dapat berubah karena pengaruh wilayah dari DAS. Adapun parameter-parameter penting dalam metode Snyder ini antara lain waktu dalam hal ini mencakup waktu kelambatan dan waktu dasar, aliran puncak, serta lama hujan efektif yang akan dikaitkan dengan geometri fisik dari DAS (Kahffi & Lipu, 2021).

Persamaan yang dapat digunakan sebagai berikut (Agusalim & Nanda, 2018)

$$\begin{aligned} T_L &= \alpha \times C_t (L \times L_c)^{0,3} \\ T_{R'} &= \frac{T_L}{5,5} \\ T_{L(adj.)} &= T_L + 0,25 \times (T_{R'} - t_r) \\ T_B &= 3 + \frac{T_{L(adj.)}}{8} \dots\dots\dots (7) \\ Q_p &= \alpha \frac{C_p \times A}{T_{L(adj.)}} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

$$Q_{pR} = Q_p \times \frac{T_L}{T_{L(adj.)}}$$

Dimana:

T_L : waktu dari titik berat durasi hujan efektif T_{R'} ke puncak hidrograf satuan durasi standar dari hujan efektif (jam)
 T_{R'} : durasi standar hujan efektif (jam)
 T_{L(adj.)} : waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_r ke puncak hidrograf satuan (jam)
 t_r : durasi hujan efektif (jam)
 α : konstanta, (0,75 untuk T_L dan 0,275 untuk Q_p)
 T_B : waktu dasar hidrograf satuan (hari)
 Q_p : debit puncak untuk durasi t_D
 Q_{pR} : debit puncak untuk durasi t_r
 L : panjang sungai utama terhadap titik kontrol yang ditinjau (Km)
 L_c : jarak antara titik kontrol ke titik yang terdekat dengan titik berat DAS (Km)
 A : luas DAS (Km²)
 C_t : koefisien yang tergantung kemiringan DAS (1,8 - 2,2)
 C_p : koefisien yang tergantung pada karakteristik DAS (0,4 - 0,94)

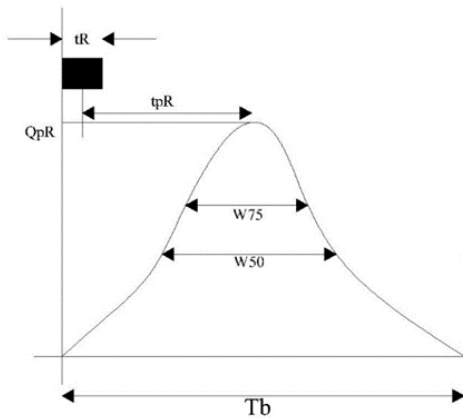
Pemilihan nilai C_t tergantung kemiringan DAS. Daerah yang memiliki kemiringan tidak banyak yang landai dipilih C_t kecil (1,8), sedangkan untuk daerah yang banyak landai dipilih C_t besar (2,2). Daerah yang perpaduan landai dan curam maka dipilih diantara nilai tersebut.

Pemilihan nilai C_p tergantung karakteristik DAS. Karakteristik DAS mengacu pada tata guna lahan. Tata guna lahan yang lebih banyak meresap maka C_p kecil (0,4), sedangkan yang semakin kedap dan komplek maka dipilih C_t besar (0,94). Daerah yang perpaduan lahan hutan, pemukiman dan lain-lain menggunakan C_t antara 0,4 – 0,94.

Untuk memudahkan penggambaran dalam HSS Snyder maka rumus yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{50} &= 0,18 \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,075} \dots\dots\dots (9) \\ W_{75} &= 0,10 \left(\frac{Q_p}{A} \right)^{-1,075} \end{aligned}$$

W₅₀ dan W₇₅ merupakan lebar dari unit hidrograf yang dijadikan acuan pada debit 50% dan 75% dari debit puncak yang dinyatakan dalam satuan jam. Lebar dari W₅₀ dan W₇₅ dibuat dengan perbandingan 1:2, dengan sisi pendek berada di sebelah kiri dari hidrograf satuan. Gambaran nilai W₅₀ dan W₇₅ terlihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik Umum Metode HSS Snyder (Budi et al., 2012)

j. Metode Root Mean Square Error (RMSE)

Perhitungan nilai RMSE diperlukan untuk menunjukkan keakuratan Metode HSS Snyder dengan Hidrograf Satuan Terukur. Metode *Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam uji validasi selain metode *Correlation Coefficient*. Metode RMSE besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dapat dilihat apabila semakin kecil nilai RMSE atau

mendekati 0 maka hasil prediksi akan semakin akurat (Suprayogi et al., 2014). Nilai prediksi akurat apabila hasil $RMSE < 10\%$. Nilai RMSE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Armston, 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X-Y)^2}{n}} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

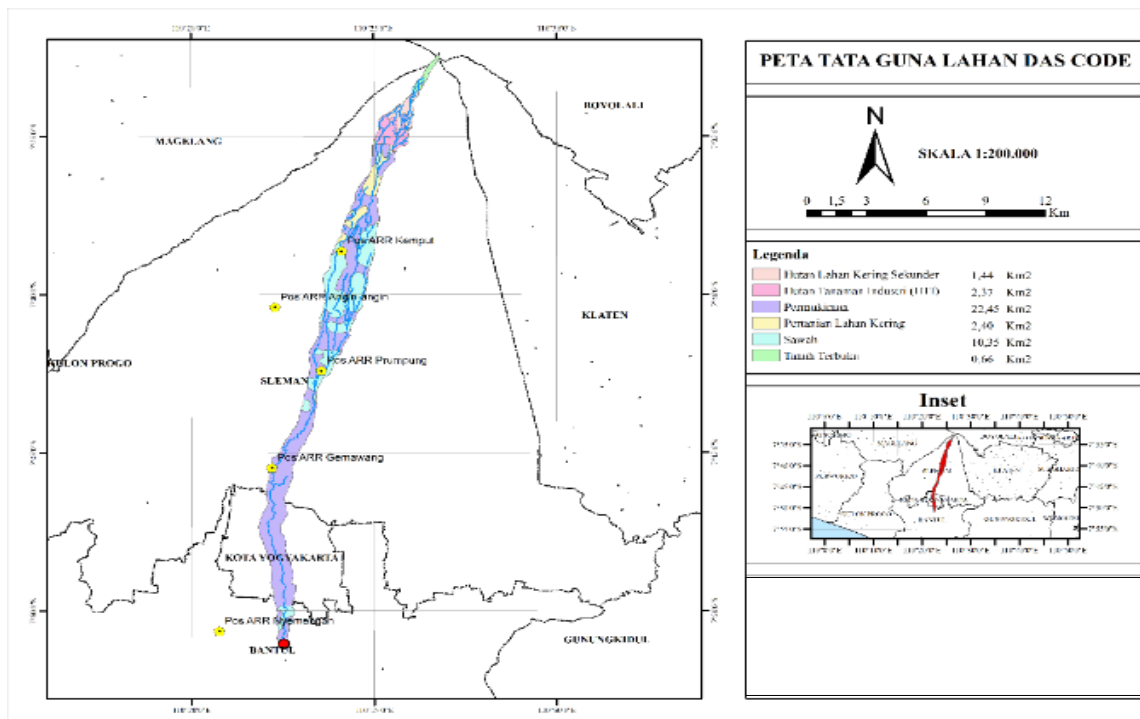
- n : jumlah data
- X : nilai pengamatan
- Y : nilai prediksi

Pada uji validasi ini hasil yang didapatkan untuk mengetahui tepat serta sesuainya hasil antara debit puncak hidrograf satuan terukur dengan hidrograf satuan sintetis. Dalam penelitian ini, uji validasi menggunakan metode RMSE seperti pada persamaan 10.

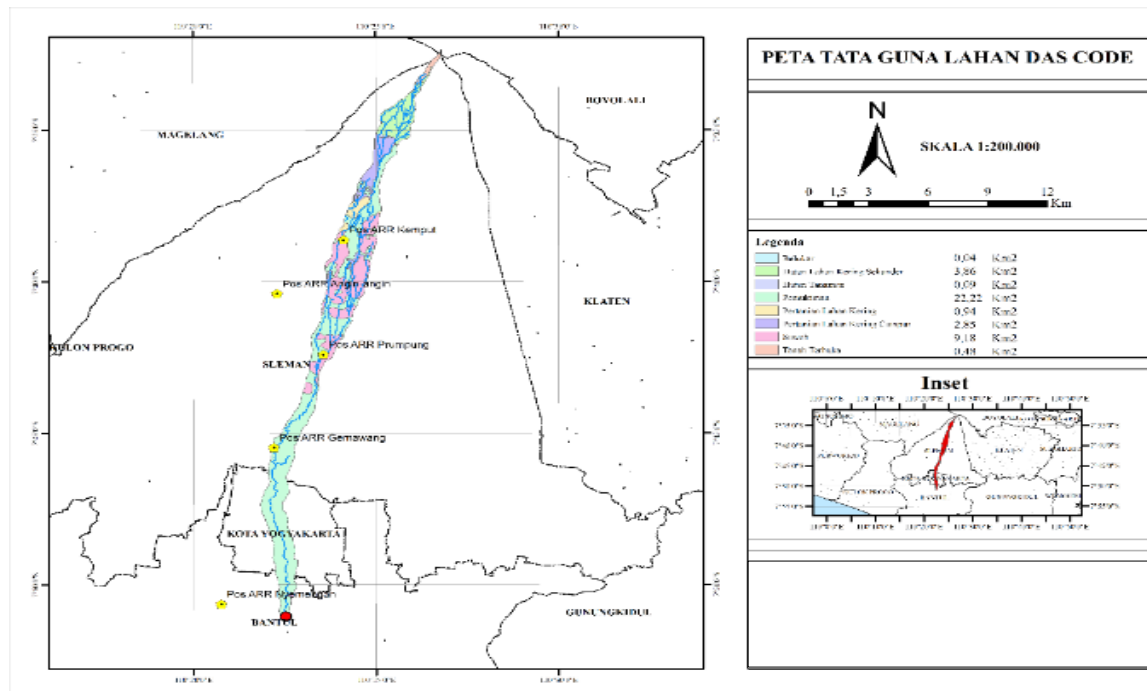
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tata Guna Lahan

Perubahan tataguna lahan telah terjadi di DAS Code, terlihat dalam gambar 5 dan 6, sebagai berikut :



Gambar 5 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2016



Gambar 6 Peta Tata Guna Lahan Tahun 2020

Berdasarkan gambar 5 dan 6, koefisien limpasan DAS dapat dihitung berdasarkan tataguna lahannya, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Koefisien Aliran DAS Code tahun 2016

No	Penggunaan Lahan	Luas DAS			Koefisien Limpasan (C)	C _{DAS}
		Ha	Km ²	%		
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	144,08	1,44	3,63	0,50	72,04
2	Hutan Tanaman Industri	237,08	2,37	5,98	0,60	142,25
3	Pemukiman	2244,69	22,45	56,59	0,50	1122,35
4	Pertanian Lahan Kering	240,12	2,4	6,05	0,13	31,22
5	Sawah	1034,87	10,35	26,09	0,20	206,97
6	Tanah Terbuka	65,94	0,66	1,66	0,35	23,08
Jumlah		3966,77	39,67	100		0,40

Tabel 3 Koefisien Aliran DAS Code tahun 2020

No	Penggunaan Lahan	Luas DAS			Koefisien Limpasan (C)	C _{DAS}
		Ha	Km ²	%		
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	386,42	3,86	10,8	0,50	193,21
2	Hutan Tanaman Industri	8,72	0,087	0,24	0,60	5,23
3	Pemukiman	2222,31	22,22	62,14	0,50	1333,39
4	Pertanian Lahan Kering	94,37	0,94	2,64	0,13	12,27
5	Sawah	918,49	9,18	25,68	0,20	183,7
6	Tanah Terbuka	47,92	0,48	1,34	0,35	23,96
7	Belukar	4,03	0,04	0,11	0,1	0,40
8	Pertanian Lahan kering campur	284,51	2,84	7,96	0,17	48,37
Jumlah		3966,77	39,67	100		0,45

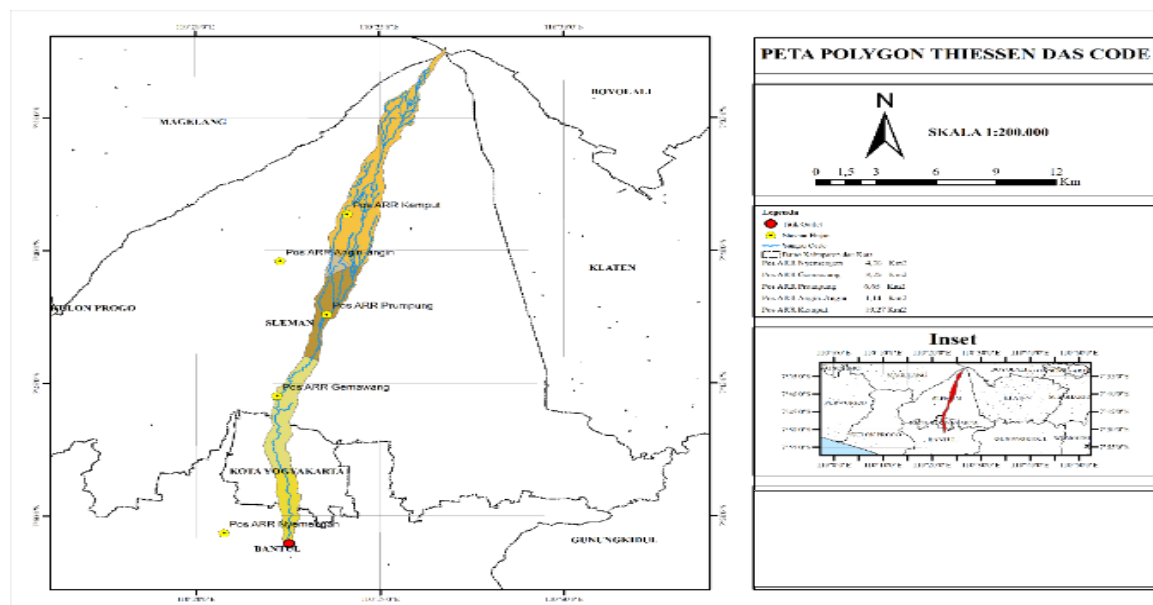
Maka dari hasil analisis pada tahun 2016 dan tahun 2020 diperoleh perubahan nilai koefisien limpasan (C) dari 0,40 menjadi 0,45. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perubahan tataguna lahan yang dapat diamati dengan bertambahnya kekedapan permukaan tanah.

Perubahan penggunaan lahan pada tahun 2016 antara lain hutan lahan kering sekunder sebesar 3,63%, hutan tanaman industri sebesar 5,98%, permukiman sebesar 56,59%, pertanian lahan kering sebesar 6,05%, sawah sebesar 26,09%, dan tanah terbuka sebesar 1,66%. Pada tahun 2020 mengalami perubahan adanya belukar sebesar 0,10% dan pertanian lahan kering campur sebesar 7,17%, juga terjadi peningkatan pada hutan lahan kering sekunder menjadi 9,74%, serta beberapa penurunan diantaranya, hutan tanaman industri menjadi 0,22%, permukiman menjadi 56,02%, pertanian lahan kering menjadi 2,38%, sawah hujan dapat dilihat pada Gambar 7, Tabel 4 dan Tabel 5.

menjadi 23,15%, dan tanah terbuka menjadi 1,21%. Berdasarkan hasil analisis, terjadi perubahan tata guna lahan yang cukup signifikan pada penurunan penggunaan lahan hutan tanaman industri yang Perubahan tata guna lahan yang cukup signifikan ini dapat mempengaruhi kondisi dari DAS Code yaitu mengurangi jumlah air yang meresap pada permukaan tanah dan menambah kecepatan aliran permukaan.

Metode Thiessen

Berdasarkan data yang tersedia dari seluruh stasiun maka curah hujan wilayah atau lebih dikenal dengan curah hujan kawasan yang dipilih dalam penelitian ini yaitu 30 Desember 2016 dan 30 Desember 2020. Hujan rata-rata DAS dihitung berdasarkan data yang diperoleh dengan menggunakan metode Thiessen data curah hujan harian serta jumlah stasiun curah



Gambar 7 Peta DAS dengan metode Thiessen

Tabel 4 Luas Stasiun Hujan pada DAS Code

Stasiun Hujan	Luas (km ²)	(%)
Nyemengan	4,36	11,00
Gemawang	8,25	20,79
Prumpung	6,65	16,75
Angin-Angin	1,14	2,88
Kemplut	19,27	48,58
Jumlah	39,67	100

Tabel 5 Data Curah Hujan Harian

Stasiun Hujan	Curah Hujan harian (mm)	
	30/12/2016	30/12/2020
Nyemengan	34,5	28,3
Gemawang	59,9	34,4
Prumpung	105	25,5
Angin-Angin	86,8	43,8
Kemplut	133	39,9

Untuk menentukan curah hujan rata-rata DAS dari data yang telah diperoleh, maka dapat dihitung sebagai berikut :

1. Tahun 2016

$$\bar{P}_{2016} = \frac{4004,21}{39,67} \dots\dots\dots(1)$$

$$= 100,94 \text{ mm}$$

2. Tahun 2020

$$\bar{P}_{2020} = \frac{1395,50}{39,67} \dots\dots\dots(1)$$

$$= 35,18 \text{ mm}$$

Intensitas Hujan

Data curah hujan yang telah tersedia atau diperoleh merupakan nilai curah hujan harian kemudian dianalisis menjadi data curah hujan jam-jaman dengan metode *modified mononobe* dengan durasi hujan selama 4 jam (Harisuseno et al., 2020) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{2016} = \frac{100,94}{24} \times \left[\frac{24}{4} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2)$$

$$= 50,47 \text{ mm/jam}$$

$$I_{2020} = \frac{35,18}{24} \times \left[\frac{24}{4} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2)$$

$$= 17,59 \text{ mm/jam}$$

Untuk pola distribusi hujan jam-jaman setelah melalui analisis maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6 Hasil Distribusi Hujan Jam-Jaman Tahun 2016

Waktu	1	2	3	4
% Hujan	8,18	6,31	2,98	2,73

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2022

Tabel 7 Hasil Distribusi Hujan Jam-Jaman Tahun 2020

Waktu	1	2	3	4
% Hujan	3,21	2,47	1,17	1,07

Sumber: Hasil Pengolahan Data, 2022

Hidrograf Satuan Terukur

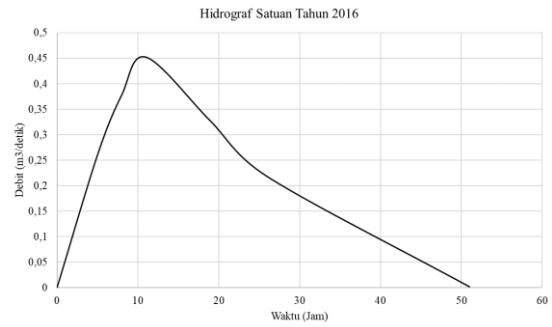
1. Debit puncak tahun 2016

Analisis data debit dihitung berdasarkan persamaan 5 sampai 9. Melalui perhitungan tersebut maka diperoleh hasil debit dan jam puncak DAS Code pada tahun 2016 sebagai berikut:

$$\text{Debit Puncak (Q}_p\text{)} = 0,45 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Jam Puncak (T}_p\text{)} = \text{Jam ke-11}$$

Grafik Hidrograf Satuan tahun 2016 pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hidrograf Satuan Tahun 2016

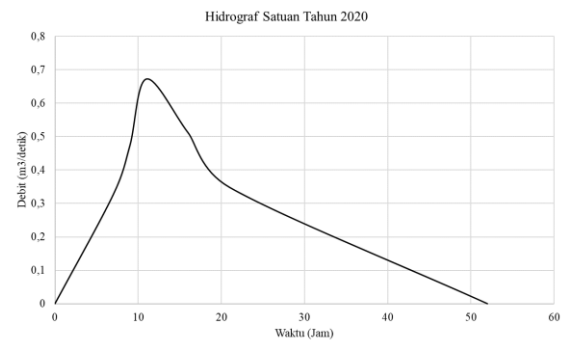
2. Debit puncak tahun 2020

Analisis data debit dihitung berdasarkan persamaan 5 sampai 9. Melalui perhitungan tersebut maka diperoleh hasil debit dan jam puncak DAS Code pada tahun 2020 sebagai berikut:

$$\text{Debit Puncak (Q}_p\text{)} = 0,67 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Jam Puncak (T}_p\text{)} = \text{Jam ke-11}$$

Grafik Hidrograf Satuan tahun 2020 pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Hidrograf Satuan Tahun 2020

HSS Snyder

Data yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$\text{Luas DAS (A)} = 39,67 \text{ km}^2$$

$$\text{Panjang Sungai (L)} = 39,21 \text{ km}$$

$$\text{Titik Berat (Lc)} = 13,07 \text{ km}$$

$$\text{Waktu Hujan Efektif (t}_r\text{)} = 4 \text{ Jam}$$

Perhitungannya sebagai berikut :

1. Tahun 2016

a. Menentukan C_t dan C_p

$C_t = 1,80$, DAS Code sebagian merupakan daerah yang tidak landai.

$C_p = 0,40$, angka tersebut dipilih tahun tersebut karena masih banyak tata guna lahan yang berpotensi meresapkan air hujan

b. Menentukan nilai waktu dari titik berat durasi hujan efektif TR' ke puncak hidrograf satuan durasi standar dari hujan efektif dengan menggunakan persamaan 11.

$$T_L = 0,75 \times 1,80 (39,21 \times 13,07)^{0,3}$$

$$= 8,78 \text{ Jam}$$

- c. Menentukan durasi standar hujan efektif (TR') dengan menggunakan persamaan 12.

$$TR' = \frac{8,78}{5,5} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 1,60 \text{ Jam}$$

- d. Apabila durasi hujan efektif t_R tidak sama dengan durasi standar TR' , maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 13.

$$T_{L(adj.)} = 8,78 + 0,25 \times (4 - 1,60) \dots\dots(7)$$

$$= 9,38 \text{ Jam}$$

- e. Menentukan nilai debit puncak untuk durasi TR' dengan menggunakan persamaan 14.

$$Q_p = 0,275 \times \frac{0,4 \times 39,67}{9,38} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 0,47 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- f. Menentukan waktu dasar hidrograf satuan dengan menggunakan persamaan 15.

$$T_B = 3 + \frac{9,38}{8} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 4,17 \text{ Hari}$$

$$= 100 \text{ Jam}$$

- g. Menentukan debit puncak (Q_p) untuk durasi hujan efektif (t_r) dengan menggunakan persamaan 16.

$$Q_{pR} = 0,47 \times \frac{8,78}{9,38} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 0,44 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- h. Menghitung lebar unit hidrograf pada debit 50% dan 75% dengan menggunakan persamaan 17 dan 18.

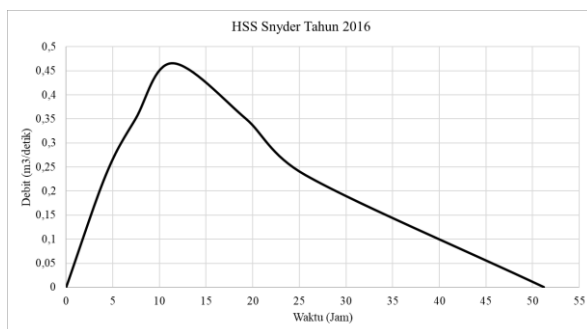
$$W_{50} = 0,18 \times \left(\frac{0,47}{39,67} \right)^{-1,075} \dots\dots\dots(9)$$

$$= 21 \text{ Jam}$$

$$W_{75} = 0,10 \times \left(\frac{0,47}{39,67} \right)^{-1,075} \dots\dots\dots(9)$$

$$= 12 \text{ Jam}$$

Grafik HSS Snyder tahun 2016 pada Gambar 10.



Gambar 10 Grafik HSS Snyder Tahun 2016

2. Tahun 2020

- a. Menentukan C_t dan C_p

$C_t = 1,85$, DAS Code sebagian merupakan daerah yang tidak landau dan dengan

perubahan lahan yang terjadi maka terjadi sedikit perubahan nilai C_t .

$C_p = 0,60$, angka tersebut dipilih tahun tersebut karena terjadi peningkatan kekedapan sehingga berpotensi berkurangnya air hujan yang meresap.

- b. Menentukan nilai waktu dari titik berat durasi hujan efektif TR' ke puncak hidrograf satuan durasi standar dari hujan efektif dengan menggunakan persamaan 11.

$$T_L = 0,75 \times 1,85 (39,21 \times 13,07)^{0,3} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 9,02 \text{ Jam}$$

- c. Menentukan durasi standar hujan efektif (TR') dengan menggunakan persamaan 12.

$$TR' = \frac{9,02}{5,5} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 1,64 \text{ Jam}$$

- d. Apabila durasi hujan efektif t_R tidak sama dengan durasi standar TR' , maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 13.

$$T_{L(adj.)} = 9,02 + 0,25 \times (4 - 1,64) \dots\dots\dots(7)$$

$$= 9,61 \text{ Jam}$$

- e. Menentukan nilai debit puncak untuk durasi TR' dengan menggunakan persamaan 14.

$$Q_p = 0,275 \times \frac{0,60 \times 39,67}{9,61} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 0,68 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- f. Menentukan waktu dasar hidrograf satuan dengan menggunakan persamaan 15.

$$T_B = 3 + \frac{9,61}{8} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 4,20 \text{ Hari}$$

$$= 101 \text{ Jam}$$

- g. Menentukan debit puncak (Q_p) untuk durasi hujan efektif (t_r) dengan menggunakan persamaan 16.

$$Q_{pR} = 0,68 \times \frac{9,02}{9,61} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 0,64 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- h. Menghitung lebar unit hidrograf pada debit 50% dan 75% dengan menggunakan persamaan 17 dan 18.

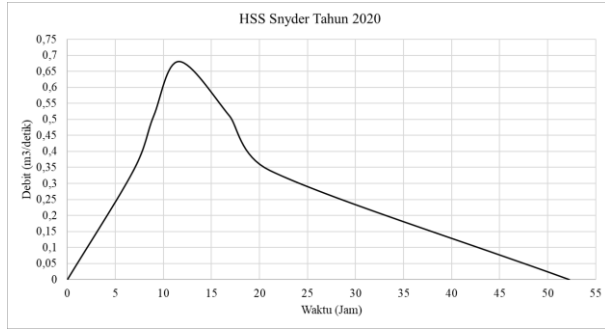
$$W_{50} = 0,18 \times \left(\frac{0,68}{39,67} \right)^{-1,075} \dots\dots\dots(9)$$

$$= 14 \text{ Jam}$$

$$W_{75} = 0,10 \times \left(\frac{0,68}{39,67} \right)^{-1,075} \dots\dots\dots(9)$$

$$= 8 \text{ Jam}$$

Grafik HSS Snyder tahun 2020 pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik HSS Snyder Tahun 2020

Peningkatan C sebesar 5% mengakibatkan perubahan C_p dari 0,4 menjadi 0,6. C_p yang merupakan koefisien karakteristik DAS akan seiring dengan koefien limpasan. Hal tersebut menunjukan pengaruh yang signifikan setiap perubahan tata guna lahan akan diikuti dengan perubahan karakteristik lahan. Perubahan karakteristik lahan tentu akan meningkatkan besarnya debit puncak.

Uji Validasi RMSE

Pada penelitian ini uji validasi akan dibantu dengan menggunakan metode RMSE yang dapat dilihat pada persamaan 20. Pada metode ini tingkat keakuratan data dapat dilihat dari hasil RMSE yang semakin mendekati 0 maka nilai prediksi semakin akurat.

1. Tahun 2016

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{(10,19 - 10,12)^2}{51}} \dots\dots\dots(10)$$

$$= 0,01$$

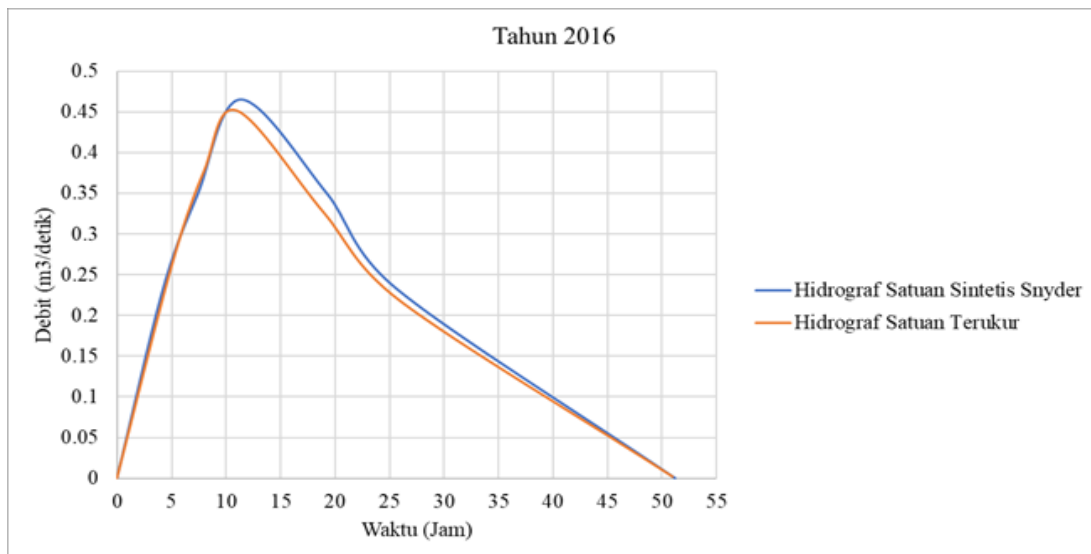
Berdasarkan hasil analisis RMSE diperoleh nilai sebesar 0,01, dimana hasil pengamatan atau nilai dari Hidrograf Satuan Terukur dikurang dengan nilai prediksi pada penelitian ini nilai HSS *Snyder* dengan nilai C_t sebesar 1,80 dan C_p sebesar 0,40. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa nilai RMSE mendekati 0 serta <10% yang menyatakan bahwa nilai prediksi akurat.

2. Tahun 2020

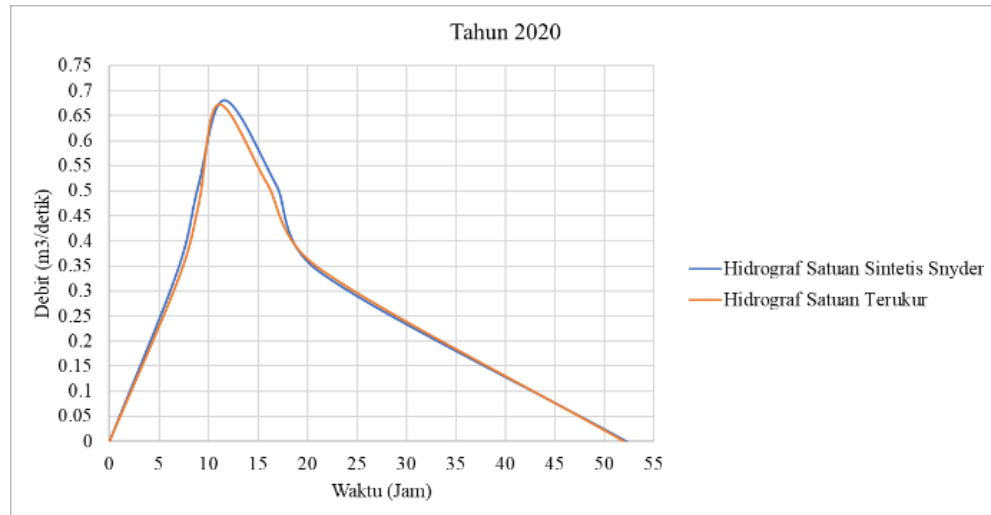
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{(13,82 - 13,57)^2}{52}} \dots\dots\dots(10)$$

$$= 0,03$$

Berdasarkan hasil analisis RMSE diperoleh nilai sebesar 0,03, dimana hasil pengamatan atau nilai dari Hidrograf Satuan Terukur dikurang dengan nilai prediksi pada penelitian ini nilai HSS *Snyder* dengan nilai C_t sebesar 1,85 dan C_p sebesar 0,60. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa nilai RMSE mendekati 0 serta <10% yang menyatakan bahwa nilai prediksi akurat. Grafik Hidrograf Satuan Terukur dan HSS *Snyder* tahun 2016 pada Gambar 12. Sedangkan Grafik Hidrograf Satuan Terukur dan HSS *Snyder* tahun 2020 pada Gambar 13. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan HSS *Snyder* dapat digunakan untuk menentukan debit puncak untuk mengetahui gambaran awal suatu DAS.



Gambar 12 Grafik Hidrograf Satuan Terukur dan HSS *Snyder* Tahun 2016



Gambar 13 Grafik Hidrograf Satuan Terukur dan HSS Snyder Tahun 2020

KESIMPULAN

Perubahan tata guna lahan yang terjadi ditunjukkan dengan kenaikan nilai koefisien limpasan (C) dari 0,40 pada tahun 2016 menjadi 0,45 pada tahun 2020. Hal tersebut menunjukkan kenaikan kekedapan permukaan lahan sebesar 5%.

Perubahan tata guna lahan yang terjadi mengakibatkan perubahan nilai parameter karakteristik DAS (C_p) dari 0,4 pada tahun 2016 menjadi 0,6 pada tahun 2020. Hal tersebut menunjukkan perubahan karakteristik DAS yang cenderung semakin kedap. Perubahan tata guna lahan yang terjadi juga mengakibatkan perubahan nilai parameter kemiringan DAS (C_t) yang sangat kecil. Nilai RMSE yang dibawah 10%, menunjukkan bahwa metode HSS Snyder cocok digunakan untuk DAS yang sangat kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta melalui Hibah Internal yang membantu selesainya penelitian ini. Ucapan terima kasih dapat juga disampaikan kepada mahasiswa yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusalim, M., & Nanda, A. R. (2018). Perbandingan Hidrograf Satuan Amatan Dan Hidrograf Satuan Sintesis (Das Maros Sub Das Maros Tompobulu). *Teknik Hidro*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.26618/th.v11i1.2435>
- Anam, S; Noerhayati, E; Rachmawati, A. (2020). Studi Pengembangan Jaringan Irigasi Sprinkler Berbasis Gravitasi di Desa Poncokusumo

Kabupaten Malang. *Universitas Islam Malang*, 8(3), 162–173.

- Armston, J. D. (2009). Prediction and validation of foliage projective cover from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+ imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 3(1), 033540. <https://doi.org/10.1117/1.3216031>
- Aryani, N., Ariyanti, D. O., & Ramadhan, M. (2020). Pengaturan Ideal tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai di Indonesia (Studi di Sungai Serang Kabupaten Kulon Progo). *Jurnal Hukum Iust Quia Iustum*, 27(3), 592–614. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol27.iss3.art8>
- Barid, B., & Afanda, B. O. (2022). Increasing Peak Flow of Snyder Synthetic Hydrograph Units in the Serenan Sub-Watershed of Bengawan Solo Watershed. *Astonjadro*, 11(3), 616. <https://doi.org/10.32832/astonjadro.v11i3.7456>
- BSN. (2002). Standar Nasional Indonesia No. 19-6728.1-2002 Penyusunan Neraca Sumber Daya - Bagian 1: Sumber Daya Air Spasial. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, ICS 13.060, 10.
- Budi, A., Dosen, S., Teknik, J., Universitas, S., Achmad, J., Jalan, Y., Jenderal, T., & Cimahi, S. (2012). Kajian Validitas Berbagai Metode Hidrograf Satuan Sintetik Dalam Aplikasinya Untuk Daerah Aliran Sungai Tak Terukur. *Jurnal Sumber Daya Air*, 8(Mei), 1–14.
- Budiyanto, M. A. (2018). Penelusuran Waktu Perjalanan Banjir Dari Hulu Ke Hilir Sungai Code Sebagai Pertimbangan Early Warning Sistem. *CivETech*, 13(1), 41–52.

- <https://doi.org/10.47200/civitech.v13i1.248>
- Harisuseno, D., Wahyuni, S., & Dwirani, Y. (2020). Penentuan Formulasi Empiris Yang Sesuai Untuk Mengestimasi Kurva Intensitas Durasi Frekuensi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(1), 47–60. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2020.011.01.06>
- Helena Abighail, S., Kridasantausa (alm.), I., Farid, M., & Moe, I. R. (2022). Pemodelan Banjir akibat Perubahan Tata Guna Lahan di Daerah Aliran Sungai Ciliwung. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(1). <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.1.6>
- Herdiaprila, T., & Hartati, E. (2023). Penentuan Koefisien Limpasan Rata-Rata (Cr) Tata Guna Lahan Kelurahan Sukamiskin Kecamatan Arcamanik Kota Bandung. VIII(2).
- Indarto, I., & Herlinda, N. D. (2020). Aplikasi Metode Pemisahan Aliran Dasar Berbasis Grafis Digital: Studi Pendahuluan Di Wilayah DAS Brantas. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 11–22. <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.487>
- 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. <https://doi.org/10.22487/renstra.v2i2.334>
- Kementerian Kehutanan. (2013). Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor: P. 3/V-Set/2013 Tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Biro Hukum Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.
- Kristianto, A. B., Nyoman, N. I., Sila, D. I. G. B., & Yekti, M. I. (2019). Comparative Model of Measured Unit Hydrograph (Case Study of Tukad Pakerisan Watershed). 7(1), 21–31.
- Kusumastuti, C., Ruslan, D., Edgar, A. W., & Evan, A. R. (2015). Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Besarnya Debit Banjir di Kabupaten Probolinggo. *Pertemuan Ilmiah Tahunan XXXVHATHI*, 2015, 1–10.
- Maulina, S. M., & Christiana, R. (2022). Sungai Tayan. *E_Journal Teknologi Infrastruktur*, 1(1), 1–10. <https://jurnal.upb.ac.id/index.php/ft>
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Journal of Regional and City Planning*, 24(3), 241. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2013.24.3.1>
- Suprayogi, I., Trimaijon, & Mahyudin. (2014). Model Prediksi Liku Kalibrasi Menggunakan Pendekatan Jaringan Saraf Tiruan (ZST) (Studi Kasus : Sub DAS Siak Hulu). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–18.
- Syahrul Ramadhani, Yohanna Lilis Handayani, & Sigit Sutikno. (2018). Analisis Kalibrasi Model Hss Clark Dengan Menggunakan Program Hec-Hms. *Sainstek (e-Journal)*, 6(2), 15–22. <https://doi.org/10.35583/js.v6i2.5>
- Wardhani, P. P. (2012). Analisis Banjir Tahunan Daerah Aliran Sungai Keduang. <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/27415/NTgwMzY=/Analisis-Banjir-Tahunan-Daerah-Aliran-Sungai-Keduang-abstrak.pdf>
- YAMIN, M. (2019). Studi Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetis Snyder Untuk Sungai – Sungai Di Sulawesi Selatan. *Ganec Swara*, 13(1), 126. <https://doi.org/10.35327/gara.v13i1.72>
- Yuli Yani, P. R., Saidah, H., & Wirahman, L. (2021). Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman Di Stasiun Hujan Jurang Sate Dan Stasiun Hujan Lingklok Lime Pada Wilayah Lombok Tengah. *Spektrum Sipil*, 8(1), 41–54. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i1.199>
- Zulfa, G. F., Purnaditya, N. P., Wigati, R., Subekti, S., & Priyambodho, B. A. (2023). Prediction of Snyder Synthetic Unit Hydrograph Coefficient for Cidurian Watershed. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 271. <https://doi.org/10.36055/fondasi.v12i2.22046>