

PENGEMBANGAN SISTEM BERBASIS WEB UNTUK ANALISIS CURAH HUJAN EFEKTIF DAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIS MENGGUNAKAN PYTHON

Miftah Hazmi^{1*}, Eka Oktariyanto Nugroho^{2,3}, Dantje Kardana Natakusumah^{2,3},
Putu Joni Wiryadi¹, Eko Triaji¹, Fiqih Jul Fachri⁴, Humaidi⁵

¹ BBWS Ciliwung Cisadane, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR

² Kelompok Keahlian Teknik Sumberdaya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Teknologi Bandung

³ Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrodinamika Pusat Teknologi Industri,
Institut Teknologi Bandung

⁴ BWS Papua Merauke, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR

⁵ Direktorat Sungai dan Pantai, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR

*miftahhazmi@pu.go.id

Pemasukan: 12 Desember 2024 Perbaikan: 28 Juni 202 Diterima: 28 Juni 202

Intisari

Mengembangkan modul pemrograman berbasis web untuk pemodelan curah hujan efektif dan hidrograf dengan Python merupakan langkah penting dalam meningkatkan efisiensi analisis hidrologi. Dengan memanfaatkan teknologi informasi, modul ini memungkinkan praktisi hidrologi untuk menghitung analisis hujan efektif, serta membangun hidrograf satuan sintetis yang umum digunakan di Indonesia. Pendekatan *Open-Source* yang diadopsi dalam pengembangan modul ini tidak hanya memastikan ketersediaannya secara terbuka bagi komunitas hidrologi, insinyur, dan peneliti, tetapi juga mendorong kolaborasi untuk meningkatkan fungsionalitas dan kualitasnya. Penelitian ini memperkenalkan modul HydroCalc untuk perhitungan infiltrasi dengan metode SCS-CN dan Horton, serta perhitungan hidrograf satuan sintetis (HSS) dengan metode SCS, Snyder, ITB 1, dan ITB 2. Modul ini kemudian di-*deploy* agar dapat diakses secara online menggunakan *framework* Streamlit. Selain itu, dilakukan verifikasi hasil antara perhitungan dengan modul HydroCalc dan perhitungan menggunakan perangkat lunak lain seperti HEC-HMS dan Excel. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa perbedaan nilai Q peak untuk metode HSS SCS dan Snyder adalah < 15%, sedangkan untuk metode ITB 1 dan ITB 2 adalah < 0,5%. Untuk nilai T peak, hasil antara HydroCalc dan verifikasi memiliki kesamaan yang signifikan. Dengan demikian, modul ini dapat memberikan kontribusi dalam proses kalkulasi hidrologi secara efisien dan membuka peluang pengembangan lebih lanjut di masa depan.

Kata kunci: Python, Berbasis Web, Analisis Hidrologi, Hidrograf Satuan Sintetis

Latar Belakang

Analisis hidrologi merupakan aspek penting dalam pengelolaan sumber daya air, yang meliputi perhitungan hujan efektif dan pemodelan hidrograf. Dengan kemajuan teknologi informasi, pengembangan alat pemrograman yang mampu

mempercepat dan mempermudah proses ini menjadi sangat penting. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Python yang kaya akan pustaka dan kerangka kerja, serta mengembangkan modul berbasis web yang dapat diakses oleh para praktisi hidrologi. Pengembangan aplikasi web untuk sumber daya air telah menjadi semakin populer untuk menyajikan sejumlah besar data yang tersedia secara publik dengan cara yang mudah diakses dan diintegrasikan. Hal ini bertujuan untuk membantu para profesional dan ilmuwan dalam proses pengambilan keputusan (Swain *et al.*, 2015; Erazo Ramirez *et al.*, 2022).

Salah satu model hidrologi yang fundamental dalam bidang sumber daya air adalah hujan efektif dan hidrograf satuan sintesis. Perhitungan hujan efektif diperlukan dalam memperkirakan debit yang runoff dari hujan yang terjadi selanjutnya dengan model hidrograf satuan sintesis dapat menampilkan besarnya debit aliran pada setiap waktunya di titik outlet DAS (Bronstert, Niehoff and Schiffler, 2023).

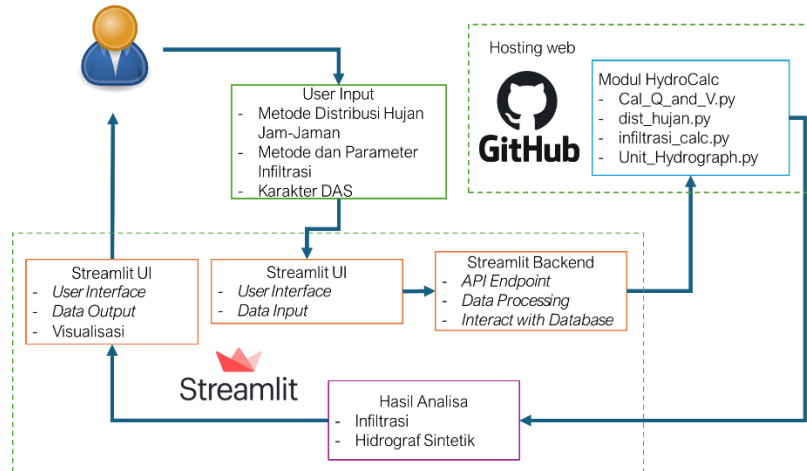
Di Indonesia, metode infiltrasi seperti Horton atau SCS-CN dan konstruksi hidrograf satuan sintesis sering digunakan dalam analisis hidrologi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah modul yang dapat mengotomatisasi proses ini dan menyajikan hasilnya dengan cepat dan akurat. Pengembangan modul ini juga diharapkan dapat mendukung kolaborasi antar peneliti dan praktisi dengan pendekatan *Open-Source*, sehingga dapat terus dikembangkan dan disempurnakan.

Modul ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi analisis hidrologi dengan menyediakan alat yang praktis dan mudah digunakan oleh pengguna dari berbagai latar belakang. Dengan demikian, modul ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat dalam pemahaman dan pengelolaan sumber daya air.

Metodologi Studi

Dalam penelitian ini, untuk membuat aplikasi website menggunakan Streamlit, dilakukan beberapa langkah penting yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pertama, pendaftaran akun di *GitHub* dan *Streamlit* diperlukan sebagai platform pengembangan dan penyimpanan kode. Selanjutnya, dalam lingkungan Python, beberapa *plugin* penting seperti *Pandas*, *NumPy*, *Bokeh*, *Matplotlib*, dan *Streamlit* diunduh untuk mendukung proses perhitungan. Setelah itu, dilakukan pengembangan skrip Python untuk perhitungan infiltrasi SCS-CN dan Horton menggunakan `infiltrasi_calc.py`, dan perhitungan hidrograf satuan sintetik (HSS) SCS, Snyder, ITB 1 dan ITB 2 menggunakan `Unit_Hydrograph.py`. Untuk mendukung kedua perhitungan ini, dibuat juga modul `dist_hujan.py` untuk distribusi data hujan jam-jaman dan `Cal_Q_and_V.py` untuk perhitungan superposisi hujan efektif jam-jaman dengan hidrograf satuan sintetik. Selanjutnya, modul-modul perhitungan tersebut diintegrasikan dengan antarmuka pengguna menggunakan Streamlit, yang memungkinkan pengguna untuk memasukkan parameter-parameter yang diperlukan untuk perhitungan. Hasil dari aplikasi ini disimpan di repositori pribadi di *GitHub* untuk manajemen versi dan kolaborasi (Hanansyah *et al.*, 2022). Pada tahap terakhir, aplikasi yang telah dikembangkan di-deploy menggunakan *Streamlit* agar dapat diakses secara online. Penting untuk

memastikan bahwa antarmuka aplikasi berjalan dengan baik dan menghasilkan *output* yang sesuai dengan yang diharapkan. Jika terdapat kesalahan atau perbaikan yang diperlukan, skrip dapat diperbaiki langsung di *GitHub* sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 1. Bagan Alir Pengembangan Web Dengan Streamlit

Infiltrasi

Model SCS-CN

The Soil Conservation Service (SCS) mengusulkan perhitungan infiltrasi dengan metode SCS-CN untuk menghitung hujan efektif dan kapasitas infiltrasi dari suatu peristiwa hujan. Metode ini didasarkan pada persamaan neraca air dan dua hipotesis fundamental. Hipotesis pertama menyamakan rasio kedalaman limpasan permukaan (Q) terhadap total curah hujan (P) (atau limpasan permukaan potensial maksimum) dengan rasio jumlah infiltrasi kumulatif (F) terhadap jumlah retensi maksimum potensial (S) (Pishvaei *et al.*, 2020). Hipotesis kedua menghubungkan abstraksi awal ($I_a = 0,2S$) dengan retensi maksimum potensial. Dengan demikian, metode SCS-CN terdiri dari:

Persamaan neraca air :

$$P = I_a + F + Q \quad (1)$$

Hipotesis kesetaraan proporsional:

$$\frac{Q}{P-I_a} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

Dengan menggabungkan 2 persamaan diatas, curah hujan efektif diperoleh:

$$Q = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (3)$$

Initial abstraction, yang terjadi dari awal hujan hingga saat terjadinya genangan (yaitu saat limpasan mulai), dapat ditambahkan ke infiltrasi kontinu (F) untuk mendapatkan variabel yang disebut infiltrasi total (F_t) yang mencakup seluruh efek dari angka kurva dalam metode SCS-CN. Dalam studi ini, variasi F_t sepanjang

lereng bukit kompleks diperiksa. Menggabungkan Persamaan (3), (4) dan $F_t = F + I_a$ memberikan:

$$\text{Jika } P > I_a \text{ maka } F_t = \frac{S(P-I_a)}{P-I_a+S} + I_a \quad (4)$$

$$\text{Jika } P > I_a \leq I_a \text{ maka } F_t = P \quad (5)$$

Untuk nilai S (dalam mm) adalah

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \quad (6)$$

Model Horton

Model Horton memperkenalkan persamaan tiga parameter untuk mengestimasi infiltrasi tanah. Modelnya diungkapkan dengan persamaan berikut (Horton, 1939):

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (7)$$

Dimana $f(t)$ adalah laju infiltrasi pada waktu t. f_c adalah laju infiltrasi akhir atau konstan ketika t sangat besar. f_0 adalah laju infiltrasi awal saat $t=0$, dan k adalah koefisien penurunan atau laju di mana laju infiltrasi mendekati f_c

Hidrograf satuan sintesis

Metode “Soil Conservation Service” (SCS) – USA

Hidrograf satuan tak berdimensi SCS adalah hidrograf sintetis yang diekspresikan dalam bentuk perbandingan antara debit q dengan debit puncak q_p dan waktu t dengan waktu naik (*time of rise*) T_p seperti terlihat Gambar 1 a-Hidrograf satuan sintetis SCS dan Tabel 1 dengan memperhatikan koordinat dari hidrograf ini. Nilai q_p dan T_p dapat diperkirakan dengan menggunakan penyederhanaan model hidrograf satuan segitiga seperti Gambar 1 b-Hidrograf satuan sintetis SCS dengan satuan waktu jam dan debit dalam m^3/s .

Dalam kajian terhadap banyak hidrograf satuan, waktu turun (*time of recession*) dapat diperkirakan sebesar $1,67 T_p$ dan basis hidrograf $t_b = 2,67 T_p$. Untuk limpasan langsung (*direct runoff*) sebesar 1 cm diperoleh debit puncak.

$$T_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385} \quad (8)$$

$$t_p = 0.6 T_c \quad (9)$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (10)$$

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (11)$$

Keterangan: q_p adalah puncak hidrograf satuan (m^3/s); C adalah konstanta = 2,08; A adalah luas DAS (km^2); T_p adalah waktu naik atau waktu yang diperlukan antara permulaan hujan hingga mencapai puncak hidrograf (jam). t_p adalah waktu

kelambatan yaitu waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam); T_c adalah waktu konsentrasi yang dapat dihitung dengan persamaan Kirpich (1940). T_c adalah waktu konsentrasi (menit); L adalah panjang maksimum lintasan air (m); S adalah kemiringan (*slope*) DAS. T_p adalah waktu naik (jam); t_r adalah lama terjadinya hujan efektif (jam); t_p adalah waktu kelambatan (jam).

Tabel 1. Nilai t/t_p dan q/q_p HSS SCS

t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p
0	0	1.1	0.98	2.8	0.098
0.1	0.015	1.2	0.92	3.0	0.075
0.2	0.075	1.3	0.84	3.5	0.036
0.3	0.16	1.4	0.75	4.0	0.018
0.4	0.28	1.5	0.66	4.5	0.009
0.5	0.43	1.6	0.56	5.0	0.004
0.6	0.60	1.8	0.42		
0.7	0.77	2.0	0.32		
0.8	0.89	2.2	0.24		
0.9	0.97	2.4	0.18		
1.0	1.00	2.6	0.13		

(Sumber : SNI 2415-2016)

Metode sintetik hidrograf satuan dari Snyder

Snyder mengembangkan model dengan koefisien-koefisien empirik yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa pengalihragaman hujan menjadi aliran baik pengaruh translasi maupun tampungannya dapat dijelaskan dipengaruhi oleh sistem DASnya.

Perhitungan Hidrograf satuan dari Snyder :

$$t_p = C_1 (L L_c)^{T_L} \quad (12)$$

$$q_p = 275 \frac{C_p}{t_p} \quad (13)$$

$$t_c = \frac{t_p}{5.5} \quad (14)$$

Tabel 2. Ketentuan Waktu Penaikan Banjir (T_p) HSS Snyder

$t_c > t_R$	$t_c < t_R$
$t'_p = t_p + 0.25 (t_R - t_c)$	$T_p = t_p + 0.5 t_R$
$T_p = t'_p + 0.5 (t_R - t_c)$	

Bentuk dari Hidrograf satuan ditentukan oleh persamaan Alexseyev.

$$Q = f(t) \quad (15)$$

$$Y = \frac{Q_x}{Q_p} = \frac{t}{T_p} \quad (16)$$

$$Y = 10^{-a} \frac{(1-x)^2}{x} \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{Q_p T_p}{W} \quad (18)$$

$$a = 1.32\lambda^2 + 0.15\lambda + 0.045 \quad (19)$$

$$W = 1000 h A \quad (20)$$

Keterangan : L adalah panjang sungai (km); Lc adalah panjang sungai dari titik berat basin ke outlet (km), tp adalah waktu dari titik berat curah hujan efektif ke puncak banjir, C1 adalah koefisien-koefisien yang tergantung dari karakteristik daerah pengalirannya, qp adalah debit maksimum hidrograf satuan (liter/det/km²), Cp adalah koefisien tergantung dari karakteristik daerah pengalirannya, tc adalah lamanya curah hujan efektif, Tp adalah waktu penaikan banjir (*time rise to peak*), Tr adalah durasi hujan efektif (jam), Qp adalah debit maksimum total (m³/s), qp adalah debit maksimum hidrograf satuan (1 liter/s/km²), A adalah luas daerah aliran (km²), h adalah curah hujan efektif (SNI 2415:2016)

Metode ITB 1 dan ITB 2

Untuk menganalisis hidrograf satuan sintesis pada suatu DAS dengan cara ITB perlu diketahui beberapa komponen penting pembentuk hidrograf satuan sintesis yaitu tinggi dan durasi hujan satuan, *Time Lag* (TL) Waktu Puncak (Tp) dan Waktu Dasar (Tb), Bentuk Hidrograf Satuan dan debit puncak Hidrograf Satuan. Dari definisi hidrograf satuan sintesis dan prinsip konservasi massa, dapat disimpulkan bahwa volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata di seluruh DAS harus sama volume hidrograf satuan sintetis dengan waktu puncak (Tp) sehingga akan diketahui debit puncaknya:

Untuk HSS ITB-1 rumus *Time Lag* sebagai berikut:

$$T_L = C_t 0.81225 L^{0.6} \quad (21)$$

Untuk HSS ITB-2 rumus *Time Lag* sebagai berikut:

$$T_L = C_t (0.0394 L + 0.201 L^{0.5}) \quad (22)$$

Jika Tr adalah durasi hujan satuan, maka waktu puncak Tp didefinisikan sebagai berikut:

$$T_p = T_L + 0.50 T_r \quad (23)$$

Untuk nilai Tb digunakan rumus sebagai berikut :

$$T_b = 20 T_p \quad (24)$$

Dan rumus debit puncak sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{R}{3.6 T_p} \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}} \quad (25)$$

Dimana nilai A_{HSS} dari kurva HSS ITB-1 dan ITB-2 tak berdimensi dapat dihitung secara eksak atau numerik.

Keterangan: T_L adalah *time lag* (jam), C_t adalah koefisien waktu, L adalah panjang sungai (km), T_b adalah waktu dasar, T_p adalah waktu puncak, R adalah curah hujan satuan (1 mm), A_{DAS} adalah Luas DAS (km²), A_{HSS} adalah luas kurva hidrograf satuan tak berdimensi.

Python

Python telah menjadi populer karena berbagai alasan, termasuk sintaksnya yang sederhana dan mirip dengan *pseudocode*; modularitasnya; desain berorientasi objek; kemampuan profiling, portabilitas, pengujian, dan dokumentasi otomatisnya; serta keberadaan perpustakaan Numerik yang memungkinkan penyimpanan dan penanganan sejumlah besar informasi numerik secara efektif. (Nagpal and Gabrani, 2019)

Github

GitHub adalah platform hosting kode sosial yang paling banyak digunakan, berbasis *Git*, sebuah sistem kontrol versi terdistribusi. Platform ini memperkenalkan aspek sosial dalam pengembangan perangkat lunak di mana pengguna dapat menjelajahi, meng-kloning, dan bahkan berkontribusi pada proyek yang dibuat dan dikelola oleh orang lain. Platform seperti ini memfasilitasi pengembangan *agile* dan memiliki potensi untuk mengatasi masalah seperti kolaborasi, komunikasi, dan konflik kode. (Sanatinia and Noubir, 2016)

Streamlit

Streamlit adalah *framework* pengkodean Python *open-source* untuk membangun aplikasi web, dan saat ini digunakan oleh para peneliti untuk membagikan kumpulan data besar dari studi yang dipublikasikan dan sumber daya lainnya. (Nápoles-Duarte *et al.*, 2022) Streamlit dikenal karena dokumentasinya yang sangat baik, yang semakin memudahkan pekerjaan.

Hasil Studi dan Pembahasan

Berikut adalah hasil dari kalkulasi infiltrasi dan hidrograf satuan sintetik menggunakan bahasa pemrograman Python dengan modul *HydroCalc* yang telah dibuat, diikuti dengan membuat aplikasi web menggunakan *Streamlit*.

Hasil Desain Aplikasi Web

Hasil dari kode python yang telah di deploy dengan *streamlit* dapat di akses pada halaman web https://bit.ly/Haz_HydroCalc. Pada web tersebut memuat informasi singkat terkait aplikasi web, input parameter infiltrasi dan HSS dan hasil kalkulasi perhitungan yang tergambar pada Gambar 2.

Input Parameter untuk Hujan Efektif

Masukkan Hujan Rencana (mm):

132.900 - +

Masukkan Area Reduction Factor (ARF):

0.970 - +

Pilih Metode Infiltrasi:

☒ SCS-CN

☐ Horton

Masukkan CN:

78.39 - +

Masukkan Im (%):

7.42 - +

Pilih Metode Distribusi Hujan Jam-Jaman:

☒ PSA-007

☐ ITB

Pilih Hujan Jam-Jaman (Jam):

☒ 1

Jumlah Jam Hujan (Jam):

☒ 6

☐ 12

☐ 24

Input Parameter HSS

Masukkan Nama DAS atau Subdas:

Masukkan Panjang Sungai (km):

28.763 - +

Masukkan Panjang Sungai Centroid (km):

17.165 - +

Masukkan Nilai Slope Sungai (m/m):

0.047940 - +

Masukkan Luas DAS (km2):

52.297 - +

Masukkan nilai ct:

1 - +

Masukkan nilai cp:

1 - +

Masukkan Lamanya waktu Hidrograf:

50 - +

Gambar 2. Tampilan Data Input

Dengan memasukkan input data parameter yang dibutuhkan selanjutnya akan menghasilkan analisis infiltrasi dan hidrograf satuan sintetik disajikan seperti pada Gambar 3 dan 4.

Hasil Analisis Infiltrasi

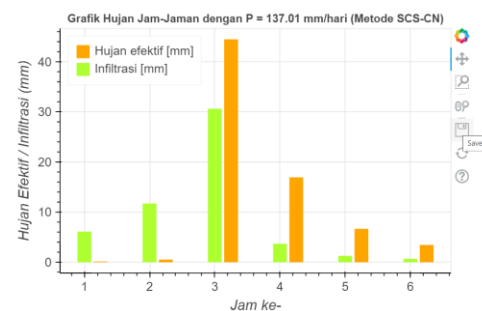
Nilai Initial Abstraction adalah 14.004 mm

Download as CSV

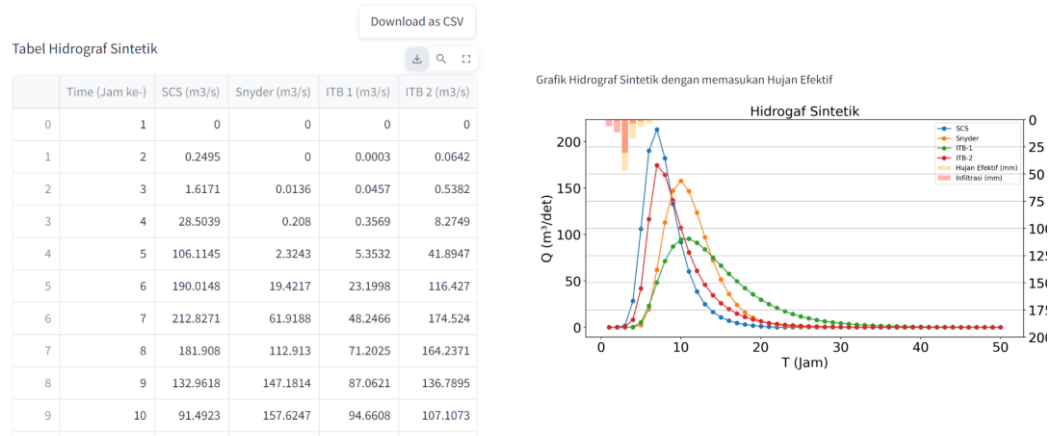
Tabel Hasil Analisis Infiltrasi Jam-Jaman

	Jam ke-	Hujan Rencana	Hujan Rencana (ARF)	Infiltrasi	Hujan Efektif
0	1	6.645	6.4457	5.9674	0.478
1	2	13.29	12.8913	11.5854	1.305
2	3	79.74	77.3478	30.5122	46.835
3	4	21.264	20.6261	3.5374	17.088
4	5	7.974	7.7348	1.1187	6.616
5	6	3.987	3.8674	0.5243	3.343

Grafik Infiltrasi Jam-jaman



Gambar 3. Tampilan Tabel dan Grafik Hasil Analisis Infiltrasi



Gambar 4. Tampilan Tabel dan Grafik Analisis Hidrograf Satuan Sintetik

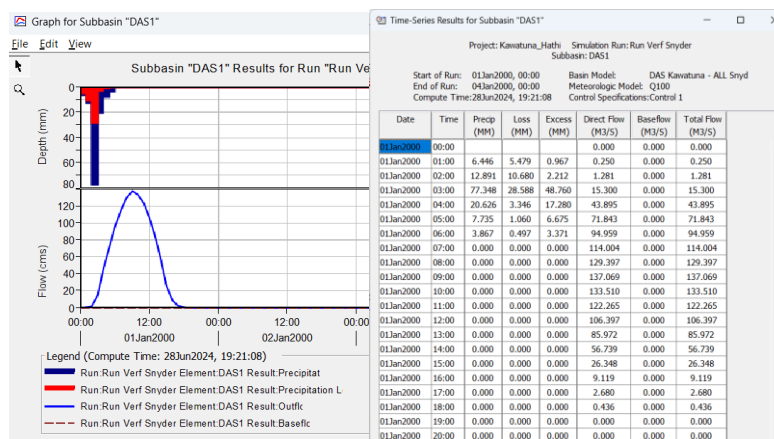
Tabel hasil analisis infiltrasi dan hidrograf sintetik dapat didownload dalam bentuk csv dengan *hovering mouse* ke sisi kanan atas tabel sehingga user mendapat keleluasaan untuk menggunakan sebagai input data pada program lainnya.

Dalam penelitian ini dilakukan verifikasi hasil kalkulasi antara modul *HydroCalc* dengan perhitungan menggunakan software HEC-HMS untuk kalkulasi infiltrasi metode SCS-CN dan hidrograf satuan sintesis (HSS) metode SCS dan Snyder. Selain itu, hidrograf satuan sintesis metode ITB 1 dan ITB 2 dihitung menggunakan Excel. Studi kasus yang digunakan untuk verifikasi adalah dengan input paramater sebagai berikut:

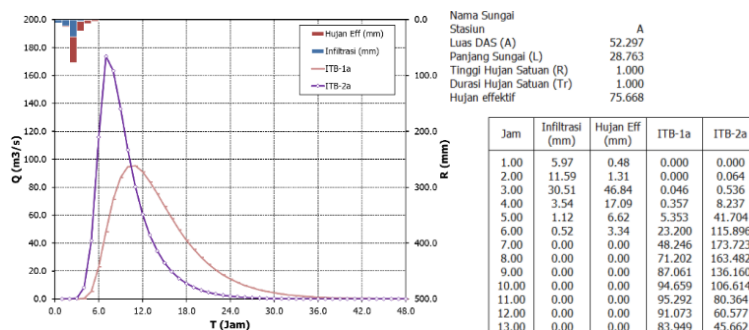
Tabel 3. Input Parameter untuk Verifikasi *Module HydroCalc*

Input Parameter	Simbol	Nilai
Metode Distribusi Hujan Jam-Jaman:		PSA-007
Pilih Hujan Jam-Jaman (Jam):		1
Jumlah Jam Hujan (Jam):		6
Hujan Rencana (mm):	P	132.9
Area Reduction Factor:	ARF	0.97
Metode Infiltrasi		SCS-CN
Nilai CN	CN	78.39
Impervious (%)	Im	7.42
Panjang Sungai (km):	L	28.763
Panjang Sungai Centroid (km):	Lc	17.165
Slope Sungai (m/m)	S	0.04794
Luas DAS (km ²)	A	52.297
ct	ct	1
cp	cp	1
Waktu Running Hidrograf (Jam)		50

Dari input-input paramater pada Tabel 3 dengan HEC-HMS didapatkan hasil perhitungan infiltrasi berikut hidrograf sintetik snyder dan SCS pada Gambar 5. Untuk perhitungan ITB 1 dan ITB 2 menggunakan Excel dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Perhitungan HSS Snyder Menggunakan Software HEC-HMS



Gambar 6. Hasil Perhitungan HSS ITB 1 dan ITB 2 Menggunakan Software Excel

Selanjutnya hasil kalkulasi menggunakan module *HydroCalc* yang di akses di halaman web https://bit.ly/Haz_HydroCalc dibandingkan dengan perhitungan di atas. Pengujian yang dilakukan meliputi persentase selisih untuk setiap metode hidrograf sintetik, persentasi perbedaan nilai Q_{peak} dan T_{peak} yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Verifikasi Debit Puncak Q_p (m^3/s)

Metode HSS	Debit Puncak Q_p (m^3/s)		Selisih Q_p (m^3/s)	Persentase selisih (%)
	Modul HydroCalc	Verifikasi		
SCS	212.83	201.55	11.28	5.60%
Snyder	157.62	137.07	20.56	15.00%
ITB 1	95.29	95.29	0	0.00%
ITB 2	174.52	173.72	0.8	0.46%

Tabel 5. Verifikasi Debit Puncak T_p (Jam)

Metode HSS	Waktu Puncak T_p (jam)		Selisih T_p (jam)	Persentase selisih (%)
	Modul HydroCalc	Verifikasi		
SCS	7	7	0	0.00%
Snyder	10	10	0	0.00%
ITB 1	11	11	0	0.00%
ITB 2	7	7	0	0.00%

Dari Tabel 4, terlihat adanya perbedaan nilai RMSE dan Q peak untuk HSS SCS dan Snyder ketika dibandingkan dengan modul *HydroCalc*. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan formula transform yang digunakan dalam software HEC-HMS dan SNI 2415:2016, dimana modul *HydroCalc* mengimplementasikan formula dari SNI 2415:2016. Sebaliknya, metode ITB 1 dan ITB 2 menunjukkan selisih yang sangat kecil pada nilai RMSE dan Q peak. Adapun nilai T *peak* untuk seluruh metode menunjukkan hasil yang konsisten dan sama.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pemanfaatan sistem berbasis web dengan bahasa pemrograman Python memiliki potensi yang sangat besar untuk kemajuan di bidang sumber daya air. Dari hasil penelitian yang dilakukan, perhitungan hujan efektif dengan menggunakan metode SCS-CN memiliki nilai yang sama dengan HEC-HMS. Selain itu, nilai hidrograf satuan sintetis (HSS) yang dihasilkan oleh modul *HydroCalc* menunjukkan hasil yang cukup baik ketika dibandingkan dengan software HEC-HMS dan Excel. Penggunaan kalkulasi berbasis web pada halaman web https://bit.ly/Haz_HydroCalc menghasilkan hasil yang lebih cepat dan mudah digunakan. Sistem ini dapat diakses dari mana saja dan kapan saja tanpa perlu menginstal software atau menggunakan komputer tertentu. Oleh karena itu, aplikasi yang dikembangkan ini dapat membantu dalam perhitungan hidrologi di masa depan. Lebih lanjut, penggunaan bahasa Python yang bersifat *open-source* memungkinkan pengembangan lebih lanjut oleh peneliti lain untuk perbaikan modul *HydroCalc*.

Saran

Untuk memaksimalkan potensi dari aplikasi berbasis web ini, disarankan agar pengembangan lebih lanjut difokuskan pada peningkatan antarmuka pengguna agar lebih intuitif dan *user-friendly*. Selain itu, menambahkan fitur-fitur tambahan seperti analisis sensitivitas dan visualisasi data yang lebih komprehensif dapat meningkatkan nilai aplikasi ini. Kolaborasi dengan peneliti lain dan komunitas *open-source* juga akan sangat bermanfaat dalam memperbaiki dan memperluas fungsionalitas modul *HydroCalc*. Terakhir, melakukan uji coba lebih luas dengan berbagai kondisi hidrologi yang berbeda dapat membantu memastikan keandalan dan akurasi aplikasi ini dalam berbagai situasi.

Untuk dapat memaksimalkan pemanfaatan web-based dalam kalkulasi hidrologi dalam ditambahkan skrip untuk berbagai model infiltrasi dan HSS lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) serta Institut Teknologi Bandung (ITB) atas dukungan dan bantuan yang sangat berharga dalam memfasilitasi penyelesaian makalah penelitian ini.

Daftar Referensi

- Bronstert, A., Niehoff, D. and Schiffler, G.R. (2023) 'Modelling infiltration and infiltration excess: The importance of fast and local processes', *Hydrological Processes*, 37(4), p. e14875. Available at: <https://doi.org/10.1002/hyp.14875>.
- Erazo Ramirez, C. *et al.* (2022) 'HydroLang: An open-source web-based programming framework for hydrological sciences', *Environmental Modelling & Software*, 157, p. 105525. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105525>.
- Hanansyah, M.P. *et al.* (2022) 'Development of Vegetation Changes Monitoring Application in Kalimantan Island (2000-2021) with MODIS Satellite Imagery using Streamlit Platform', in *2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*. 2022 *IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, Surabaya, Indonesia: IEEE, pp. 48–53. Available at: <https://doi.org/10.1109/AGERS56232.2022.10093614>.
- Horton, R.E. (1939) 'Analysis of runoff-plat experiments with varying infiltration-capacity', *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 20(4), pp. 693–711. Available at: <https://doi.org/10.1029/TR020i004p00693>.
- Nagpal, A. and Gabrani, G. (2019) 'Python for Data Analytics, Scientific and Technical Applications', in *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*. 2019 *Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, Dubai, United Arab Emirates: IEEE, pp. 140–145. Available at: <https://doi.org/10.1109/AICAI.2019.8701341>.
- Nápoles-Duarte, J.M. *et al.* (2022) 'Stmol: A component for building interactive molecular visualizations within streamlit web-applications', *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9, p. 990846. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.990846>.
- Pishvaei, M.H. *et al.* (2020) 'Effects of hillslope geometry on spatial infiltration using the TOPMODEL and SCS-CN models', *Hydrological Sciences Journal*, 65(2), pp. 212–226. Available at: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1686636>.
- Sanatinia, A. and Noubir, G. (2016) 'On GitHub's Programming Languages'. arXiv. Available at: <http://arxiv.org/abs/1603.00431> (Accessed: 23 June 2024).
- 'SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana' (no date).
- Swain, N.R. *et al.* (2015) 'A review of open source software solutions for developing water resources web applications', *Environmental Modelling & Software*, 67, pp. 108–117. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.01.014>.