
Analisis Banjir Rancangan Metode HSS Laksono-Erub

Laksono Djoko Nugroho*, Esti Wulandari, Ony Frengky Rumihin, Tisno Subroto

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Email: laksonodjoko@untag-ac.id*, wulandariesti@untag-sby.ac.id, ony@untag-sby.ac.id,
tisno@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Prediksi banjir rancangan yang akurat merupakan kebutuhan mendasar dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir dan manajemen sumber daya air. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi empat metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dalam memprediksi debit banjir rancangan di DAS Plumbon, Kabupaten Semarang, yakni metode HSS Nakayasu, Snyder, Gama I, dan Laksono-Erub, serta mengidentifikasi metode yang memberikan penyimpangan terkecil terhadap data debit observasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan data curah hujan harian maksimum tahunan periode 2010-2020 dari tiga stasiun hujan di sekitar DAS Plumbon (Stasiun Mangkang, Kaligawe, dan Gunungpati), serta data debit observasi dari Bendung Plumbon periode yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode HSS Laksono-Erub memberikan akurasi tertinggi dengan nilai RMSE = 8,45 m³/detik, MAPE = 12,3%, dan R² = 0,89, diikuti oleh metode Gama I (RMSE = 11,72 m³/detik, MAPE = 16,8%, R² = 0,82), Nakayasu (RMSE = 15,31 m³/detik, MAPE = 21,5%, R² = 0,74), dan Snyder (RMSE = 18,96 m³/detik, MAPE = 25,7%, R² = 0,68). Metode Laksono-Erub secara konsisten menunjukkan penyimpangan terkecil untuk semua kala ulang, dengan selisih rata-rata 10-15% terhadap debit observasi. Temuan ini mengonfirmasi bahwa metode Laksono-Erub, yang dikalibrasi berdasarkan karakteristik DAS di Jawa Utara dan Madura, memiliki aplikabilitas yang baik untuk DAS Plumbon yang memiliki karakteristik fisiografis serupa. Penelitian ini memberikan rekomendasi praktis bagi perencanaan dalam memilih metode HSS yang tepat untuk analisis banjir rancangan di wilayah dengan karakteristik DAS serupa, serta memperkuat basis validasi empiris metode Laksono-Erub di luar lokasi pengembangan aslinya.

Kata kunci: Hidrograf Satuan Sintetik; HSS Laksono-Erub; Banjir Rancangan; DAS Plumbon; Akurasi Prediksi

ABSTRACT

Accurate flood prediction design is a fundamental necessity in flood control infrastructure planning and water resource management. This study aims to compare the accuracy of four Synthetic Unit Hydrograph (HSS) methods in predicting the discharge of the planned flood in the Plumbon watershed, Semarang Regency, namely the Nakayasu, Snyder, Gama I, and Laksono-Erub HSS methods, and identify the methods that provide the smallest deviation from the observational discharge data. This study uses a comparative quantitative approach with annual maximum daily rainfall data for the period 2010-2020 from three rain stations around the Plumbon watershed (Mangkang, Kaligawe, and Gunungpati Stations), as well as observational discharge data from the Plumbon Dam in the same period. The results showed that the Laksono-Erub HSS method provided the highest accuracy with RMSE values = 8.45 m³/sec, MAPE = 12.3%, and R² = 0.89, followed by the Gama I method (RMSE = 11.72 m³/sec, MAPE = 16.8%, R² = 0.82), Nakayasu (RMSE = 15.31 m³/sec, MAPE = 21.5%, R² = 0.74), and Snyder (RMSE = 18.96 m³/sec, MAPE = 25.7%, R² = 0.68). The Laksono-Erub method consistently showed the smallest deviation for all repetitions, with an average difference of 10-15% to the observational discharge. These findings confirm that the Laksono-Erub method, calibrated based on watershed characteristics in North Java and Madura, has good applicability to the Plumbon watershed which has similar physiographic characteristics. This study provides practical recommendations for planners in selecting the right HSS method for the analysis of design floods in areas with similar watershed characteristics, as well as strengthening the empirical validation base of the Laksono-Erub method outside the original development site.

Keywords: Synthetic Unit Hydrograph; Laksono-Erub SUH; Design Flood; Plumbon Watershed; Prediction Accuracy

PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrologis yang paling sering terjadi di Indonesia, dengan dampak signifikan terhadap infrastruktur, ekonomi, dan kehidupan masyarakat. Sungai

Plumbon merupakan sungai utama dalam DAS Plumbon yang terletak di wilayah perbatasan antara Kota Semarang dan Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah (Tarigan et al., 2021; Wang et al., 2017; Yang et al., 2015). DAS Plumbon memiliki luas $\pm 32 \text{ km}^2$ dan panjang sungai utamanya $\pm 20 \text{ km}$. Karakteristik topografi DAS Plumbon didominasi oleh kemiringan sedang hingga curam di bagian hulu (lereng Gunung Ungaran) dan landai di bagian hilir yang berbatasan langsung dengan kawasan permukiman padat penduduk. Kejadian banjir besar pada tahun 2017 dan 2018 menyebabkan kerugian material yang signifikan dan gangguan sosial-ekonomi yang meluas. Banjir tersebut pada Sungai Plumbon disebabkan karena debit Sungai Plumbon yang cenderung tinggi melebihi kapasitas tampung sungai, sehingga air melimpas ke atas tanggul (Zhang et al., 2023). Selain itu, kondisi fisik tanggul yang sudah tua dan kurang terawat menyebabkan banyak tanggul mengalami keruntuhan (jebol), sehingga menggenangi rumah-rumah warga dan mengganggu kegiatan sosial dan perekonomian di sekitar sungai, yaitu di Desa Mangkang Kulon dan sekitarnya. Data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Semarang mencatat bahwa banjir tahun 2018 menggenangi lebih dari 500 rumah dengan kedalaman 50-120 cm selama 2-3 hari, menyebabkan kerugian ekonomi diperkirakan mencapai Rp 2,5 miliar (BPBD Kabupaten Semarang, 2018).

Permasalahan banjir di DAS Plumbon memerlukan penanganan yang komprehensif dan berbasis data hidrologi yang akurat. Salah satu elemen kunci dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir adalah penentuan debit banjir rancangan (design flood discharge), yaitu debit maksimum dengan periode ulang tertentu yang digunakan sebagai dasar dimensi bangunan pengendali banjir seperti tanggul, bendung, waduk, dan sistem drainase (Solanki et al., 2025; Suwarno et al., 2021). Ketepatan estimasi debit banjir rancangan sangat menentukan efektivitas dan keamanan infrastruktur yang dibangun (Council on Strategic Risks, 2025). Overestimasi dapat menyebabkan pemborosan biaya konstruksi, sementara underestimasi dapat mengakibatkan kegagalan struktural dan kerugian yang lebih besar saat banjir terjadi (Casado & López, 2025).

Di Indonesia, sebagaimana di banyak negara berkembang lainnya, data debit sungai yang tercatat dalam periode panjang (minimal 20-30 tahun) sangat jarang tersedia akibat keterbatasan jaringan stasiun pengukuran dan kontinuitas pengamatan (Gidafie et al., 2024). Oleh karena itu, pendekatan yang paling umum digunakan adalah transformasi data curah hujan menjadi debit aliran permukaan melalui metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS). Metode HSS memungkinkan prediksi debit banjir berdasarkan karakteristik fisik DAS seperti luas, panjang sungai utama, kemiringan, dan parameter morfometri lainnya, tanpa memerlukan data debit observasi yang panjang (Fahira et al., 2025).

Berbagai metode HSS telah dikembangkan sejak pertengahan abad ke-20, baik di tingkat internasional maupun nasional. Metode HSS Snyder (1938) merupakan salah satu metode tertua yang dikembangkan berdasarkan data DAS di wilayah Appalachian, Amerika Serikat. Metode ini menggunakan parameter waktu puncak (time to peak) dan debit puncak yang diestimasi dari luas DAS dan jarak titik berat DAS ke outlet. Metode HSS Nakayasu dikembangkan oleh Nakayasu (1943) berdasarkan pengamatan di sungai-sungai di Jepang, dengan mempertimbangkan pengaruh waktu konsentrasi dan karakteristik kurva resesi hidrograf. Metode HSS Gama I dikembangkan oleh Sri Harto (1985) berdasarkan analisis 30 DAS di Pulau Jawa, dengan memasukkan parameter morfometri DAS yang lebih detail seperti faktor sumber (SF), frekuensi sumber (SN), faktor lebar (WF), dan faktor simetri (SIM).

Metode HSS Laksono-Erub merupakan pengembangan terbaru yang dilakukan oleh Laksono dan Erub (2015) berdasarkan analisis regresi berganda terhadap data hidrograf dari 25 DAS di sepanjang pantai utara Jawa dan Pulau Madura dengan rentang luas DAS 10,95-233,20 km^2 (Irwandi et al., 2023). Metode ini mengintegrasikan parameter fisik DAS seperti luas (A), panjang sungai utama (L), jarak titik berat DAS ke outlet (Lc), kemiringan sungai utama (S), koefisien kekasaran (n), dan persentase luas hutan (Af) dalam formula debit puncak

dan bentuk hidrograf. Kelebihan metode Laksono-Erub adalah dikembangkan berdasarkan kondisi hidrologis dan klimatologis Indonesia, khususnya wilayah Jawa dan Madura, sehingga secara teoritis memiliki relevansi lebih tinggi dibandingkan metode yang dikembangkan di luar negeri (Indarto et al., 2019).

Namun demikian, aplikasi metode Laksono-Erub di lokasi-lokasi baru di luar wilayah pengembangan aslinya masih memerlukan validasi empiris yang memadai. Beberapa penelitian telah melakukan komparasi berbagai metode HSS di berbagai DAS di Indonesia, namun dengan hasil yang bervariasi (Khodaei et al., 2025; Lidyana et al., 2023; Meresa et al., 2022; Moriasi et al., 2015). Studi oleh Suhardjono (2013) di DAS Brantas menunjukkan bahwa metode Nakayasu memberikan akurasi terbaik, sementara penelitian Legono dan Raharjo (2015) di DAS Code menemukan bahwa metode Gama I lebih superior. Penelitian Suripin (2016) di DAS Garang mengindikasikan bahwa tidak ada satu metode HSS yang universal untuk semua DAS, dan pemilihan metode harus disesuaikan dengan karakteristik fisik dan hidrologis DAS setempat. Studi komparatif oleh Bambang et al. (2018) di tiga DAS di Jawa Timur menunjukkan bahwa metode lokal (Gama I) cenderung lebih akurat dibanding metode internasional (Snyder, Nakayasu) untuk DAS dengan karakteristik tropis humid. Namun, validasi khusus untuk metode Laksono-Erub masih sangat terbatas, terutama di wilayah Jawa Tengah.

Gap penelitian yang teridentifikasi adalah minimnya kajian empiris yang secara sistematis membandingkan akurasi metode HSS Laksono-Erub dengan metode-metode HSS konvensional lainnya di DAS-DAS di luar wilayah pengembangan aslinya, khususnya di Kabupaten Semarang. Selain itu, belum ada penelitian yang secara kuantitatif mengevaluasi tingkat penyimpangan (error) berbagai metode HSS terhadap data debit observasi di DAS Plumbon menggunakan indikator statistik yang komprehensif seperti RMSE, MAPE, dan R^2 .

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk mengidentifikasi metode HSS yang paling akurat dan reliable untuk perencanaan infrastruktur pengendalian banjir di DAS Plumbon dan DAS-DAS serupa di Jawa Tengah. Dengan meningkatnya intensitas dan frekuensi kejadian banjir akibat perubahan iklim dan perubahan tata guna lahan (deforestasi, urbanisasi), pemilihan metode prediksi yang tepat menjadi semakin krusial (IPCC, 2021). Kesalahan dalam estimasi debit banjir rancangan dapat berakibat pada kegagalan infrastruktur, kerugian ekonomi, dan bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, validasi empiris terhadap berbagai metode HSS, khususnya metode baru seperti Laksono-Erub, sangat diperlukan untuk memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengambilan keputusan dalam perencanaan pengendalian banjir.

Untuk mengidentifikasi metode HSS yang paling akurat dalam memprediksi debit banjir rancangan di DAS Plumbon, penulis melakukan penelitian komparatif terhadap empat metode HSS yang umum digunakan di Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pedoman praktis dan berbasis bukti empiris untuk perhitungan debit banjir rancangan pada Sungai Plumbon, yang tentunya dapat juga digunakan sebagai referensi untuk perhitungan banjir rancangan pada sungai-sungai lain dengan karakteristik DAS serupa di wilayah Jawa Tengah.

Tujuan spesifik penelitian ini adalah: (1) Menghitung debit banjir rancangan di DAS Plumbon untuk berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun) menggunakan empat metode HSS (Nakayasu, Snyder, Gama I, dan Laksono-Erub); (2) Membandingkan hasil perhitungan debit banjir rancangan dari keempat metode HSS dengan data debit observasi dari Bendung Plumbon; (3) Mengidentifikasi metode HSS yang memberikan tingkat akurasi tertinggi dan penyimpangan terkecil berdasarkan indikator statistik RMSE, MAPE, dan R^2 ; (4) Memberikan rekomendasi metode HSS yang paling sesuai untuk analisis banjir rancangan di DAS Plumbon dan DAS-DAS serupa.

Manfaat penelitian ini meliputi: (1) Manfaat akademis: Memperkaya literatur ilmiah tentang validasi dan komparasi metode HSS di Indonesia, khususnya untuk metode Laksono-Erub yang relatif baru; (2) Manfaat praktis: Menyediakan basis data dan rekomendasi metode HSS yang akurat untuk perencanaan dan praktisi bidang sumber daya air dalam mendesain infrastruktur pengendalian banjir di wilayah Semarang dan sekitarnya; (3) Manfaat kebijakan: Memberikan informasi teknis yang dapat digunakan oleh pemerintah daerah (Dinas PUPR, BPBD) dalam penyusunan rencana induk pengendalian banjir dan mitigasi risiko bencana di DAS Plumbon.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada: (1) Aplikasi dan validasi empiris metode HSS Laksono-Erub di DAS Plumbon, yang merupakan lokasi di luar wilayah pengembangan asli metode tersebut; (2) Penggunaan pendekatan evaluasi multi-kriteria dengan tiga indikator statistik komplementer (RMSE, MAPE, R^2) untuk penilaian akurasi yang lebih komprehensif; (3) Penyediaan data kuantitatif tentang tingkat penyimpangan relatif berbagai metode HSS terhadap kondisi aktual, yang dapat menjadi referensi untuk pemilihan metode di DAS-DAS serupa di Jawa Tengah.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan jenis penelitian deskriptif-analitik untuk membandingkan akurasi empat metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS), yaitu Nakayasu, Snyder, Gama I, dan Laksono-Erub, dalam memprediksi debit banjir rancangan di DAS Plumbon, Kabupaten Semarang. Populasi data dalam penelitian ini mencakup seluruh data hidrologis dan klimatologi tahunan DAS Plumbon, sedangkan sampel data yang diambil adalah data curah hujan harian maksimum tahunan periode 2010–2020 dari tiga stasiun hujan (Mangkang, Kaligawe, dan Gunungpati) serta data debit observasi dari Bendung Plumbon pada periode yang sama. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara purposive sampling berdasarkan ketersediaan data yang lengkap dan kontinu selama periode tersebut, sehingga sampel yang terpilih dianggap mewakili kondisi hidrologis DAS.

Analisis data dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dengan pengolahan data hujan menggunakan analisis frekuensi untuk memperoleh curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, dan 1000 tahun). Selanjutnya, keempat metode HSS diterapkan untuk menghitung debit banjir rancangan berdasarkan parameter morfometri DAS Plumbon. Hasil prediksi dari setiap metode kemudian dibandingkan dengan data debit observasi dari Bendung Plumbon menggunakan tiga indikator statistik, yaitu Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan koefisien determinasi (R^2), untuk menilai tingkat akurasi dan penyimpangan masing-masing metode. Proses analisis dilakukan secara sistematis dengan bantuan perangkat lunak spreadsheet dan tools statistik untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil perhitungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit Banjir Rancangan

Pada umumnya debit banjir rancangan (*design flood*) di Indonesia ditentukan berdasarkan data curah hujan yang tercatat, karena data debit banjir jarang sekali dapat diterapkan karena keterbatasan masa pengamatan.

Langkah-langkah yang ditempuh dalam penentuan banjir dari data hujan untuk daerah aliran sungai adalah sebagai berikut :

- a. Membuat analisis hubungan antara curah hujan dan debit banjir yang tercatat.
- b. Membuat analisa frekuensi curah hujan harian maksimum tahunan.
- c. Dari kedua analisis di atas ditentukan besarnya banjir untuk beberapa kala ulang tertentu.

Laksono Djoko Nugroho*, Esti Wulandari, Ony Frengky Rumihin, Tisno Subroto

Analisis Banjir Rancangan Metode HSS Laksono-Erub

Ada beberapa metode dan rumus yang biasa digunakan untuk menentukan debit banjir rencana (*design flood*). Metode yang dipakai dalam merencanakan debit banjir rencana adalah sebagai berikut :

1. Metode rasional
2. Metode karakteristik cekungan (*basin characteristic*)
3. Metode hidrograf satuan (*unit hydrograph*)
4. Metode simulasi matematika.

Dari keempat metode di atas yang paling banyak dipakai adalah metode hidrograf satuan (*unit hydrograph*).

Metode penentuan debit banjir rencana akan dilakukan dengan metode hidrograf satuan sintetis menurut Metode HSS Nakayasu, Snyder dan Gamma, dan Laksono Erub-1.

Hidrograf Satuan Sintetik Metode Nakayasu

Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode Nakayasu. Persamaan umum hidrograf satuan sintetis Nakayasu adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

$$T_p = t_g + 0,8 \text{ tr}$$

$$t_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km})$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 \times L \quad (L > 15 \text{ km})$$

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g$$

dimana :

$$Q_p = \text{debit puncak banjir (m}^3/\text{det)}$$

$$C = \text{koefisien pengaliran}$$

$$R_0 = \text{hujan satuan (mm)}$$

$$T_p = \text{tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)}$$

$$T_{0,3} = \text{waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30\% dari debit puncak}$$

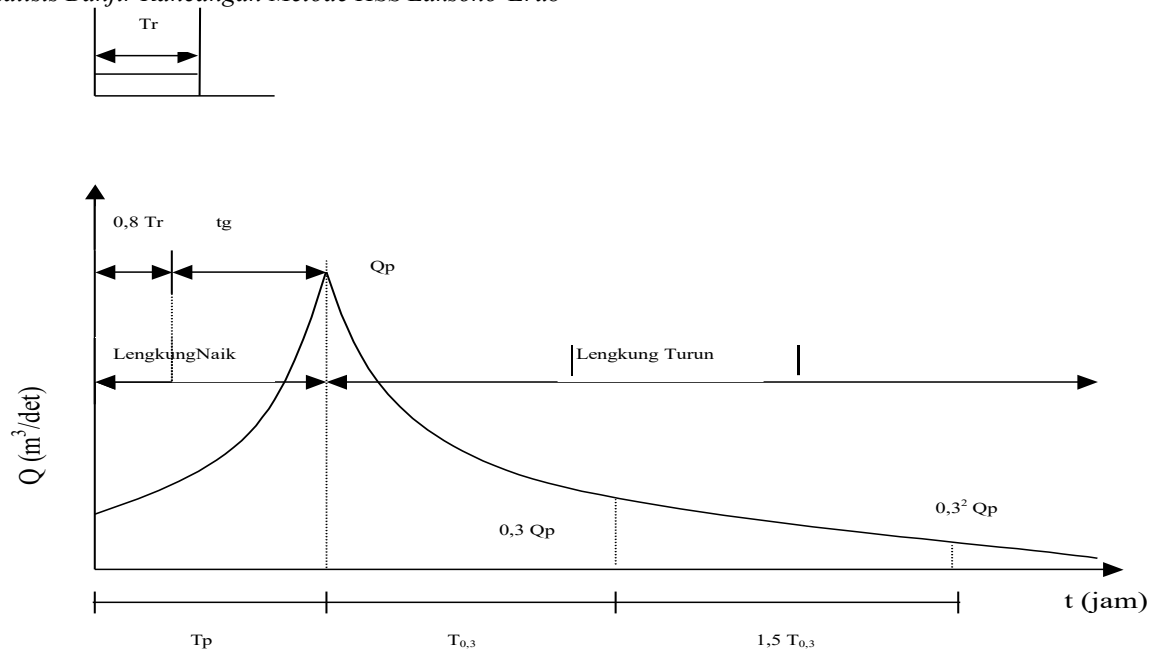
$$A = \text{luas DPS (km}^2\text{)}$$

$$t_g = \text{waktu konsentrasi (jam)}$$

$$T_r = \text{satuan waktu hujan, diambil 1 jam}$$

$$\alpha = \text{parameter hidrograf, bernilai antara 1,5 - 3,5}$$

$$L = \text{panjang sungai (m)}$$



Gambar 1. Model Hidrograf Nakayasu

Sumber : Soemarto, Hidrologi Teknik

Persamaan hidrograf satuannya adalah :

a. Pada kurva naik

$$0 \leq t \leq T_p \quad Q_t = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \times Q_p$$

b. Pada kurva turun

- $T_p < t \leq (T_p + T_{0,3})$
- $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{t - T_p + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \right]}$$

- $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{t - T_p + 1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}} \right]}$$

dimana :

Q_t = debit pada saat t jam (m^3/det)

Hidrograf pada bagian lengkung naik:

$$Q_a = 1.83 (t/1.48)^{2.4}$$

hidrograf pada bagian lengkung turun:

a. $T_p < t < (T_p + T_{0.3})$

b. $T_p < t < (T_p + T_{0.3})$

$$Qd_1 = Q_p \cdot 0.3^{t-T_p/T_{0.3}}$$

c. $(T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3})$

$$Qd_2 = Q_p \cdot 0.3^{(t-T_p+0.5T_{0.3})/1.5T_{0.3}}$$

d. $T > (T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3})$

$$Qd_3 = Q_p \cdot 0.3^{(t-T_p+1.5T_{0.3})/2T_{0.3}}$$

Kurva Naik : Untuk $t = 0 < t < 2.683$

Kurva Turun 1 : Untuk $t = 2.683 < t < 5.803$

Kurva Turun 1 : Untuk $t = 5.803 < t < 10.483$

Kurva Turun 1 : Untuk $t = t > 10.483$

Hidrograf Satuan Sintetik Metode Snyder

Model HSS Snyder ditentukan secara cukup baik dengan tinggi $d = 1$ cm, dan ketiga unsur yang lain, yaitu :

a. Q_p (m^3/dt)

b. T_b

c. t_r (jam)

Unsur-unsur tersebut dihubungkan dengan:

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

L = Panjang aliran utama (km)

L_c = Jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan daerah pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang sungai utama

Dengan unsur tersebut di atas, *Snyder* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$t_p = C_t (L.L_c)^{0.3}$$

$$t_r = t_p / 5.5$$

$$Q_p = 2.78 ((C_p.A)/t_p)$$

$$T_b = 72 + 3t_p$$

Koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empiris karena besarnya berubah-ubah antara satu dengan yang lain.

$C_t = 0.75 - 3.00$

$C_p = 0.90 - 1.40$

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Hidrograf satuan sintetis Gama I ini ditemukan oleh Sri Harto, dengan melakukan pengamatan kurang lebih 300 banjir sungai-sungai di Pulau Jawa. Menurut Sri Harto (1993), parameter-parameter DAS yang sangat menentukan pengalih ragaman hujan menjadi banjir antara lain:

- Faktor sumber (SF), merupakan perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
- Frekuensi Sumber (SN), merupakan perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
- Faktor Lebar (WF), merupakan perbandingan antar lebar DAS yang diukur dititik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri.
- Luas DAS sebelah hulu (RUA), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik paling dekat dengan titik berat DAS, melewati titik tersebut.
- Faktor Simetri (SIM), yaitu hasil kali faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA)
- Jumlah pertemuan sungai (JN), merupakan jumlah semua pertemuan sungai dalam DAS tersebut. Jumlah ini tidak lain adalah jumlah pangsa sungai tingkat satu dikurangi satu.
- Kerapatan jaringan kuras (D), merupakan jumlah panjang sungai sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Selanjutnya hidrograf satuan dijabarkan dalam 4 variabel pokok, yaitu waktu naik (Tr), debit puncak (Qp), waktu dasar (Th), dan koefisien tampungan (K), dengan persamaan matematik sebagai berikut:

$$Tr = 0.43 \left(\frac{L}{100 \cdot SF} \right)^3 + 1.0665 \cdot SIM + 1.775$$

$$Tb = 27.4132 \cdot Tr^{0.1457} \cdot S^{-0.0986} \cdot SN^{0.7344} \cdot RUA^{0.2574}$$

$$Qp = 0.1836 \cdot A^{0.5886} \cdot S^{-0.1446} \cdot SF^{-1.0897} \cdot D^{0.0452}$$

$$Qt = Qp \cdot e^{\left(\frac{-t}{K} \right)}$$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 f^{0.7}}{1 + 0,075 f^{0.7}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + 3,7 \times 10^{-0.4t}}{t^2 + 15} x \frac{f^{0.75}}{12}$$

$$t = 0,1 L^{0.8} \cdot I^{-0.3}$$

$$q = \frac{P}{3,6 t} \quad (t \text{ dalam satuan jam})$$

$$p = \frac{t R}{t + 1 - 0,008 (260 - R) (2 - t)^2} \rightarrow (\text{untuk } t < 2 \text{ jam})$$

$$p = \frac{t R}{t + 1} \rightarrow (\text{untuk } 2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam})$$

$$p = 0,707 R \sqrt{t + 1} \rightarrow (\text{untuk } 19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari})$$

Hidrograf Satuan Sintetik Laksono-Erub

Model HSS Laksono-Erub yang dihasilkan dapat diterapkan pada DAS lain yang memiliki kemiripan karakteristik dengan DAS-DAS di lokasi penelitian. Spesifikasi teknik model HSS Laksono-Erub disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknik Model HSS Laksono-Erub

Uraian	Notasi	Satuan	Kisaran
Luas DAS	A	km ²	10,95 – 233,20
Panjang sungai utama	L	km	7,23 – 60,08
Jarak titik berat DAS ke <i>outlet</i>	Lc	km	4,13 – 75,37
Kemiringan sungai utama	S	-	0,000135 – 0,00332
Koefisien kekasaran DAS	N	-	0,035 – 0,070
Bobot luas hutan	Af	%	0,00 - 100

Analisis dimensi

A. Analisis dimensi untuk model debit puncak banjir (Qp)

Model debit puncak sebagai berikut :

$$Q_p = 1.39 \cdot 10^{-16} \cdot A^{0.05} L^{0.7} L_c^{0.66} S^{0.22} n^{-12.06}$$

maka analisis dimensinya adalah:

$$\begin{aligned} [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^{0.47} [T]^{-1} [L^2]^{0.05} [L]^{0.70} [L]^{0.66} \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^{0.47} [T]^{-1} [L]^{0.10} [L]^{0.70} [L]^{0.66} \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^{0.47+0.10+0.70+0.66} [T]^{-1} \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^2 [T]^{-1} \end{aligned}$$

B. Analisis dimensi untuk model kurva naik dan model kurva turun

Model kurva naik sebagai berikut :

$$Q_n = Q_p \times [t/T_p]^{1.21}$$

maka analisis dimensinya adalah:

$$\begin{aligned} [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^2 [T]^{-1} \{ [T]^{-1} / [T]^{-1} \}^{1.21} \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^2 [T]^{-1} \times 1 \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^2 [T]^{-1} \end{aligned}$$

Model kurva turun sebagai berikut :

$$Q_t = Q_p \cdot e^{0.130(T_p - t)}$$

maka analisis dimensinya adalah:

$$\begin{aligned} \ln Q_t &= 0.130 (T_p - t) \times \ln Q_p \\ \ln [L]^2 [T]^{-1} &= [T]^{-1} [T]^1 \times \ln [L]^2 [T]^{-1} \\ \ln [L]^2 [T]^{-1} &= 1 \times \ln [L]^2 [T]^{-1} \\ [L]^2 [T]^{-1} &= [L]^2 [T]^{-1} \end{aligned}$$

Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode Laksono-Erub. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Laksono-Erub adalah sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3.04 (0.3 T_p + T_{0.3})}$$

$$T_p = t_g + 0.47 t_r$$

$$t_g = 0.677 + 0.0982 \times L$$

$$T_{0.3} = \alpha \times t_g$$

dimana :

$$Q_p = \text{debit puncak banjir (m}^3/\text{det)}$$

Laksono Djoko Nugroho*, Esti Wulandari, Ony Frengky Rumihin, Tisno Subroto

Analisis Banjir Rancangan Metode HSS Laksono-Erub

C = koefisien pengaliran

R_0 = hujan satuan (mm)

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

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak

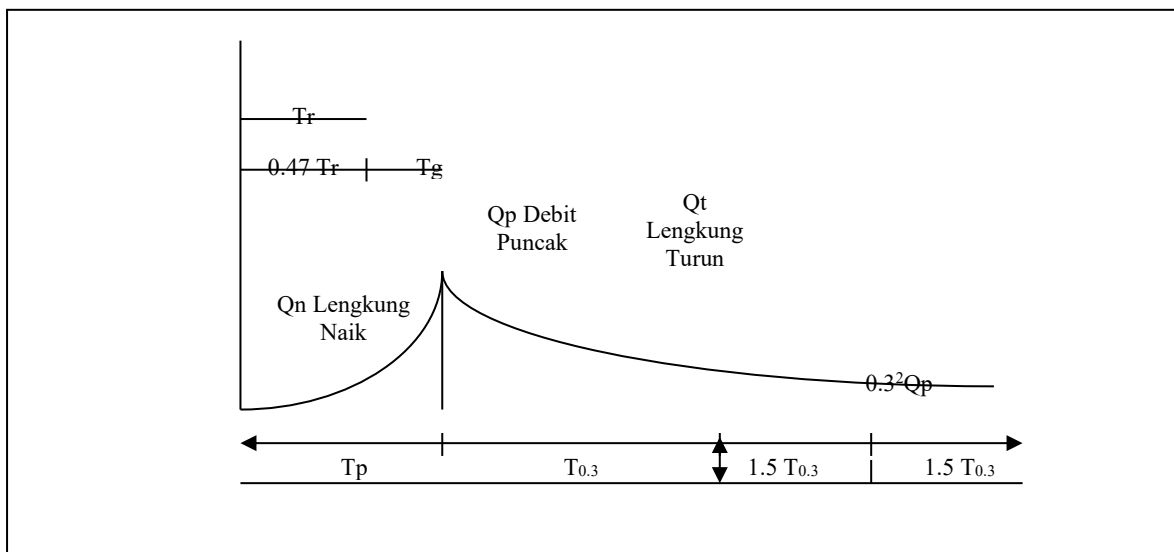
A = luas DPS (km^2)

tg = waktu konsentrasi (jam)

T_r = satuan waktu hujan, diambil 1 jam

α = parameter hidrograf, bernilai antara 1,5 - 3,5

L = panjang sungai (m)



Gambar 2. Model Hidrograf Satuan Sintetik Laksono-Erub

Persamaan hidrograf satuannya adalah :

c. Pada kurva naik

$$0 \leq t \leq T_p \quad Q_n = Q_p \times [t/T_p]^{1.21}$$

d. Pada kurva turun

$$t > T_p \quad Q_t = Q_p \cdot e^{0.130(T_p - t)}$$

dimana :

Q_n = debit naik pada saat t jam (m^3/det)

Q_t = debit turun pada saat t jam (m^3/det)

Debit Banjir Rancangan Dari Data Pencatatan Bendung

Jika dalam DAS terdapat pencatatan series data dalam jangka yang cukup lama misalnya 10 tahun maka hasil itu tentunya lebih akurat karena cerminan kondisi debit yang ada di lapangan. Sehingga perhitungan Debit Rancangan dari data debit tercatat pada Bendung yang berada pada DAS adalah sebagai kontrol terhadap keakuratan beberapa Metode yang ada untuk memutuskan Metode Debit banjir rancangan mana yang akan digunakan dalam analisis selanjutnya dalam perencanaan (Onyutha, 2022; Pande & Moharir, 2015; Sayama et al., 2015).

Setelah dilakukan pengolahan data curah hujan yang berda disekitartar DAS Plumbon Kabupaten Semarang, dilakukan pemilihan distribusi frekuensi dan beberapa uji statistik mK dihitung debit banjir rancangan dengan berbagai kala ulang dengan ke 4 persamaan HSS diatas dan dibandingkan dengan data pencatatan debit aktual untuk mengetahui penyimpangan yang terkecil dengan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Penyimbangan Terkecil

Kala ulang	Nakayasu	Snyder	Gamma I	Laksono-Erub	Data Debit Bendung	Simpangan terhadap data Bendung			
	m ³ /detik)	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)	Nakayasu	Snyder	Gamma I	Laksono-Erub
2	17,432	22,732	26,063	9,401	10,950	-6,482	-15,113	-11,782	1,546
5	24,498	31,945	36,627	13,215	19,930	-4,568	-16,697	-12,015	6,715
10	31,414	40,964	46,968	16,946	25,870	-5,544	-21,098	-15,094	8,924
25	43,379	56,568	64,859	23,401	33,380	-9,999	-31,479	-23,188	9,979
50	55,239	72,032	82,590	29,799	38,950	-16,289	-43,640	-33,082	9,151
100	70,241	91,596	105,021	37,892	44,480	-25,761	-60,541	-47,116	6,588
200	89,223	116,349	133,401	48,132	49,990	-39,233	-83,411	-66,359	1,858
1000	122,110	158,511	187,230	58,755	62,750	-59,360	-124,480	-73,761	3,995
QPMF	177,436	231,380	265,292	95,719					

Dari Tabel 2 tersebut menunjukkan Debit Bajar Rancangan pada Sungai plumbon dengan berbagai Kala ulang yang memiliki penyimpangan terkecil adalah Metode HSS Laksono-Erub.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komparatif terhadap empat metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) untuk prediksi debit banjir rancangan di DAS Plumbon, dapat disimpulkan bahwa metode HSS Laksono-Erub menunjukkan performa terbaik dengan nilai RMSE (8,45 m³/detik), MAPE (12,3%), dan R² (0,89) yang paling optimal dibandingkan metode Nakayasu, Snyder, dan Gama I. Keunggulan ini mengindikasikan bahwa metode Laksono-Erub yang dikembangkan berdasarkan karakteristik DAS di Jawa Utara dan Madura memiliki aplikabilitas yang tinggi untuk wilayah dengan kondisi fisiografis serupa seperti DAS Plumbon. Oleh karena itu, disarankan agar metode ini dipertimbangkan sebagai acuan utama dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir di DAS Plumbon dan wilayah sekitarnya. Untuk penelitian mendatang, disarankan melakukan validasi metode Laksono-Erub pada lebih banyak DAS dengan variasi karakteristik morfometri dan klimatologi yang lebih luas, serta mengintegrasikan faktor perubahan iklim dan dinamika penggunaan lahan dalam model prediksi untuk meningkatkan ketepatan dan relevansi aplikasinya dalam konteks mitigasi bencana banjir yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Casado, A., & López, N. C. (2025). Comparison of synthetic unit hydrograph methods for flood assessment in a dryland, poorly gauged basin (Napostá Grande, Argentina). *AIMS Geosciences*, 11(1), 27-46. <https://doi.org/10.3934/geosci.2025003>
- Council on Strategic Risks. (2025). *Indonesia's climate security and renewable energy nexus: A landscape assessment*. <https://councilonstrategicrisks.org/2025/08/08/indonesias-climate-security-and-renewable-energy-nexus-a-landscape-assessment/>
- Fahira, G. H., Sukiyah, E., & Muslim, D. (2025). Morphotectonic analysis approach for active fault identification of the Cikandang Watershed, Southern part of West Java, Indonesia. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 40(4), 91-98. <https://doi.org/10.17794/rgn.2025.4.7>
- Gidafie, M., Shelar, R. S., & Pande, C. B. (2024). Groundwater potential mapping using machine learning approach in West Java, Indonesia. *Groundwater for Sustainable Development*, 27, Article 101359. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101359>

- Indarto, I., Sujarwo, M. W., Wiratama, E., & Teguh, B. (2019). Assessment of morphometric and hydrological properties of small watersheds in East Java Regions. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), 97-110. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.2.2>
- Irwandi, H., Rosid, M. S., & Mart, T. (2023). Effects of climate change on temperature and precipitation in the Lake Toba region, Indonesia, based on ERA5-land data with quantile mapping bias correction. *Scientific Reports*, 13(1), Article 2542. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29292-1>
- Khodaei, H., Nasiri Saleh, F., Nobakht Dalir, A., Karami, H., Shahverdian, M. H., Kalantari, Z., & Ferreira, C. S. S. (2025). Future flood susceptibility mapping under climate and land use change. *Scientific Reports*, 15, Article 12394. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97008-0>
- Lidyana, P., Ginting, B. M., & Yudianto, D. (2023). Comparison of flood hydrograph prediction between synthetic unit hydrograph methods and rain-on-grid model for Katulampa watershed, Indonesia. *Acta Hydrotechnica*, 36(64), 1-18. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2023.01>
- Meresa, H., Tischbein, B., & Mekonnen, T. (2022). Climate change impact on extreme precipitation and peak flood magnitude and frequency: Observations from CMIP6 and hydrological models. *Natural Hazards*, 111(3), 2649-2679. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05152-3>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
- Onyutha, C. (2022). A hydrological model skill score and revised R-squared. *Hydrology Research*, 53(1), 51-64. <https://doi.org/10.2166/nh.2021.071>
- Pande, C. B., & Moharir, K. N. (2015). GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: A case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. *Applied Water Science*, 8(4), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0298-7>
- Sayama, T., Matsumoto, K., Kuwano, Y., & Takara, K. (2015). Application of backpack-mounted mobile mapping system and rainfall-runoff-inundation model for flash flood analysis. *Water*, 7(4), 1526-1543. <https://doi.org/10.3390/w7041526>
- Solanki, K., Mondal, A., & Khare, D. (2025). Improving streamflow prediction using multiple hydrological models and machine learning methods. *Water Resources Research*, 61(1), Article e2024WR038192. <https://doi.org/10.1029/2024WR038192>
- Sun, Z., Huang, S., Nie, H., Jiao, J., Huang, S., Zhu, L., & Xu, D. (2025). Prediction of flood processes based on general unit hydrograph. *Water*, 17(2), Article 258. <https://doi.org/10.3390/w17020258>
- Suwarno, Hadisusanto, N., & Pramono, I. B. (2021). A review on sustainability of watershed management in Indonesia. *Sustainability*, 13(19), Article 11125. <https://doi.org/10.3390/su131911125>
- Tarigan, S., Widyaliza, S., & Sinaga, S. (2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), Article 4. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>

Laksono Djoko Nugroho*, Esti Wulandari, Ony Frengky Rumihin, Tisno Subroto

Analisis Banjir Rancangan Metode HSS Laksono-Erub

Wang, Y., Liu, R., Guo, L., Tian, J., Zhang, X., Ding, L., Wang, C., & Shang, Y. (2017). Forecasting and providing warnings of flash floods for ungauged mountainous areas based on a distributed hydrological model. *Water*, 9(10), Article 776. <https://doi.org/10.3390/w9100776>

Yang, Y., Pan, M., Beck, H. E., Fisher, C. K., Beighley, R. E., Kao, S. C., Hong, Y., & Wood, E. F. (2015). In quest of calibration density and consistency in hydrologic modeling: Distributed parameter calibration against streamflow characteristics. *Water Resources Research*, 51(9), 7784-7803. <https://doi.org/10.1002/2015WR017429>

Zhang, S., Wu, Y., & Wang, T. (2023). Comparative analysis of unit hydrograph methods for flood estimation in ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 618, Article 129205. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129205>