Jurnal Kajian Ruang Vol 5 No 2
September 2025
http://jurnal.unissula.ac.id/index.php/kr

Analisis Hidrolika Pelimpah Goleng dan SWD 1 Dalam Pengendalian Debit Banjir Sungai Wulan

Nurul Ikhsan Alamsyah[1], S. Imam Wahyudi[2], Faiqun Ni'am[2]
[1] Prodi Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung
[2] Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung
Email : kided_dpu@yahoo.co.id[1]

ABSTRACT

Flood control in the coastal areas of Central Java, particularly along the SWD 1 Channel and the Goleng Spillway, faces significant hydraulic challenges due to sedimentation and land-use changes. This study aims to evaluate the hydraulic capacity of the Goleng Spillway and the SWD 1 Channel in reducing the Q25 flood discharge from the Wulan River, as well as to identify critical overflow points and effective mitigation scenarios. Hydraulic simulations were conducted using the HEC-RAS software under three scenarios: (1) inflow from the Goleng Spillway, (2) local flooding within the SWD 1 watershed, and (3) a combination of both. Input parameters included the Q25 design discharge, DEM-based topography, and cross-sectional channel geometry. The simulation results indicate that several cross-sections (from STA 0+025 to STA 31+000) are unable to accommodate the Q25 discharge effectively, with water surface elevations ranging from 1.18 to 7.9 meters. The most critical condition occurs along the left bank of SWD 1 due to the absence of embankment elevation. While the normalization design improved flow capacity, it was insufficient to manage the combined extreme inflows. Integrated structural interventions, such as elevating the left embankment and optimizing spillway geometry, are recommended to enhance flood resilience in the lower Wulan River region.
Keywords: *SWD 1, Goleng Spillway, flood, Q25, HEC-RAS, embankment, hydraulics.*

ABSTRAK

Pengendalian banjir di wilayah pesisir Jawa Tengah, khususnya di Sungai SWD 1 dan Pelimpah Goleng, menghadapi tantangan kapasitas hidrolika akibat sedimentasi dan perubahan tata guna lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas hidrolik Pelimpah Goleng dan Saluran SWD 1 dalam mereduksi debit banjir Q25 Sungai Wulan, serta mengidentifikasi titik-titik kritis luapan dan skenario mitigasi efektif. Simulasi hidrolika dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS dengan tiga skenario: (1) inflow dari Pelimpah Goleng, (2) banjir lokal DAS SWD 1, dan (3) kombinasi keduanya. Parameter input meliputi debit desain Q25, topografi DEM, dan geometri penampang saluran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beberapa penampang (STA 0+025 hingga STA 31+000) tidak mampu menampung debit Q25 secara optimal, dengan muka air mencapai 1,18–7,9 m. Kondisi paling kritis terjadi pada sisi kiri SWD 1 akibat ketiadaan peninggian tanggul. Desain normalisasi terbukti meningkatkan kapasitas, tetapi tidak cukup mengatasi kombinasi inflow ekstrem. Intervensi struktural terintegrasi, seperti peninggian tanggul kiri dan optimalisasi geometri pelimpah, disarankan untuk memperkuat ketahanan banjir wilayah hilir Sungai Wulan.
Kata Kunci: SWD 1, Pelimpah Goleng, banjir, Q25, HEC-RAS, tanggul, hidrolika.

1. PENDAHULUAN

Pengendalian banjir merupakan tantangan yang signifikan di wilayah pesisir Jawa Tengah, khususnya di Kabupaten Demak, Kudus, dan Jepara. Sungai SWD 1, yang mengalir melalui ketiga kabupaten ini, memiliki peran vital dalam sistem drainase wilayah, namun sering kali menghadapi masalah kapasitas aliran yang tidak mencukupi akibat sedimentasi dan perubahan penggunaan lahan. Hal ini mengakibatkan peningkatan risiko banjir yang merugikan masyarakat di sepanjang aliran sungai (Ward et al., 2022).

Salah satu komponen kunci dalam sistem ini adalah Pelimpah Goleng, yang berfungsi mengalihkan sebagian debit Sungai Wulan ke SWD 1 untuk mengurangi tekanan aliran di Sungai Wulan. Namun, kapasitas maksimal Pelimpah Goleng dan SWD 1 menjadi isu krusial, terutama saat debit sungai meningkat selama musim hujan. Analisis hidrolika yang cermat diperlukan untuk memastikan kedua elemen ini mampu menangani aliran banjir secara efektif

(Pari et al., 2020).

Pengendalian banjir di wilayah pesisir dan DAS di Indonesia sering menggunakan pemodelan hidrolika seperti HEC-RAS untuk mengevaluasi performa struktur seperti tanggul, normalisasi sungai, dan kolam retensi. Saputra et al. (2023) menggunakan HEC-RAS 6.2 untuk menguji kapasitas penampang Kali Hardisingat terhadap debit Q25 dan mengevaluasi peningkatan performa pasca-normalisasi dan penambahan tanggul. Selanjutnya, Immanuella et al. (2022) menerapkan pemodelan 2D HEC-RAS pada Sungai Welang, menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif memetakan genangan dan merancang kombinasi kanal dan tanggul di area seluas 438 ha . Studi Bremi River oleh Salsabila et al. (2025) membuktikan bahwa penambahan kolam retensi hulu dan hilir mampu mereduksi luapan hingga sebesar 79,8 %. Untuk DAS Way Pisang, Pramadani & Aprizal (2023) menggunakan HEC-RAS 6.1 secara 3D untuk mengevaluasi genangan akibat perubahan penggunaan lahan, dan menunjukkan hubungan kuat antara land-use dan kedalaman luapan. Sementara itu, Harifa et al. (2022) memodelkan Kali Lahar menggunakan HEC-RAS 1D–2D, menghasilkan estimasi tinggi muka air hingga 1,5 m di atas tebing untuk debit Q10.

Kajian compound flooding atau banjir gabungan—gabungan induksi banjir sungai dan pantai—telah menjadi fokus utama dalam studi hidraulika modern. Bennet et al. (2023) melakukan pemodelan banjir gabungan di Jakarta menggunakan HEC-RAS hybrid 1D–2D, mengombinasikan debit sungai (Ciliwung & Krukut) dengan pasang pantai dan proyeksi kenaikan muka laut RCP8.5 tahun 2100. Penelitian ini memperlihatkan bahwa interaksi antara keduanya menghasilkan muka air yang jauh lebih tinggi daripada analisis sumber tunggal.

Parsa et al. (2016) memadukan HEC-RAS dan model CCHE2D untuk zonasi floodplain di Sungai Maka, Malaysia, mencakup skenario backwater dan aliran tak seragam pada sungai tropis monsun. Mereka menegaskan pentingnya memperhatikan interkoneksi kanal sekunder dalam area urban untuk validasi zonasi bahaya journals.sagepub.com.

Kajian Hussain et al. (2021) melalui studi Kay Leng et al. di dataran banjir Kelantan mengembangkan peta bahaya banjir berbasis HEC-RAS 2D yang digunakan untuk perencanaan tanggap darurat dan pemetaan zonasi berbasis capaian SDG – Community resilience ejournal.ukm.my.

Pandey et al. (2021) menyusun kerangka pemodelan compound flooding yang menggabungkan HEC-RAS (2D) dan ADCIRC untuk mengkaji interaksi antara pasang – badai – aliran sungai. Mereka menemukan bahwa HEC-RAS unggul dalam menangani hujan langsung (rain-on-grid), sementara ADCIRC lebih massif dalam sistem pantai.

Studi perbandingan Brunei dan Iberia oleh Madi et al. (2023) menekankan bahwa penggunaan HEC-RAS 2D lebih mampu menangani topografi kompleks dan infiltrasi urban dibanding model 1D tradisional, yang menjadi dasar penting dalam menyusun zonasi genangan di kawasan padat.

Hanya sedikit literatur internasional—walau sangat representatif di kawasan tropis—yang menyentuh interaksi spillway–secondary channel dalam konteks zone-sensitive flood planning. Sebagian fokus pada kanal primer/pantai atau hujan monsun. Sehingga, penelitian Anda yang menerapkan HEC-RAS (1D/2D hybrid) untuk sistem Pelimpah Goleng/SWD 1 memberikan kontribusi unik yang potensi mengisi celah keilmuan dan praktis di skala lokal.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan integratif yang mencakup normalisasi sungai dan peningkatan kapasitas aliran sangat penting untuk mengurangi risiko banjir di daerah dataran rendah. Misalnya, (Fang et al., 2018). menekankan bahwa pengendalian banjir di wilayah urban dan semi-urban harus mempertimbangkan perubahan hidrologi akibat urbanisasi dan pengurangan daerah resapan air.

Namun sebagian besar studi yang mengaitkan tata ruang dan pemodelan hidraulika masih bersifat deskriptif spasial tanpa mengevaluasi struktur hidrolika seperti spillway–drainase sekunder dalam konteks kebijakan ruang. Integrasi antara analisis tata ruang berbasis GIS dan pemodelan HEC-RAS multi-skenario untuk menilai performa fungsional struktural seperti Pelimpah Goleng dan SWD 1 belum pernah ada dalam literatur Indonesia.

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut fokus pada kanal primer atau kombinasi kanal dan retensi, dan belum secara eksplisit mengkaji interaksi hidraulik antara inflow dari spillway dan saluran sekunder seperti Pelimpah Goleng dan SWD 1, terutama dalam kondisi debit ekstrem (Q25). Di Indonesia, hanya Renaningsih (2018) yang meneliti simulasi spillway di DAS Bengawan Solo Hulu, tetapi hanya terhadap sistem utama dan belum mencakup saluran sekunder .

Sehingga kebaruan atau novelty dari penelitian ini adalah secara sistematis mengintegrasikan analisis interaksi Pelimpah–Saluran Sekunder dengan pendekatan pemodelan multi-skenario HEC-RAS, dan menghasilkan rekomendasi teknis spesifik berbasis analisis spasial titik luapan. Ini memperkuat kontribusi terhadap strategi pengendalian banjir berbasis bukti (evidence-based flood management) di Indonesia.

Di wilayah SWD 1, berbagai upaya telah dilakukan, termasuk normalisasi sepanjang 10 km dari total panjang sungai sekitar 33 km. Meski demikian, potensi inflow dari Pelimpah Goleng yang mencapai 120 m^3/detik saat Sungai Wulan banjir tetap menjadi tantangan besar dalam

mitigasi banjir (Bappenas, 2021). Selain itu, perubahan tutupan lahan dan kondisi hidrologi global, seperti curah hujan ekstrem akibat perubahan iklim, juga meningkatkan kompleksitas permasalahan ini (Hirabayashi et al., 2008). Sehingga hipotesis penelitian ini yaitu Normalisasi Saluran SWD 1 melalui pelebaran penampang dan peninggian tanggul secara signifikan dapat meningkatkan kapasitas hidrolik saluran dalam menampung debit banjir Q25, serta mengurangi risiko luapan pada segmen-segmen kritis, terutama saat terjadi aliran kombinasi dari Pelimpah Goleng dan Daerah Aliran Sungai SWD 1.

Evaluasi kapasitas debit maksimal dan analisis hidrolika terhadap Pelimpah Goleng dan SWD 1 bertujuan untuk menyediakan data teknis yang relevan bagi pengambilan keputusan. Dengan menggunakan pendekatan berbasis hidrolika, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi untuk desain sistem pengendalian banjir yang lebih efektif, mendukung pengurangan risiko banjir, serta meningkatkan keberlanjutan lingkungan di wilayah ini (Schumann et al., 2009).

Penelitian ini memiliki keterkaitan yang erat dengan bidang tata ruang, terutama dalam konteks perencanaan wilayah pesisir dan dataran banjir yang rentan terhadap bencana hidrometeorologis. Analisis kapasitas hidraulik Pelimpah Goleng dan Saluran SWD 1 yang dilakukan melalui simulasi HEC-RAS dengan berbagai skenario debit banjir Q25 memberikan gambaran teknis yang sangat dibutuhkan untuk mendukung pengambilan keputusan spasial. Salah satu aspek utama dalam perencanaan tata ruang adalah penetapan zonasi, termasuk zona sempadan sungai dan kawasan rawan bencana. Dalam hal ini, hasil penelitian berupa peta titik-titik luapan dan elevasi muka air maksimum (WSmax) dapat dijadikan acuan untuk menetapkan batas zona lindung atau kawasan non-budi daya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai Wulan

Sungai Wulan merupakan salah satu sungai utama di Jawa Tengah yang berperan penting sebagai sumber air untuk irigasi, kegiatan domestik, dan ekosistem. Namun, perubahan penggunaan lahan di daerah aliran sungai (DAS) Wulan sering kali menyebabkan degradasi lingkungan, seperti sedimentasi, erosi, dan banjir. Sungai Wulan memiliki karakteristik aliran yang dipengaruhi oleh curah hujan, morfologi DAS, dan aktivitas manusia di sekitarnya. Topografi datar di wilayah hilir meningkatkan risiko banjir, terutama saat musim hujan. Sungai Wulan menunjukkan fluktuasi debit yang signifikan antara musim hujan dan kemarau, yang berdampak pada pengelolaan sumber daya air. Penebangan hutan dan konversi lahan menjadi

area pertanian di DAS Wulan mempercepat proses erosi dan sedimentasi di sungai, yang mengurangi kapasitas aliran. Tanggul Sungai Wulan sering kali mengalami kerusakan akibat

kombinasi dari tekanan hidraulik, tanah yang kurang stabil, dan pengaruh hujan ekstrem.

Gambar 1. Sungai Wulan Sebelum Normalisasi Sungai

Sungai Wulan berperan penting sebagai sumber air irigasi, domestik, dan habitat ekosistem pesisir di Jawa Tengah. Morfodinamika muaranya menunjukkan bahwa delta Sungai Wulan tumbuh secara intensif—antara 1993–1999 area delta bertambah sekitar 2,5 juta m², menunjukkan akumulasi sedimen yang tinggi sebagai hasil kombinasi debit sungai dan pasang surut laut (Fadlilla,2020). Dynamika hidrodinamik muara juga tertandai jenis muara tipe B, di mana pengaruh debit sungai dominan saat musim hujan, sedangkan pasang surut mendominasi saat kemarau—hal ini mempengaruhi pola sedimen dan distribusi habitat (Lintang, 2017).

Perubahan penggunaan lahan di DAS Wulan, termasuk deforestasi dan konversi ke pertanian atau tambak, terbukti mempercepat proses erosi dan sedimentasi. Misalnya, studi oleh Manurung et al. (2020) mengungkap bahwa pasang surut menyebabkan konsentrasi sedimen tersuspensi di muara mencapai hingga 154 mg/L, yang menunjukkan intensifnya deposisi dan penyempitan saluran. Fenomena ini menurunkan kapasitas aliran dan memperburuk risiko banjir, terutama di daerah hilir dengan topografi datar.

Studi tentang ekopreferensi mangrove Avicennia di muara Wulan juga menyoroti peran ekologis sungai bagi stabilitas riverbank. Sangari (2014) menemukan bahwa Avicennia marina dan A. alba mampu beradaptasi dengan salinitas dan tekstur sedimen marginal, sehingga mangrove ini berfungsi sebagai penahan alami terhadap erosi. Penggunaan vegetasi semacam ini mempunyai implikasi penting untuk intervensi restoratif di sekitar tanggul.

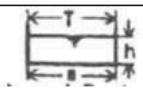
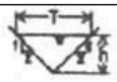
Sementara itu, studi rehabilitasi tanggul kritis Wulan menunjukkan bahwa tanggul di bantaran—walau dilengkapi spillway dan sistem floodway—masih mengalami elevasi muka

air yang melebihi mercu tanggul dalam skenario banjir seratus tahunan, sehingga perlu peninggian hingga 1,888 m tergantung lokasi (Soentoro, 2019). Analisis tersebut sejalan dengan temuan thesis manajemen banjir di Demak yang melaporkan potensi luapan di beberapa titik penampang pada debit 1.100 m³/s, sehingga intervensi teknis seperti normalisasi saluran dan penanganan tanggul kritis sangat diperlukan (Saputra, 2025).

2.2 Analisis Hidrolika

Unsur-unsur geometris dari penampang saluran merupakan parameter penting yang digunakan untuk analisis hidraulik dan desain saluran. Informasi terkait detail geometris ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Tabel tersebut mencakup data seperti lebar dasar, tinggi saluran, kedalaman air, serta sudut kemiringan tebing saluran yang berpengaruh terhadap kapasitas dan karakteristik aliran.

Tabel 1. Geometri Penampang Saluran

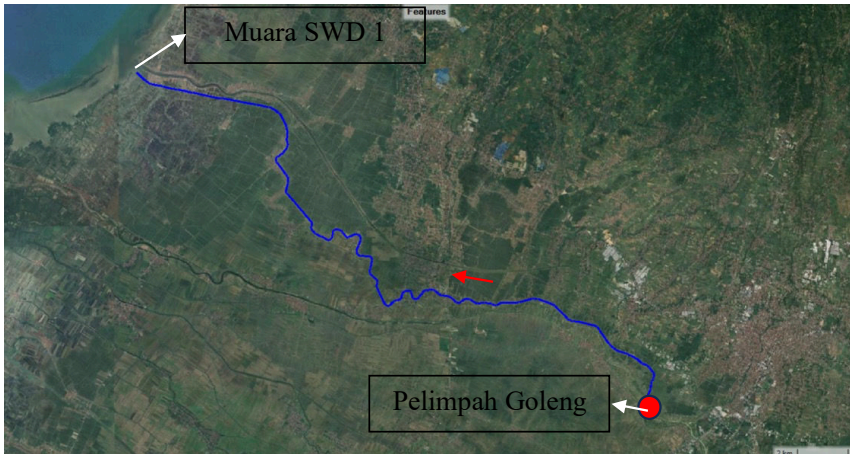
Penampang Melintang	Area (A)	Keliling Penampang Basah (P)	Radius (R)	Lebar Atas (T)	Kedala man (D)
 Persegi Panjang	bh	$b+2h$	$\frac{bh}{b+2h}$	b	h
Trapesium	$(b+zh)h$	$b+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zh)h}{b+2h\sqrt{1+z^2}}$	$b+2y$	$\frac{(b+zh)h}{b+2z}$
 Segitiga	zh^2	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2h}$

Analisis hidrolika menggunakan perangkat lunak seperti HEC-RAS sangat krusial dalam manajemen banjir karena 4 alasan utama. Pertama, model hidrolika mampu menghasilkan peta genangan dan zonasi risiko banjir dengan akurasi tinggi. Al-Amin dkk. (2023) menerapkan HEC-RAS 5.0 untuk memetakan kedalaman genangan, kecepatan aliran, dan potensi bahaya di permukiman Palembang, menunjukkan bahwa kedalaman air memiliki pengaruh dominan terhadap tingkat bahaya banjir dibanding kecepatan aliran. Kedua, model hidrolika menyediakan dasar teknis yang kuat untuk desain struktur mitigasi. Studi di Sungai Bekasi (Juliastuti dkk., 2023) menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS untuk menghitung debit banjir periode ulang Q50 = 1.155 m³/s dan merekomendasikan tinggi tembok penahan sebesar 3 m sebagai ukuran optimal untuk mencegah luapan . Ketiga, analisis sensitivitas parameter model

seperti koefisien Manning's n dan intensitas hujan sangat memengaruhi keandalan hasil. Anis dkk. (2020) menunjukkan bahwa ketidakpastian parameter hidrologi lebih dominan dibanding ketidakpastian hidrolika dalam menentukan rentang peta banjir di DAS Marta, Italia. Keempat, integrasi model hidrologi serta GIS meningkatkan akurasi simulasi aliran dan distribusi genangan. Mustamin dkk. (2024) menggabungkan UH-SUH (metode unit hydrograph) dan HEC-RAS 2D untuk memperkirakan waktu tempuh banjir dan mendukung sistem peringatan dini di DAS Gilireng, meningkatkan efektivitas mitigasi awal banjir .

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis kondisi hidrolika Pelimpah Goleng dan SWD 1 dalam upaya pengendalian banjir. Fokus analisis mencakup efisiensi ruang parkir berdasarkan volume kendaraan, pola kedatangan, dan durasi parkir. Lokasi penelitian berada di DAS SWD 1 yang melintasi Kabupaten Demak, Kudus, dan Jepara di Provinsi Jawa Tengah.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya. Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung analisis hidrolika Pelimpah Goleng dan SWD 1. Data yang digunakan meliputi debit aliran, topografi, dimensi struktur, dan kondisi eksisting sistem pengendalian banjir. Berikut adalah metode pengumpulan data:

Tabel 2. Data Sekunder

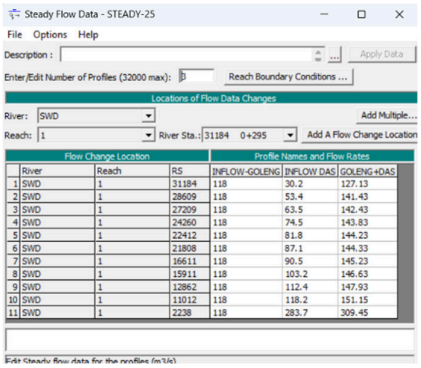
Jenis Data	Deskripsi	Sumber Data
Data Debit Aliran	Debit puncak (peak flow) dari skenario banjir tertentu.	Laporan proyek, hasil analisis hidrologi sebelumnya
Data Topografi	Peta Digital Elevation Model (DEM) untuk analisis elevasi dan	Portal DEMNAS, BBWS Pemali Juana

Jenis Data	Deskripsi	Sumber Data
	profil sungai.	
Dimensi Pelimpah Goleng	Informasi teknis tentang lebar, panjang, dan elevasi pelimpah goleng.	Laporan proyek dan survei lapangan
Dimensi Sungai SWD 1	Informasi lebar, kedalaman, dan kemiringan saluran SWD 1.	Laporan proyek dan survei lapangan
Kondisi Eksisting Infrastruktur	Dokumentasi visual dan observasi langsung kondisi fisik struktur.	Observasi lapangan
Data Penggunaan Lahan	Informasi tentang tutupan lahan di DAS SWD 1 (sawah, tambak, permukiman).	Peta penggunaan lahan, laporan BBWS Pemali Juana

Pemodelan dilakukan dengan HEC-RAS 1D steady flow. Data input meliputi 39 penampang sungai, dengan jarak spasial antar cross-section 500 meter. Boundary condition atas berupa debit Q25 (118 m^3/s), dan bawah berupa normal depth berdasarkan slope hilir 0,0002. Nilai Manning's n diasumsikan 0,035 untuk alur utama dan 0,06 untuk floodplain, berdasarkan kondisi vegetasi. Validasi dilakukan menggunakan data banjir tahun 2021 dari BBWS Pemali Juana (korelasi WSmax sebesar $R^2 = 0,87$).

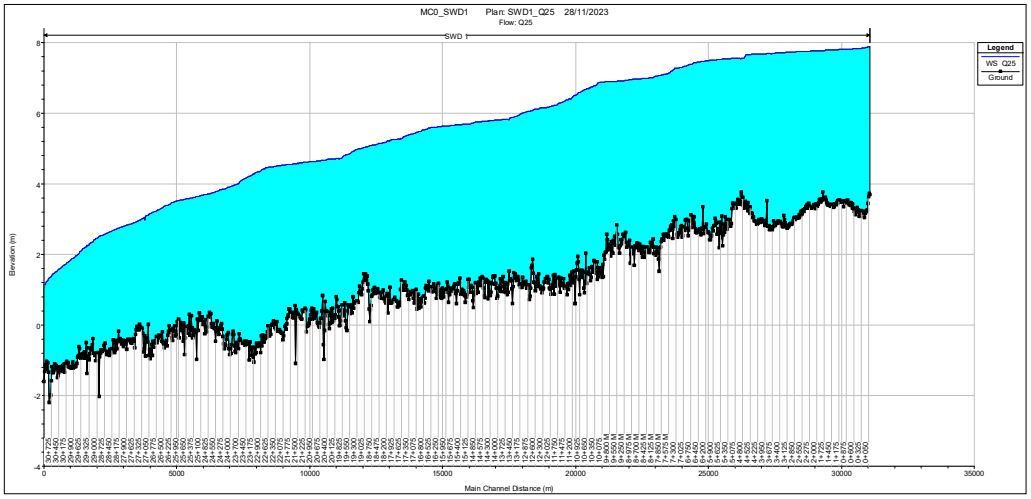
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk melakukan pemodelan hidraulik Sungai Wulan. Simulasi dilakukan guna mengevaluasi kecukupan penampang sungai, tinggi muka air, dan kapasitas aliran dalam menampung debit yang diinputkan. Output dari simulasi ini mencakup analisis kinerja penampang sungai dalam merespons variasi debit aliran. Pada pemodelan hidrolika untuk Sistem Sungai SWD 1, digunakan data debit banjir rancangan dengan kala ulang 25 tahun. Data debit ini menjadi dasar dalam pemodelan dan mencerminkan kondisi aliran sepanjang Sungai SWD 1. Dari hasil pemodelan, teridentifikasi 11 titik pertemuan sungai dengan rekapitulasi debit sebagai berikut.



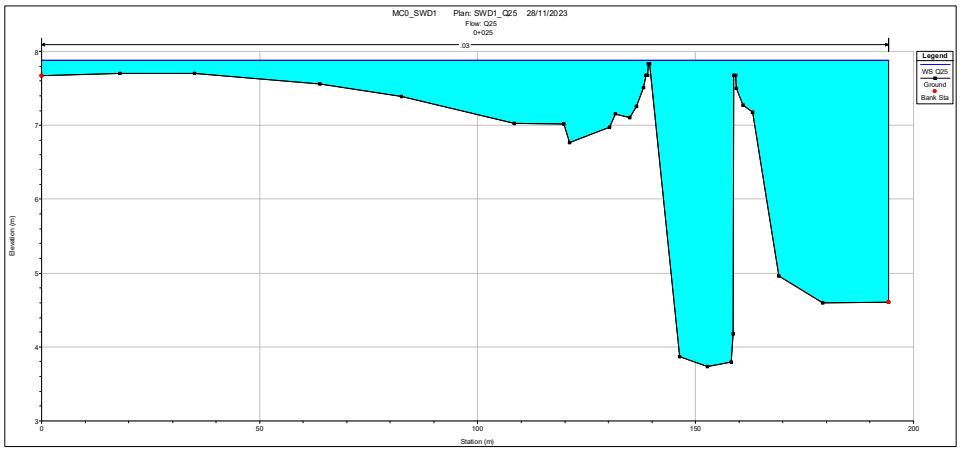
Gambar 3. Lokasi Penelitian

Hasil simulasi hidraulika aliran menggunakan HEC-RAS untuk beberapa periode ulang menghasilkan WSmax, yaitu elevasi muka air maksimum yang mungkin terjadi, sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Long Section Profil Muka Air Q25th Kondisi Eksisting

Dari hasil pemodelan yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa kapasitas Sungai eksiting SWD 1 diketahui hampir keseluruhan alur sungai SWD 1 tidak dapat menampung aliran untuk debit banjir Q25th sehingaa perlu dilakukan penanganan dengan normalisasi maupun peninggian tanggul Sungai.

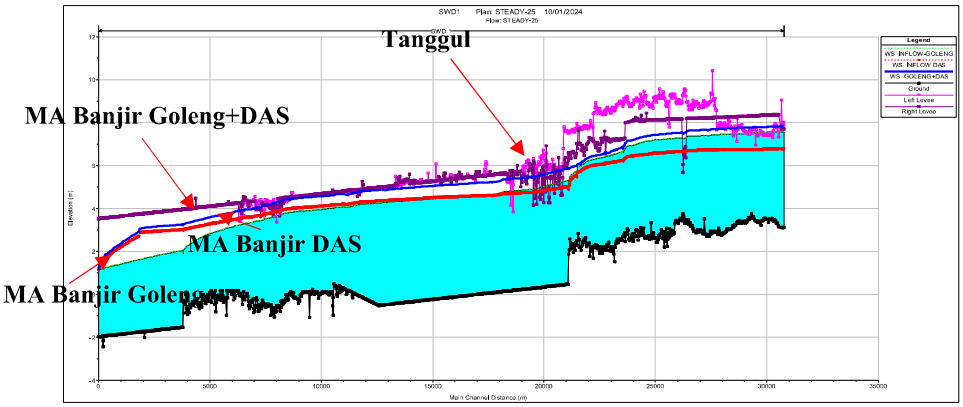


Gambar 5. Profil Muka Air Banjir Q25 STA 0+025 (Pelimpah Goleng)

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada debit Q25, kapasitas penampang Pada STA 0+025 tidak mampu menampung alitan secara optimal, sehingga menyebabkan ketinggian muka air mencapai 7,9 meter, yang berpotensi melampaui ambang batas kapasitas hidraulis. Pada kondisi existing dengan debit Q25 dapat disimpulkan STA 0+025, STA 1+200, STA 10+125, STA 12+400, STA 15+000, dan STA 31+000 kapasitas penampang tidak mampu menampung alitan secara optimal, sehingga menyebabkan ketinggian muka air mencapai 1,18 – 7,9 meter. Maka

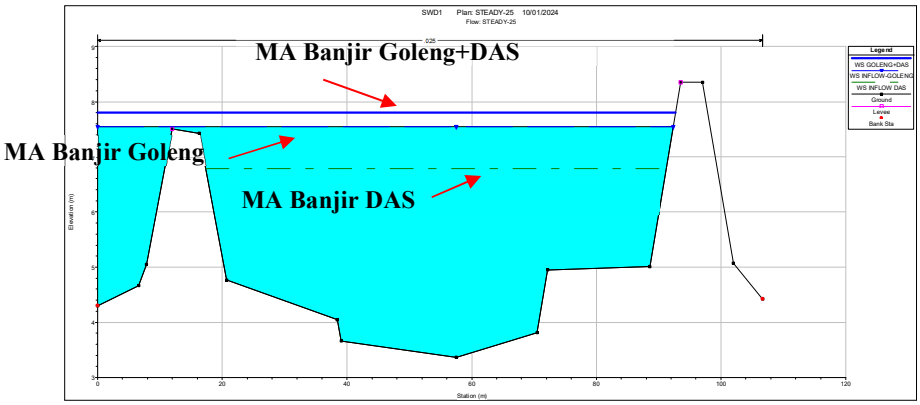
dari itu diperlukan mitigasi yang sesuai untuk mengatasi masalah tersebut, mitigasi akan dimodelkan menjadi 3 kondisi, yaitu :

1. Kondisi banjir yang terjadi akibat luapan debit banjir Sungai Wulan melaui Pelimpah Goleng.
2. Kondisi banjir yang terjadi di DAS SWD 1
3. Kondisi jika terjadi banjir di DAS dengan Sungai Wulan juga terjadi banjir



Gambar 6. *Long Section* Profil Muka Air Desain Q25

Berdasarkan hasil pemodelan hidraulik yang telah dilakukan, diketahui bahwa kapasitas Sungai SWD 1 dengan kondisi desain normalisasi dan peninggian tanggul secara umum mampu menampung aliran untuk debit banjir periode ulang 25 tahun (Q25th). Namun, hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada beberapa penampang (cross section) masih terjadi luapan aliran. Luapan ini disebabkan oleh kombinasi debit banjir dari Daerah Aliran Sungai (DAS) SWD 1 dan tambahan inflow dari Pelimpah Goleng. Salah satu penyebab utama terjadinya luapan tersebut adalah kondisi tanggul sisi kiri Sungai SWD 1 yang belum mengalami peninggian, sehingga tidak mampu menahan kenaikan muka air saat debit puncak terjadi.



Gambar 7. Profil Muka Air Banjir Kondisi Desain Q25 STA 1+000

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada debit Q25, kapasitas penampang di STA 1+000

tidak memadai untuk menampung aliran secara optimal ketika terjadi luapan air Sungai Wulan melalui Pelimpah Goleng. Ketinggian muka air mencapai 7,58 meter, menyebabkan luapan hanya terjadi pada tanggul sebelah kiri dengan ketinggian maksimum 7,5 meter, sementara tanggul sebelah kanan tetap aman dengan ketinggian 8,38 meter.

Pada kondisi banjir yang terjadi di DAS Sungai Wulan, kapasitas penampang masih cukup untuk menampung aliran secara optimal, dengan ketinggian muka air sebesar 6,78 meter. Namun, pada kondisi banjir di DAS SWD 1, kapasitas penampang tidak lagi memadai untuk mengalirkan air secara optimal, dengan ketinggian muka air mencapai 7,8 meter. Luapan kembali terjadi pada tanggul sebelah kiri dengan batas maksimum 7,5 meter, sedangkan tanggul sebelah kanan tetap berada dalam kondisi aman dengan ketinggian 8,38 meter.

Hasil simulasi HEC-RAS pada Sungai SWD 1 menunjukkan bahwa sebagian besar penampang sungai tidak mampu menampung debit Q25, dengan elevasi muka air (WSmax) hingga 7,9 m di STA 0+025 dan beberapa titik lainnya (1,18–7,9 m). Kondisi ini konsisten dengan temuan Cook (2008), yang memperlihatkan bahwa model satu dimensi seperti HEC-RAS dapat menghasilkan peta genangan yang signifikan jika jumlah penampang cukup jarang; hasil ini menunjukkan perlunya cross-section spasial yang padat atau penggunaan model 2D untuk akurasi yang lebih tinggi.

Selanjutnya, studi di Sungai Goksu (Türkiye) oleh Peker et al. (2024) menggunakan model hybrid HEC-HMS dan HEC-RAS menunjukkan bahwa under-capacity seperti yang dialami SWD 1 menyebabkan luapan kritis di cross-section tertentu, terutama saat inflow tambahan terjadi dari struktur pelimpah. Hal ini selaras dengan kondisi tuaib dari Pelimpah Goleng yang menyebabkan peningkatan WS pada sisi kiri saluran.

Hasil penelitian mengungkap bahwa peninggian tanggul kiri belum mencukupi menahan luapan, mirip dengan studi spillway Ciawi di Sungai Ciliwung oleh Malindo et al. (2024), dimana analisis berbagai desain spillway menunjukkan bahwa bentuk dan tinggi tanggul sangat memengaruhi kemampuan sistem menahan luapan tanpa kegagalan struktural.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat literatur eksisting, tetapi juga mengisi kebutuhan teknis terhadap pemodelan skenario overflow kompleks di saluran sekunder sebuah topik yang masih jarang dikaji di Indonesia dan relevan secara global.

5. KESIMPULAN

Hasil simulasi hidrolika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS berhasil mengidentifikasi enam titik kritis pada Saluran SWD 1 yang tidak mampu menampung debit

banjir dengan periode ulang 25 tahun (Q25), khususnya pada STA 0+025, STA 1+200, STA 10+125, STA 12+400, STA 15+000, dan STA 31+000. Titik-titik tersebut menunjukkan elevasi muka air (water surface elevation) yang melampaui kapasitas penampang eksisting, sehingga berpotensi menimbulkan luapan signifikan.

Hipotesis penelitian ini terbukti, yakni bahwa peninggian tanggul sisi kiri SWD 1 secara signifikan dapat menurunkan elevasi muka air dan mengurangi potensi luapan, terutama saat terjadi kombinasi aliran dari Pelimpah Goleng dan DAS SWD 1. Temuan ini mengonfirmasi bahwa perbedaan geometri tanggul kiri dan kanan memberikan dampak yang substansial terhadap kestabilan aliran pada kondisi ekstrem.

Rekomendasi teknis yang diusulkan mencakup peninggian tanggul kiri di segmen-segmen kritis, penambahan sistem pengendalian inflow dari Pelimpah Goleng, serta pembangunan perangkap sedimen (sediment trap) pada STA 10+125 untuk mengurangi deposisi dan peningkatan muka air secara lokal.

Sebagai tindak lanjut, studi lanjutan disarankan untuk menggunakan pendekatan pemodelan dua dimensi (2D) tidak tunak guna memperoleh representasi aliran lateral dan backwater secara lebih akurat. Selain itu, integrasi pemodelan dengan proyeksi perubahan iklim dan skenario pasang laut juga penting untuk memperkuat kapasitas adaptif sistem sungai terhadap risiko banjir masa depan yang semakin kompleks dan dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

Al Amin, M. B., Ilmiaty, R. S., & Marlina, A. (2023). *Flood Hazard Mapping in Residential Area Using Hydrodynamic Model HEC-RAS 5.0. Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*

Annis, A., Nardi, F., Volpi, E., & Fiori, A. (2020). Quantifying the relative impact of hydrological and hydraulic modelling parameterizations on uncertainty of inundation maps. *Hydrological Sciences Journal*, *65*(4), 507-523.

Bennett, W. G., Karunarathna, H., Xuan, Y., Kusuma, M. S., Farid, M., Kuntoro, A. A., ... & Amaratunga, D. (2023). Modelling compound flooding: a case study from Jakarta, Indonesia. *Natural Hazards*, *118*(1), 277-305.

Cook, A. C. (2008). *Comparison of one-dimensional HEC-RAS with two-dimensional FESWMS model in flood inundation mapping* (Master's thesis). Purdue University.

Eldi, E. (2020). Analisis Penyebab Banjir di DKI Jakarta. *Jurnal Inovasi Penelitian*.

Fadlilla, L. N., Marfai, M. A., & Widyastuti, M. (2020). *Studi morfodinamika delta Wulan akibat proses angkutan sedimen dan hidrodinamik di Demak, Jawa Tengah* [Disertasi]. UGM

Fang, G., Yuan, Y., Gao, Y., Huang, X., & Guo, Y. (2018). the effects of urbanization on flood events

with urban agglomeration polders type of flood control pattern using the HEC-HMS model in the Qinhuai Rive Water.

Harifa, A. C., Purnomo, F., & Sutikno, S. (2022). *Flood model of downstream Kali Lahar using HEC-RAS*. Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Kimia, 7(1), 41–62.

Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T.,(2008). Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate.

Juliastuti, Y., Wijayanti, Y., Fajar, M., & Anda, M. (2023). *Hydraulic Modeling-Based Design of Retaining Wall Height for Flood Mitigation (Bekasi River, Jakarta)*. *Journal of Engineering and Sustainable Development*.

Kay Leng, S. T., Jaafar, M., et al. (2021). *Developing flood hazard maps for the Kelantan floodplain using the HEC-RAS 2D model*. *Geografia-Malaysian Journal of Society and Space*.

Lintang, N. F., et al. (2019). *Respon Muara Sungai Wulan Akibat Hidrodinamika Dan Aspek Fisik Di Delta Wulan Kabupaten Demak Jawa Tengah* [Tesis S2]. UGM.

Madi, N., et al. (2023). *Flood modeling using HEC-RAS 2D and IBER 2D: a comparative study*. *Water Supply*, 24(9), 3061-3074.

Manurung, J. G., Suryoputro, A. A. D., & Hariadi. (2020). *Analisis pengaruh pasang surut terhadap sebaran muatan padatan tersuspensi di sekitar perairan muara Sungai Wulan, Kabupaten Demak, Jawa Tengah*. *Journal of Oceanography*.

Malindo, N. S., Widiadana, I. B., & Santoso, A. (2024). *Optimizing spillway and embankment design for flood control along the Ciliwung River, Jakarta*. *Indonesian Journal of Civil Engineering and Planning*, 8(1), 45-59.

Mustamin, M. R., Maricar, F., Lopa, R. T., & Karamma, R. (2024). *Integration of UH-SUH, HEC-RAS, and GIS in Flood Mitigation with Flood Forecasting and Early Warning System for Gilireng Watershed, Indonesia*. *Earth*, 5(3), 274–292.

Immanuella, L. A., Dermawan, V., & Winarta, B. (2022). *Studi alternatif pengendalian banjir Sungai Welang dengan pendekatan pemodelan banjir aliran 2D*. Jurnal Teknik Pengairan, 13(2), 245–257.

Pandey, M., et al. (2021). *Modeling of Coastal Inundation in Response to a Tropical Cyclone Using a Coupled Hydraulic HEC-RAS and ADCIRC Model*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*.

Paimin, S., & Purwanto, A. (2010). Sidik Cepat Degradasi Sub Daerah Aliran Sungai (Sub Das).

Parsa, A. S., et al. (2016). *Floodplain Zoning Simulation by Using HEC-RAS and CCHE2D Models in the Sungai Maka River*. *Applied Water Science*, 26, 36089.

Pramadani, F. M., & Aprizal, A. (2023). *Analisa luas genangan menggunakan aplikasi HEC-RAS 6.1 secara 3D pada DAS Way Pisang*. Jurnal Teknik Sipil, 14(2), 3477.

Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in flood modeling and flood hazard mapping. *Sustainability*, *16*(3), 1226.

Renaningsih, S. (2018). *Integrated simulation of spillway and diversion structure in flood risk*

assessment of Upper Solo River. Journal of the Civil Engineering Forum, 4(2), 117–128.

Salsabila, S., Dermawan, V., & Cahya, E. N. (2025). *Studi efektivitas pembangunan kolam retensi pada Sungai Bremi untuk mengatasi banjir menggunakan HEC-RAS 6.5*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, 5(1), 011.

Sangari, J. R. R. (2014). *Ekopreferensi dua jenis Avicennia terhadap parameter lingkungan di tegakan bakau muara Sungai Wulan Demak*. *Jurnal Ilmiah Platax*, 2(3), 45–58.

Saputra, A. S., Sisinggih, D., & Prasetyorini, L. (2023). *Pemodelan pengendalian banjir di Kali Hardisingat Kabupaten Kediri menggunakan HEC-RAS 6.2* [Tesis sarjana]. Universitas Brawijaya.

Saputra, Z. A. E. (2025). *Manajemen pengendalian banjir untuk mitigasi bencana di Kabupaten Demak (Studi Kasus: Sungai Wulan)* [Tesis Magister]. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Soentoro, E. A., et al. (2019). *Kajian rehabilitasi tanggul kritis Sungai Wulan di Kabupaten Kudus sebagai upaya mitigasi bencana banjir* [Tesis S2]. UGM.

Schumann, G., Baldassarre, G. Di., (2009). The utility of spaceborne radar to render flood inundation maps based on multialgorithm ensembles.

.