



Studi Perbandingan Kapasitas Aliran & Resiko Banjir Sungai Wulan Dengan dan Tanpa Sistem Pembagi Debit

Zoggy Ardi Eka Saputra*, Henny Pratiwi Adi, Slamet Imam Wahyudi

Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

*) Email corresponding author: Zoggyeka@gmail.com

Received: 6 Februari 2026 Revised: 3 April 2026 Accepted: 14 Juli 2026

Abstract

Demak Regency frequently experiences flooding during the rainy season due to the limited capacity of the Wulan River to accommodate high water discharge. This study aims to evaluate the river's capacity to handle flood discharge and identify critical points. The research utilizes hydraulic modeling with HEC-RAS software, using geometric data collected along an 11.95 km stretch from Wilalung Sluice Gate to Tanggulangin Bridge. The area is divided into three segments: the main Segmen, Wilalung Segmen, and left Segmen. A flood discharge of 1,100 m³/s is used as the primary scenario, while a diversion simulation to the Juana River, reducing the discharge to 700 m³/s, is also conducted. Results show that at 1,100 m³/s, several stations (STA) indicate significant overflow potential: STA 226 (3,58 m) in the main Segmen, STA 235 (3,58 m) in Wilalung Segmen, and STA 234 (3,57m) in the left Segmen. After diverting the discharge to 700 m³/s, most points remain safe, although STA 234 remains critical at 3,20 m. In conclusion, river normalization and structural measures at critical points are needed to minimize the risk of flooding.

Keywords: Capacity, flood, mitigation, river

Abstrak

Kabupaten Demak sering mengalami banjir pada saat musim hujan karena terbatasnya kapasitas Sungai Wulan dalam menampung debit air yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas sungai dalam menampung debit banjir dan mengidentifikasi titik-titik kritis. Penelitian ini menggunakan pemodelan hidraulik dengan perangkat lunak HEC-RAS, dan menggunakan data geometri sungai sepanjang 11,95 km dari Pintu Air Wilalung hingga Jembatan Tanggulangin. Daerah tersebut dibagi menjadi tiga segmen: Segmen utama, Segmen Wilalung, dan Segmen kiri. Debit banjir sebesar 1.100 m³/dtk digunakan sebagai skenario utama, sementara simulasi pengalihan ke Sungai Juana, yang mengurangi debit menjadi 700 m³/dtk, juga dilakukan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada debit 1.100 m³/dtk, beberapa stasiun (STA) mengindikasikan potensi luapan yang signifikan, yaitu STA. 226 (3,58 m) di jangkauan utama, STA. 235 (3,58 m) di jangkauan Wilalung, dan STA. 234 (3,57 m) di jangkauan kiri. Setelah mengalihkan debit menjadi 700 m³/dtk, sebagian besar titik tetap aman, meskipun STA. 234 tetap kritis pada 3,20 m sehingga diperlukan normalisasi sungai serta penanganan struktural di titik-titik kritis untuk meminimalkan risiko banjir.

Kata kunci: Banjir, kapasitas, mitigasi, sungai

Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu permasalahan utama dalam pengelolaan sumber daya air karena peningkatan debit sungai pada saat kejadian hujan ekstrem dapat melampaui kapasitas tampung dan kapasitas pengaliran sungai. Permasalahan tersebut semakin kompleks pada wilayah yang memiliki perkembangan kawasan terbangun dan sistem sungai yang telah mengalami berbagai intervensi

pengendalian banjir. Pemodelan hidraulika telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kapasitas sungai, pola muka air, dan potensi genangan. Alia *et al.* (2024), misalnya, menggunakan integrasi HEC-RAS dan GIS untuk memetakan banjir pada wilayah aliran sungai di Palembang, sedangkan Hidayah *et al.* (2022) menerapkan pemodelan hidraulika untuk memetakan bahaya banjir Sungai Welang. Pendekatan serupa juga digunakan untuk menganalisis genangan pada Sub-DAS Cisadane

Hilir (Sholikha *et al.*, 2022), Sungai Joyoakan di Surakarta (Riswanto & Nanda, 2023), dan berbagai wilayah sungai lainnya (Stiawan *et al.*, 2023; Finanda *et al.*, 2025; Yudha *et al.*, 2025).

Perkembangan penelitian tersebut menunjukkan bahwa HEC-RAS tidak hanya digunakan untuk mengetahui lokasi genangan, tetapi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi respons hidraulik sungai terhadap berbagai kondisi debit dan skenario mitigasi. Mustamin *et al.* (2024) mengintegrasikan HEC-RAS, hidrograf satuan, dan GIS dalam sistem mitigasi banjir dan peringatan dini pada DAS Gilireng. Ghifari *et al.* (2025) mengintegrasikan pemodelan hidrodinamika dan penilaian bahaya untuk mengevaluasi risiko banjir pada DAS Pemali, sedangkan Sari *et al.* (2025) menggunakan HEC-RAS untuk membandingkan skenario mitigasi banjir pada Sungai Gajahwong. Pendekatan berbasis pemodelan hidraulika juga dikembangkan dengan integrasi data DEM dan model hidrologi, seperti pada penelitian Ginting *et al.* (2024), Parizi *et al.* (2022), dan Dahlia *et al.* (2025). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemodelan hidraulika dapat memberikan dasar kuantitatif untuk mengevaluasi kapasitas sistem sungai dan perubahan kondisi aliran akibat suatu skenario pengendalian banjir.

Selain pemodelan, berbagai penelitian telah mengembangkan strategi struktural untuk mengurangi risiko banjir. Penggunaan waduk regulasi dikaji sebagai salah satu alternatif pengendalian banjir pada DAS Wanggu, Kendari (Maddi *et al.*, 2021), sedangkan retarding basin dikaji untuk mengurangi risiko banjir pada Sungai Welang (Sari *et al.*, 2018). Penelitian lain menunjukkan bahwa strategi mitigasi dapat dilakukan melalui kombinasi tindakan struktural dan nonstruktural (Urbanus *et al.*, 2021). Pada skala yang lebih luas, Awad *et al.* (2025) mengembangkan kerangka pemodelan multi-skenario untuk mengevaluasi pengaruh strategi pengurangan limpasan terhadap kejadian banjir pada berbagai periode ulang. Dengan demikian, penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa evaluasi kapasitas sungai perlu ditempatkan dalam kerangka analisis skenario, bukan hanya pada kondisi eksisting.

Salah satu pendekatan yang relevan dalam pengendalian banjir adalah pengalihan atau pembagian debit sungai (flow diversion). Pengalihan sebagian debit dapat mengurangi beban aliran pada ruas sungai tertentu sehingga berpotensi menurunkan muka air dan luas genangan. Sun *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pengalihan aliran sungai dapat mengurangi luas genangan pada kondisi hujan tertentu. Namun demikian, efektivitas

pengalihan debit tidak hanya ditentukan oleh besarnya debit yang dialihkan, tetapi juga oleh karakteristik hidraulik pada lokasi pembagian aliran dan kapasitas masing-masing ruas sungai. Permasalahan tersebut menjadi semakin penting pada sistem sungai yang memiliki percabangan atau bifurkasi. Mendoza *et al.* (2022) menunjukkan bahwa distribusi debit pada bifurkasi sungai dapat berubah akibat intervensi pada sistem sungai bagian hulu. Perubahan distribusi aliran tersebut menunjukkan bahwa pengurangan debit pada suatu ruas tidak selalu identik dengan peningkatan kapasitas sistem secara keseluruhan karena respons hidraulik dapat berbeda pada masing-masing cabang.

Pada konteks perkotaan Semarang, permasalahan pengendalian banjir juga berkaitan dengan kondisi fisik wilayah dan keberlanjutan pengelolaan infrastruktur. Heikoop *et al.* (2024) menunjukkan bahwa sistem polder Banger di Semarang telah berkontribusi terhadap penurunan kejadian banjir, tetapi keberlanjutan sistem pengendalian banjir juga dipengaruhi oleh aspek pengelolaan, pembiayaan, pemeliharaan, dan keterlibatan pemangku kepentingan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pengendalian banjir perlu dipahami sebagai interaksi antara kapasitas hidraulik sungai dan efektivitas intervensi pengendalian, sehingga evaluasi kapasitas aliran pada sungai utama dan sistem pembagian debit menjadi penting dalam perencanaan mitigasi banjir.

Beberapa penelitian saat ini menunjukkan bahwa sebagian besar pemodelan banjir fokus pada pemetaan genangan, estimasi muka air, evaluasi risiko, atau perbandingan skenario mitigasi pada suatu wilayah sungai. Penelitian HEC-RAS yang ada juga umumnya mengevaluasi respons sungai terhadap variasi debit atau periode ulang, sedangkan penelitian mengenai diversion lebih banyak menilai manfaat pengurangan genangan akibat pengalihan aliran. Di sisi lain, penelitian mengenai bifurkasi menunjukkan bahwa distribusi debit antar-ruas dapat berubah akibat perubahan kondisi hidraulik dan intervensi pada sistem sungai.

Dengan demikian, masih terdapat kebutuhan untuk menghubungkan evaluasi kapasitas pengaliran sungai dengan perubahan distribusi debit pada sistem pembagian aliran, khususnya untuk menentukan apakah pengurangan debit pada ruas utama benar-benar menghasilkan kondisi hidraulik yang lebih aman pada seluruh sistem sungai. Berdasarkan kondisi tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi kapasitas pengaliran Sungai Wulan melalui perbandingan kondisi eksisting dengan skenario pembagian debit, sekaligus mengevaluasi respons muka air pada

beberapa ruas sungai setelah perubahan distribusi debit tersebut.

Penelitian tidak hanya membandingkan tinggi muka air sebelum dan sesudah pengalihan debit, tetapi juga mengidentifikasi ruas yang tetap menjadi titik kritis setelah debit dikurangi serta mengevaluasi batas kapasitas aliran yang dapat ditangani oleh sistem. Dalam penelitian ini, kondisi eksisting dengan debit 1.100 m³/s dibandingkan dengan skenario pembagian debit menjadi 700 m³/s serta kondisi kapasitas yang dievaluasi pada 500 m³/s menggunakan model HEC-RAS sepanjang sekitar 11,95 km Sungai Wulan. Pendekatan tersebut memungkinkan evaluasi apakah strategi pembagian debit mampu mengatasi permasalahan kapasitas sungai atau justru masih menyisakan bottleneck pada ruas tertentu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kapasitas pengaliran dan risiko banjir Sungai Wulan melalui pemodelan hidraulika HEC-RAS pada kondisi eksisting dan beberapa skenario pembagian debit, serta mengidentifikasi perubahan muka air dan lokasi kritis pada setiap ruas sungai. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar kuantitatif dalam menentukan efektivitas pembagian debit sebagai strategi pengendalian banjir serta menunjukkan kebutuhan penanganan tambahan pada ruas yang masih memiliki keterbatasan kapasitas.

Metode

Dalam rangka mengevaluasi kapasitas aliran Sungai Wulan serta pengaruh sistem pembagi debit terhadap potensi banjir, penelitian ini menerapkan tiga skenario simulasi hidraulik menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Penetapan skenario didasarkan pada kondisi eksisting aliran, mekanisme pengalihan debit melalui Pintu Air Wilalung, serta batas kapasitas hidraulik sungai.

Simulasi-1 (kondisi *eksisting*) merepresentasikan kondisi aliran tanpa intervensi, dengan debit sebesar 1.100 m³/detik yang mengalir penuh melalui sistem Sungai Wulan yaitu segmen utama. Nilai debit ini ditetapkan sebagai debit puncak yang mencerminkan kondisi banjir rencana berdasarkan data hidrologi yang tersedia. Selanjutnya debit terdistribusi di percabangan Pintu Air Wilalung. Distribusi debit pada kondisi ini diasumsikan terbagi merata, masing-masing 550 m³/detik ke segmen kiri dan segmen kanan. Simulasi-2 adalah kondisi pengalihan parsial yang menggambarkan skenario penerapan sistem pembagi debit melalui Pintu Air Wilalung, di mana sebagian aliran sebesar 400 m³/detik dialihkan menuju Sungai Juana. Dengan demikian, debit yang mengalir pada

segmen utama Sungai Wulan berkurang menjadi 700 m³/detik. Konfigurasi ini menghasilkan distribusi aliran yang tidak seimbang, di mana segmen kiri tetap menerima debit sebesar 550 m³/detik, sedangkan segmen kanan hanya menerima 150 m³/detik. Pada Simulasi-3, debit yang dianalisis sebesar 500 m³/detik digunakan untuk merepresentasikan kondisi kapasitas maksimum sungai, di mana seluruh segmen diasumsikan masih mampu menampung aliran tanpa terjadinya limpasan.

Ketiga skenario tersebut digunakan untuk menganalisis perubahan profil muka air, distribusi aliran antar segmen, serta mengidentifikasi titik-titik kritis sepanjang sungai yang berpotensi mengalami limpasan. Sebagai acuan konseptual, konfigurasi sistem pembagian aliran dan distribusi debit pada masing-masing skenario ditunjukkan pada Gambar 1, yang menunjukkan konfigurasi sistem aliran Sungai Wulan yang digunakan dalam pemodelan hidraulik. Sistem tersebut dibagi menjadi tiga segmen, yaitu segmen utama (STA. 1–226) sebagai alur dominan, Segmen Wilalung (STA.227–235) sebagai percabangan ke arah kanan, serta segmen kiri (STA.227–234) sebagai jalur distribusi sekunder.



Gambar 1. Skema Sungai Wulan

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pemodelan hidraulik yang dihasilkan mendekati kondisi lapangan. Proses validasi dilakukan secara kualitatif, yaitu dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data kejadian banjir yang pernah terjadi di Sungai Wulan, khususnya pada peristiwa banjir pada bulan Maret. Parameter validasi yang digunakan meliputi kesesuaian lokasi titik-titik kritis yang ditunjukkan oleh hasil simulasi, seperti pada STA 226 dan Segmen Wilalung, dengan lokasi kejadian limpasan dan kerusakan tanggul yang dilaporkan pada kondisi aktual. Kesesuaian pola antara hasil simulasi dan kondisi lapangan digunakan sebagai indikator bahwa model mampu merepresentasikan

karakteristik aliran Sungai Wulan secara memadai, sehingga layak digunakan sebagai dasar dalam evaluasi kapasitas aliran dan perencanaan pengendalian banjir.

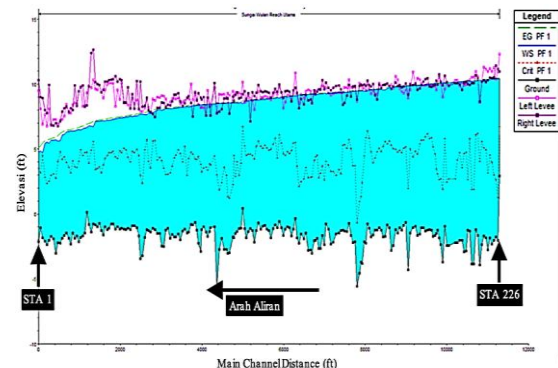
Hasil dan Pembahasan

Analisis hidraulik Sungai Wulan dilakukan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS berdasarkan tiga skenario simulasi yang telah ditetapkan pada bagian metode, yaitu kondisi eksisting, pengalihan parsial, dan kapasitas efektif. Analisis selanjutnya dilakukan dengan mengevaluasi profil muka air (*long section*) pada masing-masing segmen sungai, meliputi segmen utama, Segmen Wilalung, dan segmen kiri. Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan kapasitas penampang, distribusi aliran, serta titik-titik kritis yang berpotensi mengalami luapan pada setiap skenario. Pendekatan pemodelan hidraulik berbasis skenario sudah banyak digunakan dalam kajian kapasitas sungai dan mitigasi banjir, karena memungkinkan perbandingan kondisi hidraulik di beberapa nilai debit dan alternatif penanganan (Alia *et al.*, 2024; Hidayah *et al.*, 2022; Mustamin *et al.*, 2024).

Hasil simulasi disajikan dalam bentuk grafik long section dan tabel rekapitulasi untuk mempermudah interpretasi perbedaan kondisi hidraulik antar skenario. Simulasi pemodelan hidraulik dilakukan dengan membagi alur Sungai Wulan ke dalam tiga segmen utama yang keseluruhannya mencakup 235 stasiun. Segmen pertama merupakan alur utama sungai, yang terbentang dari STA. 1 hingga STA. 226, sehingga mencerminkan kondisi morfologi dan hidraulika Sungai Wulan secara dominan. Selanjutnya, terdapat Segmen Wilalung yang berfungsi sebagai percabangan ke arah kanan dari aliran utama, dimulai dari STA. 227 hingga STA. 235. Segmen ini memiliki peranan penting karena menjadi jalur distribusi debit yang dapat memengaruhi kapasitas alir dan potensi banjir di wilayah sekitarnya. Di sisi lain, pada percabangan kiri terbentuk segmen tambahan yang terbentang dari STA. 227 hingga STA. 234, yang berfungsi sebagai jalur aliran sekunder dengan karakteristik tersendiri.

Pembagian sistem menjadi beberapa segmen ini penting karena perubahan distribusi debit pada percabangan dapat menghasilkan respons muka air yang berbeda pada masing-masing alur. Fenomena tersebut sejalan dengan kajian mengenai perubahan distribusi aliran pada percabangan sungai yang menunjukkan bahwa kondisi geometrik dan pembagian debit pada bifurkasi dapat memengaruhi karakteristik aliran pada ruas-ruas setelah percabangan (Mendoza *et al.*, 2022).

Gambar 2 menunjukkan profil muka air pada segmen utama Sungai Wulan untuk Simulasi-1 dengan debit sebesar 1.100 m³/detik. Berdasarkan hasil pemodelan, terlihat bahwa elevasi muka air sepanjang alur sungai berada sangat dekat dengan batas kapasitas penampang, bahkan pada beberapa titik telah melampaui ambang kritis.



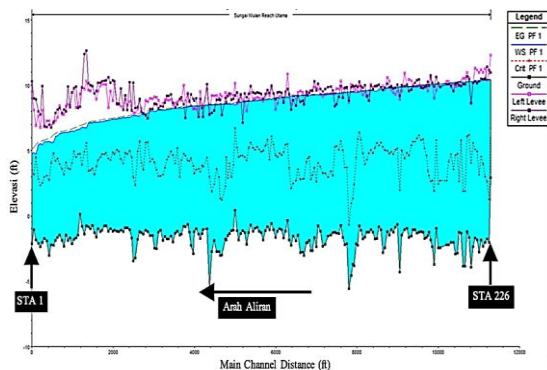
Gambar 2. Long section segmen utama terhadap debit 1.100 m³/detik

Nilai muka air maksimum teridentifikasi pada STA. 226 sebesar 3,58 m, sedangkan nilai minimum berada pada STA. 1 sebesar 2,89 m. Kecenderungan peningkatan elevasi muka air ke arah hilir menunjukkan adanya akumulasi debit yang tidak diimbangi oleh kapasitas penampang yang memadai. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada debit puncak, segmen utama Sungai Wulan tidak mampu mengalirkan debit secara optimal, sehingga berpotensi menimbulkan limpasan di beberapa titik kritis, terutama pada STA dengan elevasi muka air yang mendekati atau melampaui tinggi tanggul. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil berbagai penelitian pemodelan HEC-RAS yang menunjukkan bahwa peningkatan debit akan meningkatkan elevasi muka air dan dapat menyebabkan keterbatasan kapasitas pada penampang tertentu (Hidayah *et al.*, 2022; Riswanto & Nanda, 2023; Finanda *et al.*, 2025).

Jika dikaitkan dengan konfigurasi sistem pada Gambar 1, kondisi ini menunjukkan distribusi debit pada skenario eksisting belum mampu mengurangi beban aliran pada segmen utama, sehingga diperlukan intervensi berupa pengaturan distribusi debit atau peningkatan kapasitas penampang untuk menekan risiko banjir. Hasil ini juga menunjukkan bahwa evaluasi kapasitas sungai tidak cukup hanya dilakukan berdasarkan debit total, tetapi perlu mempertimbangkan distribusi debit dan kapasitas lokal pada setiap penampang. Pendekatan tersebut sejalan dengan kajian pemodelan banjir yang mengintegrasikan karakteristik hidrologi dan hidraulik untuk mengidentifikasi lokasi yang memiliki keterbatasan kapasitas secara lebih spesifik (Zhang *et al.*, 2022).

Gambar 3 menunjukkan profil muka air di segmen utama Sungai Wulan untuk Simulasi-2 dengan debit sebesar 700 m³/detik sebagai hasil dari pengalihan sebagian aliran melalui Pintu Air Wilalung. Berdasarkan hasil pemodelan, terlihat adanya penurunan elevasi muka air yang signifikan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Nilai muka air maksimum tercatat pada STA. 226 sebesar 3,18 m, sedangkan nilai minimum berada pada STA. 1 yaitu sebesar 1,45 m.

Penurunan ini menunjukkan bahwa pengurangan debit yang mengalir pada segmen utama secara langsung meningkatkan kapasitas tampung penampang sungai. Temuan ini sesuai dengan prinsip mitigasi banjir melalui pengurangan debit yang dialirkan pada ruas sungai yang memiliki kapasitas terbatas. Pemodelan pengalihan aliran pada penelitian lain juga menunjukkan bahwa diversion dapat menurunkan beban aliran pada ruas utama, meskipun efektivitasnya tetap dipengaruhi oleh kondisi penampang dan distribusi aliran setelah pengalihan (Sun *et al.*, 2024).

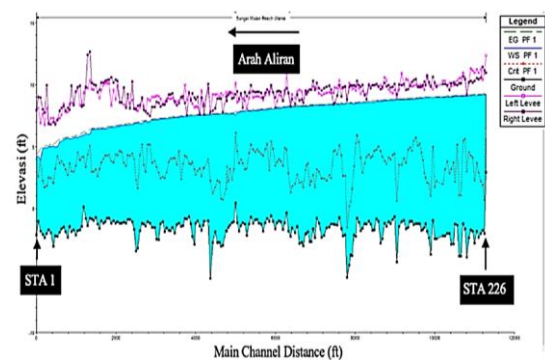


Gambar 3. Long section segmen utama terhadap debit 700 m³/detik

Meskipun secara umum kondisi aliran berada dalam batas yang lebih aman, beberapa titik masih menunjukkan kecenderungan mendekati kapasitas maksimum, khususnya pada bagian hilir. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun sistem pembagi debit mampu mengurangi beban aliran, kapasitas hidraulik Sungai Wulan pada segmen tertentu masih terbatas. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pengurangan debit tidak selalu menghasilkan kondisi aman secara seragam pada seluruh ruas sungai karena setiap penampang memiliki kapasitas hidraulik yang berbeda. Penelitian mengenai pemodelan banjir pada berbagai sungai juga menunjukkan bahwa lokasi kritis dapat tetap muncul meskipun terjadi penurunan debit akibat intervensi, terutama pada penampang yang memiliki kapasitas lebih rendah (Alia *et al.*, 2024; Yudha *et al.*, 2025). Jika dibandingkan dengan Simulasi-1, penurunan elevasi muka air pada Simulasi-2 menunjukkan

efektivitas sistem pembagi debit dalam mengendalikan aliran, namun belum sepenuhnya menghilangkan potensi terjadinya luapan pada titik-titik kritis. Dengan demikian, diperlukan kombinasi antara pengaturan distribusi debit dan peningkatan kapasitas penampang untuk mencapai kondisi aliran yang optimal. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian mitigasi banjir yang menunjukkan bahwa tindakan pengurangan debit atau pengalihan aliran perlu dikombinasikan dengan tindakan struktural pada lokasi yang masih memiliki keterbatasan kapasitas (Maddi *et al.*, 2021; Ghifari *et al.*, 2025).

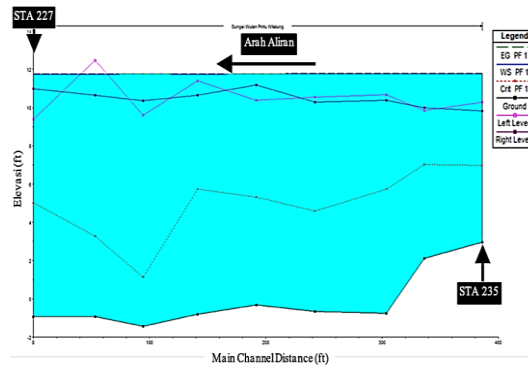
Profil muka air pada segmen utama Sungai Wulan untuk Simulasi-3 dengan debit sebesar 500 m³/detik yang merepresentasikan kondisi kapasitas efektif sungai disajikan pada Gambar 4. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa seluruh penampang berada dalam kondisi stabil tanpa indikasi terjadinya limpasan. Elevasi muka air maksimum tercatat pada STA. 226 sebesar 2,81 m, sedangkan elevasi minimum berada pada STA. 1 sebesar 1,45 m. Nilai tersebut berada di bawah batas kapasitas penampang, sehingga aliran masih dapat ditampung secara optimal di sepanjang segmen utama.



Gambar 4. Long section segmen utama terhadap debit 500 m³/detik

Jika dibandingkan dengan hasil dari Simulasi-1 dan Simulasi-2, terjadi penurunan elevasi muka air yang signifikan, yang menunjukkan bahwa pengurangan debit hingga 500 m³/detik mampu mengurangi tekanan hidraulik pada penampang sungai. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas efektif Sungai Wulan berada pada kisaran debit tersebut, di mana seluruh segmen mampu mengalirkan debit tanpa mendekati kondisi kritis berdasarkan konfigurasi penampang dan asumsi pemodelan yang digunakan. Hasil pemodelan kapasitas sungai dengan beberapa skenario debit juga menunjukkan pentingnya penentuan kondisi batas berdasarkan kemampuan penampang dalam menampung debit, bukan hanya berdasarkan besarnya debit banjir rencana (Finanda *et al.*, 2025; Yudha *et al.*, 2025). Dengan demikian, Simulasi-3 dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam menentukan kondisi aman kapasitas aliran

Sungai Wulan, serta sebagai dasar dalam perencanaan pengendalian banjir yang mempertimbangkan pengaturan distribusi debit dan peningkatan kapasitas penampang secara terintegrasi. Gambar 5 menunjukkan profil muka air di Segmen Wilalung untuk Simulasi-1 dengan debit sebesar $1.100 \text{ m}^3/\text{detik}$. Segmen ini merupakan titik percabangan aliran yang berperan penting dalam distribusi debit, sehingga kondisi hidrauliknya sangat menentukan potensi terjadinya limpasan.



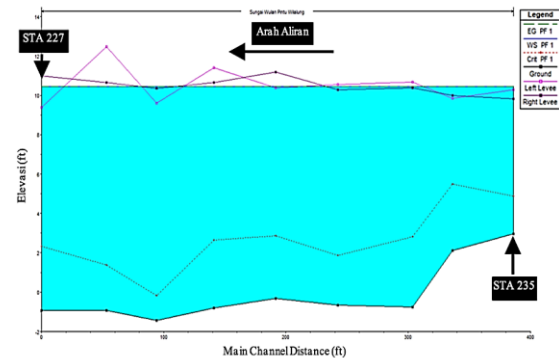
Gambar 5. Long section Segmen Wilalung terhadap debit $1.100 \text{ m}^3/\text{detik}$

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa elevasi muka air relatif seragam di sepanjang segmen, dengan nilai maksimum mencapai 3,59 m pada STA. 234 dan nilai minimum sebesar 3,58 m pada STA. 227–230. Perbedaan elevasi yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa aliran berada dalam kondisi mendekati kapasitas penuh, di mana penampang sungai telah mencapai batas kemampuan dalam menampung debit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan Segmen Wilalung dalam mendistribusikan aliran sangat terbatas pada debit tinggi, sehingga aliran tidak dapat didistribusikan secara efektif ke cabang sungai. Akibatnya, terjadi peningkatan risiko limpasan yang signifikan di sepanjang segmen ini.

Kondisi pada titik percabangan tersebut penting karena penelitian mengenai bifurkasi sungai menunjukkan bahwa perubahan distribusi debit dapat menghasilkan perubahan karakteristik aliran pada ruas setelah percabangan, terutama ketika salah satu cabang memiliki keterbatasan kapasitas (Mendoza *et al.*, 2022).

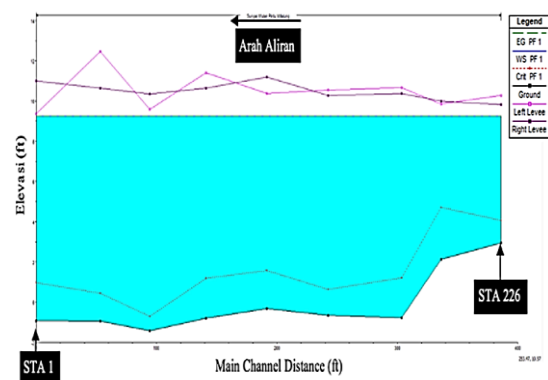
Gambar 6 menunjukkan profil muka air pada Segmen Wilalung untuk Simulasi-2 dengan debit sebesar $700 \text{ m}^3/\text{detik}$, yang merupakan hasil dari pengalihan sebagian aliran melalui Pintu Air Wilalung. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa elevasi muka air masih relatif seragam di sepanjang segmen, dengan nilai berkisar 3,19 m. Meskipun terjadi penurunan dibandingkan pada Simulasi-1, pola distribusi elevasi yang hampir konstan

mengindikasikan bahwa aliran masih berada dalam kondisi mendekati kapasitas penuh. Hal ini menunjukkan bahwa penampang sungai pada Segmen Wilalung belum mampu mendistribusikan aliran secara optimal meskipun debit telah dikurangi.

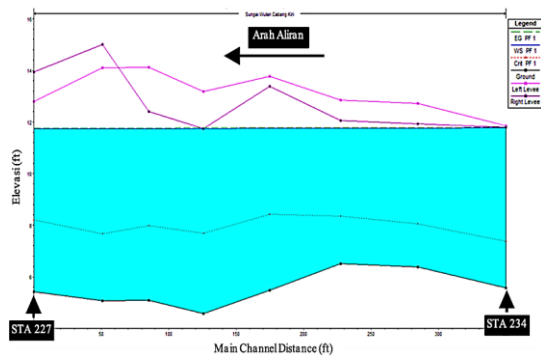


Gambar 6. Long section Segmen Wilalung terhadap debit $700 \text{ m}^3/\text{detik}$

Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengalihan debit pada Simulasi-2 belum sepenuhnya efektif dalam mengurangi tekanan hidraulik di titik percabangan. Segmen Wilalung masih berfungsi sebagai bottleneck, di mana kapasitas penampang menjadi faktor pembatas utama dalam pengaliran debit. Jika dibandingkan dengan hasil Simulasi-1, penurunan elevasi muka air menunjukkan adanya perbaikan kondisi, namun belum cukup untuk mengubah karakteristik aliran secara signifikan pada segmen ini. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa keberhasilan sistem pembagi debit tidak hanya ditentukan oleh jumlah debit yang dialihkan, tetapi juga oleh kemampuan ruas setelah percabangan dalam menerima dan mengalirkan debit. Temuan ini sejalan dengan penelitian mengenai perubahan distribusi aliran pada bifurkasi yang menunjukkan bahwa karakteristik percabangan dan kapasitas masing-masing cabang dapat memengaruhi distribusi aliran secara keseluruhan (Mendoza *et al.*, 2022).



Gambar 7. Long section Segmen Wilalung terhadap debit $500 \text{ m}^3/\text{detik}$



Gambar 8. Long Section segmen kiri terhadap debit 1.100 m³/detik

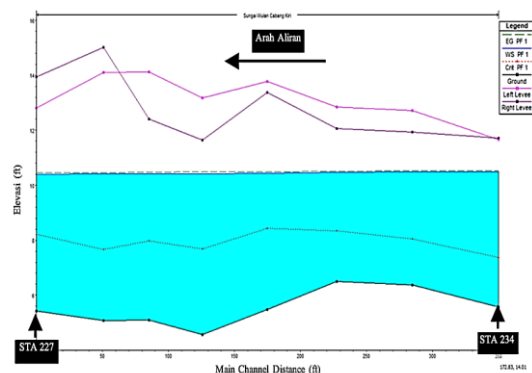
Gambar 7 menunjukkan profil muka air pada Segmen Wilalung untuk Simulasi-3 dengan debit 500 m³/detik. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa elevasi muka air pada kisaran 2,82 m dan relatif seragam di seluruh titik penampang. Tidak ditemukan indikasi terjadinya limpasan, yang menunjukkan bahwa kapasitas penampang pada Segmen Wilalung masih mampu menampung aliran secara optimal pada debit tersebut.

Jika dibandingkan dengan hasil Simulasi-1 dan Simulasi-2, tampak terjadi penurunan elevasi muka air yang signifikan, serta perubahan kondisi aliran dari keadaan mendekati kapasitas penuh menjadi kondisi yang lebih stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan debit hingga 500 m³/detik mampu mengurangi tekanan hidraulik pada titik percabangan, sehingga fungsi distribusi aliran pada Segmen Wilalung dapat berjalan secara lebih efektif. Hasil Simulasi-3 menegaskan bahwa keterbatasan kapasitas pada Segmen Wilalung merupakan salah satu faktor dominan dalam pengendalian banjir Sungai Wulan berdasarkan konfigurasi model yang digunakan, di mana debit di atas 500 m³/detik masih menunjukkan kondisi yang lebih kritis. Maka, pengaturan distribusi debit dan peningkatan kapasitas penampang pada segmen ini menjadi bagian penting dalam strategi mitigasi banjir. Pendekatan kombinasi antara pemodelan hidraulik dan tindakan mitigasi juga digunakan dalam penelitian di berbagai DAS di Indonesia untuk menentukan lokasi dan bentuk intervensi yang diperlukan (Mustamin *et al.*, 2024; Ghifari *et al.*, 2025).

Gambar 8 menunjukkan profil muka air pada segmen kiri Sungai Wulan untuk Simulasi-1 dengan debit sebesar 1.100 m³/detik. Berdasarkan hasil pemodelan, seluruh penampang pada segmen ini menunjukkan pola muka air yang relatif stabil. Elevasi muka air maksimum tercatat pada STA. 234 sebesar 3,57 m, sedangkan elevasi minimum pada STA. 227 hingga STA. 230 dengan nilai sekitar 3,44 m.

Perbedaan elevasi muka air yang relatif kecil menunjukkan bahwa aliran pada segmen kiri cenderung stabil dan tidak mengalami perubahan tekanan hidraulik yang besar sepanjang ruas. Hal ini mengindikasikan bahwa secara profil aliran, segmen kiri relatif lebih stabil dibandingkan segmen utama dan Segmen Wilalung. Namun demikian, beberapa titik pada segmen kiri untuk Simulasi-1 masih dikategorikan kritis (Tabel 1). Oleh karena itu, kestabilan profil muka air tidak dapat secara langsung diartikan bahwa seluruh penampang telah memenuhi kapasitas, tetapi menunjukkan bahwa variasi muka air sepanjang segmen relatif kecil.

Perbedaan antara pola profil dan status kapasitas ini menunjukkan pentingnya penggunaan evaluasi penampang secara individual dalam interpretasi hasil pemodelan, sebagaimana juga ditekankan dalam kajian pemetaan dan evaluasi kapasitas banjir berbasis HEC-RAS (Alia *et al.*, 2024; Ullah *et al.*, 2024).

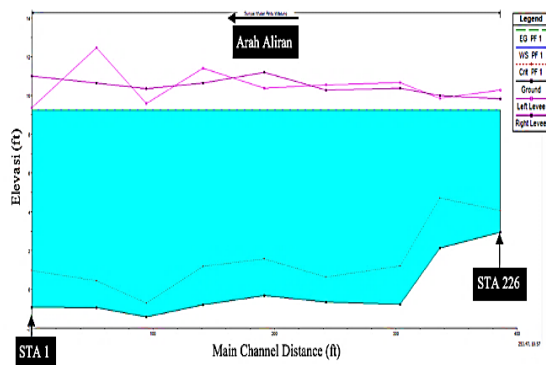


Gambar 9. Long section segmen kiri terhadap debit 700 m³/detik

Gambar 9 menunjukkan profil muka air pada segmen kiri Sungai Wulan untuk Simulasi-2 dengan debit 700 m³/detik. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa seluruh penampang masih berada dalam kondisi aman tanpa indikasi terjadinya limpasan. Elevasi muka air maksimum teridentifikasi pada STA. 233–234 sebesar 3,50 m, sedangkan elevasi minimum berada pada STA. 227 sebesar 3,17 m. Pola distribusi elevasi muka air menunjukkan adanya gradien aliran yang relatif stabil dari hulu ke hilir, yang mengindikasikan bahwa aliran masih dapat didistribusikan secara efektif tanpa terjadi akumulasi debit yang signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas penampang pada segmen kiri tetap memadai berdasarkan hasil Simulasi-2 meskipun terjadi perubahan distribusi debit akibat pengalihan aliran. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pengaruh sistem pembagi debit tidak selalu sama pada seluruh cabang sungai, karena respons hidraulik ditentukan oleh kapasitas dan karakteristik masing-masing ruas.

Tabel 1. Rekapitulasi kapasitas sungai

STA	Tinggi muka air (m)			Elevasi maks. (m)		Kapasitas sungai		
	1100 m ³ /det	700 m ³ /det	500 m ³ /det	Kiri	Kanan	1100 m ³ /det	700 m ³ /det	500 m ³ /det
1	2,89	1,45	1,25	2,89	3,15	Kritis	Cukup	Cukup
25	2,99	2,07	1,80	2,99	3,00	Kritis	Cukup	Cukup
31	3,03	2,19	1,96	2,86	2,86	Tidak cukup	Cukup	Cukup
50	3,09	2,34	2,10	2,41	3,10	Tidak cukup	Cukup	Cukup
100	3,21	2,59	2,30	3,09	2,81	Tidak cukup	Cukup	Cukup
150	3,35	2,86	2,56	2,97	2,60	Tidak cukup	Tidak cukup	Cukup
200	3,50	3,08	2,74	2,75	3,01	Tidak cukup	Tidak cukup	Cukup
226	3,58	3,18	2,81	3,76	3,35	Tidak cukup	Cukup	Cukup
230 Segmen Wilalung	3,58	3,19	2,82	3,47	3,25	Tidak cukup	Cukup	Cukup
235 Segmen Wilalung	3,58	3,19	2,82	3,20	2,99	Tidak cukup	Tidak cukup	Cukup
230 Segmen Kiri	3,58	3,18	2,83	4,02	3,58	Kritis	Cukup	Cukup
234 Segmen Kiri	3,54	3,20	2,88	3,55	3,62	Kritis	Cukup	Cukup



Gambar 10. Long section segmen kiri terhadap debit 500 m³/detik

Gambar 10 menunjukkan profil muka air pada segmen kiri Sungai Wilalung untuk Simulasi-3 dengan debit sebesar 500 m³/detik. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa seluruh penampang berada dalam kondisi stabil tanpa indikasi terjadinya limpasan. Elevasi muka air maksimum tercatat pada STA. 234 sebesar 2,88 m, sedangkan elevasi minimum berada pada STA. 227 sebesar 2,80 m.

Selisih elevasi yang relatif kecil menunjukkan bahwa aliran berlangsung dalam kondisi seragam dan terkendali, tanpa adanya peningkatan tekanan hidraulik yang signifikan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kapasitas penampang pada segmen kiri masih memadai dalam menampung aliran pada skenario debit 500 m³/detik. Jika dibandingkan dengan hasil Simulasi-1 dan Simulasi-2, segmen kiri menunjukkan konsistensi karakteristik hidraulik yang relatif stabil pada seluruh skenario. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan hasil model, segmen kiri bukan

merupakan faktor pembatas utama dalam sistem Sungai Wilalung, sedangkan perhatian penanganan lebih diarahkan pada segmen utama dan Segmen Wilalung yang menunjukkan keterbatasan kapasitas lebih jelas.

Pada Tabel 1, terlihat bahwa Simulasi-1 dengan debit 1.100 m³/detik, sebagian besar penampang berada dalam kondisi tidak mencukupi atau kritis. Kondisi tersebut terutama terlihat pada STA. 150 hingga STA. 226 pada segmen utama, serta pada Segmen Wilalung. Pada segmen kiri, beberapa STA juga menunjukkan status kritis pada debit 1.100 m³/detik. Hasil ini menunjukkan bahwa debit 1.100 m³/detik memberikan beban hidraulik yang tinggi terhadap sistem sungai, sehingga kapasitas penampang pada beberapa lokasi tidak lagi memadai. Temuan tersebut konsisten dengan prinsip dasar pemodelan banjir bahwa peningkatan debit dapat menyebabkan peningkatan muka air dan memperbesar potensi overtopping pada penampang yang memiliki kapasitas terbatas (Hidayah *et al.*, 2022; Finanda *et al.*, 2025).

Pada Simulasi-2 dengan debit 700 m³/detik, terjadi perbaikan kapasitas yang signifikan di sebagian besar penampang. Namun demikian, beberapa titik masih menunjukkan kondisi tidak mencukupi, khususnya pada STA. 150, STA. 200, dan STA. 235 di Segmen Wilalung. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun pengalihan debit mampu mengurangi beban aliran, kapasitas hidraulik pada titik tertentu masih menjadi faktor pembatas. Dengan demikian, pengurangan debit dapat menurunkan elevasi muka air, tetapi tidak serta-merta menghilangkan seluruh titik kritis. Kondisi ini sejalan dengan hasil kajian mengenai diversion yang menunjukkan bahwa pengalihan aliran dapat

mengurangi beban pada ruas tertentu, tetapi efektivitas mitigasinya tetap bergantung pada kapasitas saluran dan distribusi aliran setelah pengalihan (Sun *et al.*, 2024).

Sementara itu, pada Simulasi-3 dengan debit 500 m³/detik, seluruh penampang menunjukkan kondisi mencukupi berdasarkan hasil simulasi. Pola ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara besarnya debit dengan tingkat kecukupan kapasitas penampang. Pada kondisi tersebut, elevasi muka air pada seluruh segmen lebih rendah dibandingkan dua skenario sebelumnya sehingga tidak ditemukan indikasi limpasan pada penampang yang ditinjau. Hasil tersebut memperkuat bahwa pengurangan debit merupakan salah satu faktor penting dalam menurunkan tekanan hidrolik pada sistem sungai.

Pada kondisi eksisting dengan debit 1.100 m³/detik, sebagian besar penampang, khususnya pada segmen utama dan Segmen Wilalung, berada dalam kondisi kritis yang ditandai dengan elevasi muka air mendekati atau melampaui kapasitas penampang, sehingga berpotensi menimbulkan limpasan. Penerapan sistem pembagi debit melalui Pintu Air Wilalung dengan debit 700 m³/detik menunjukkan adanya penurunan elevasi muka air dan perbaikan kapasitas aliran pada segmen utama.

Namun demikian, masih teridentifikasi kondisi mendekati jenuh yang menunjukkan bahwa titik percabangan tersebut berperan sebagai bottleneck hidrolik yang membatasi kinerja sistem distribusi debit. Pada debit 500 m³/detik, seluruh segmen sungai menunjukkan kondisi stabil tanpa indikasi luapan, sehingga dapat diidentifikasi sebagai batas kapasitas efektif Sungai Wulan dalam menampung debit aliran. Temuan ini menegaskan bahwa pengendalian banjir pada Sungai Wulan sangat bergantung pada kemampuan menjaga debit aliran berada di bawah ambang kapasitas tersebut. Secara spasial, segmen Wilalung dan bagian hilir segmen utama merupakan lokasi paling kritis yang memerlukan prioritas penanganan, sedangkan segmen kiri menunjukkan karakteristik hidrolik yang stabil dan tidak menjadi faktor pembatas dalam sistem aliran.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi debit 500 m³/detik dapat digunakan sebagai indikasi kapasitas efektif Sungai Wulan berdasarkan konfigurasi penampang, distribusi debit, dan asumsi pemodelan yang digunakan. Hasil ini tidak dimaksudkan sebagai kapasitas maksimum absolut Sungai Wulan, tetapi sebagai batas efektif yang diperoleh dari perbandingan tiga skenario yang dianalisis. Di sisi lain, Segmen Wilalung dan bagian hilir segmen utama teridentifikasi sebagai lokasi yang memerlukan perhatian lebih besar

karena menunjukkan respons muka air dan status kapasitas yang lebih kritis dibandingkan ruas lainnya. Pendekatan penentuan kapasitas berdasarkan beberapa skenario hidrolik juga memberikan informasi yang lebih operasional untuk mendukung evaluasi mitigasi banjir dibandingkan hanya menggunakan satu kondisi debit (Zhang *et al.*, 2022).

Hasil tersebut juga didukung oleh proses validasi model yang dilakukan secara kualitatif, yaitu melalui kesesuaian antara lokasi titik kritis hasil simulasi dengan kejadian banjir aktual di lapangan, khususnya pada Segmen Wilalung dan STA. 226. Kesesuaian tersebut memberikan indikasi bahwa model mampu merepresentasikan pola hidrolik utama Sungai Wulan secara memadai untuk tujuan evaluasi kapasitas. Namun demikian, karena validasi yang dilakukan bersifat kualitatif, hasil tersebut tidak dapat diartikan sebagai ukuran kuantitatif tingkat akurasi model. Validasi kuantitatif dengan data muka air atau debit terukur dapat menjadi pengembangan lebih lanjut. Kebutuhan terhadap evaluasi ketidakpastian dan sensitivitas model juga menjadi perhatian dalam penelitian pemodelan hidrodinamika dan pemetaan banjir (Alipourm *et al.*, 2022).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas Sungai Wulan sangat dipengaruhi oleh distribusi debit pada titik percabangan, khususnya pada Segmen Wilalung yang berperan sebagai titik pengendali aliran. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mendoza *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa perubahan distribusi aliran pada bifurkasi dapat memengaruhi kondisi hidrolik pada cabang-cabang sungai. Namun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengalihan debit saja belum cukup untuk menghilangkan kondisi kritis, terutama pada segmen dengan keterbatasan kapasitas penampang. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem pembagi debit sangat bergantung pada kondisi geometrik dan kapasitas hidrolik pada titik percabangan, yang dalam penelitian ini teridentifikasi sebagai bottleneck hidrolik.

Secara metodologis, penelitian ini memberikan kontribusi melalui pendekatan simulasi berbasis skenario debit yang terintegrasi dengan analisis distribusi aliran pada setiap segmen sungai. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi perubahan respons muka air akibat perubahan debit serta identifikasi lokasi yang tetap menjadi pembatas setelah intervensi. Hasil tersebut memperluas penggunaan pemodelan HEC-RAS yang pada berbagai penelitian sebelumnya lebih banyak digunakan untuk pemetaan genangan, evaluasi kapasitas, dan analisis risiko banjir (Alia *et*

al., 2024; Mustamin *et al.*, 2024; Sari *et al.*, 2025). Dalam penelitian ini, pemodelan tidak hanya digunakan untuk menggambarkan kondisi banjir, tetapi juga untuk membandingkan respons hidraulik akibat perubahan distribusi debit pada sistem sungai bercabang.

Dari sisi praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi pengendalian banjir tidak cukup hanya mengandalkan pengalihan debit, tetapi juga memerlukan peningkatan kapasitas penampang pada titik-titik yang masih menjadi pembatas, khususnya Segmen Wilalung dan bagian hilir segmen utama. Pendekatan kombinasi antara tindakan pengurangan debit, peningkatan kapasitas alur, dan pengelolaan sistem pengendalian banjir juga digunakan dalam berbagai studi mitigasi banjir (Maddi *et al.*, 2021; Ghifari *et al.*, 2025). Dengan demikian, hasil penelitian dapat menjadi dasar awal dalam menentukan lokasi yang membutuhkan normalisasi atau peningkatan kapasitas penampang sebelum sistem pembagi debit diterapkan sebagai satu-satunya strategi pengendalian banjir.

Dalam konteks pengelolaan sumber daya air di wilayah Semarang dan sekitarnya, hasil ini juga menunjukkan pentingnya mempertimbangkan aspek operasional dan kelembagaan dalam pengelolaan sistem pengendalian banjir. Pengelolaan sistem air perkotaan tidak hanya berkaitan dengan kapasitas hidraulik, tetapi juga dengan keterlibatan pemangku kepentingan, operasi dan pemeliharaan, serta pengambilan keputusan pada kondisi darurat. Studi Heikoop *et al.* (2024) mengenai sistem polder Banger di Semarang menunjukkan bahwa pengelolaan air perkotaan membutuhkan keterlibatan berbagai pemangku kepentingan untuk mendukung keberlanjutan pengelolaan sistem. Meskipun konteks sistemnya berbeda dengan Sungai Wulan, aspek tersebut relevan sebagai pertimbangan dalam implementasi strategi pengendalian banjir yang melibatkan pengoperasian bangunan pembagi debit.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan hidraulik menggunakan HEC-RAS pada tiga skenario debit, diperoleh bahwa kapasitas Sungai Wulan sangat dipengaruhi oleh besarnya debit aliran dan distribusinya pada titik percabangan.

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemahaman perilaku aliran pada sistem sungai bercabang, khususnya dalam mengidentifikasi peran *bottleneck* hidraulik pada titik percabangan serta batas kapasitas efektif sungai berbasis analisis skenario. Implikasi praktis dari penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pengendalian banjir

tidak cukup hanya mengandalkan sistem pembagi debit, tetapi perlu dikombinasikan dengan peningkatan kapasitas penampang pada segmen kritis untuk mencapai kinerja sistem yang optimal dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada BBWS Pemali Juana atas dukungan data yang sangat berharga dalam penyusunan artikel ini. Tidak lupa juga menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada para dosen Program Magister Universitas Islam Sultan Agung (Unissula), khususnya kepada dosen pembimbing, atas waktu, bimbingan, dan arahnya yang sangat berarti bagi kelancaran dan kesempurnaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Alia, F., Rendana, M., Idris, W. M. R., Sarino, & Yuono, A. L. (2024). Flood mapping using HEC-RAS and GIS: A case study of Palembang watersheds. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 63(1), 244–256.
<https://doi.org/10.37934/araset.63.1.244256>.
- Alipourm, A., Hafar zadegan, K., & Moradkhani, H., (2022) Global sensitivity analysis in hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. *Environmental Modelling & Software*, 152, 105398.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105398>
- Awad, A. M. M., Wikantika, K., Windupranata, W., & Virtriana, R. (2025). Multi-scenario modelling framework for afforestation strategies to mitigate runoff and flooding across storm return periods in tropical large river basins: The Upper Citarum case. *International Journal of River Basin Management*, 619–642.
<https://doi.org/10.1080/15715124.2025.2457543>
- Dahlia, S., Suprayogi, S., Purwanto, T. H., & Hizbaron, D. R. (2025). Integrated rainfall-runoff, HEC-RAS 2D, and Lidar DEM model for flood simulation in urban ungauged catchment area: Case study of Cipinang catchment, Jakarta City, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11, 319.
<https://doi.org/10.1007/s40808-025-02483-z>
- Finanda, R., Arifaini, N., Zakaria, A., & Prasetyo. (2025). Hydraulic Analysis of Flood Characteristics in Way Sekampung Watershed Using HEC-RAS with Various Return Periods. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 10(1), 1–14.
<https://doi.org/10.29244/jsil.10.1.1-14>

- Ghifari, M. R. E., Romdani, A., Bayuaji, I. S., Dey, L., Mudatsir, Empung, & Putra, A. S. (2025). Integrating hydrodynamic modelling and hazard assessment to mitigate flood risks in the Pemali River Basin, Central Java, Indonesia. *International Journal of River Basin Management*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/15715124.2025.2551574>
- Ginting, B. M., Lidyana, P., Christopher, C., Yudianto, D., & Yuebo, X. (2025). Evaluating the satellite-derived DEM accuracy with rain-on-grid modeling for flood hydrograph prediction of Katulampa Watershed, Indonesia. *International Journal of River Basin Management*, 23(3), 369-386. <https://doi.org/10.1080/15715124.2024.2312857>
- Heikoop, R., Verbraeken, R., Wahyudi, S. I., & Adi, H. P. (2024). Stakeholder engagement in urban water management: A SWOT analysis of the Banger polder system in Semarang. *Environmental Challenges*, 14, 100831. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100831>
- Hidayah, E., Halik, G., Indarto, & Khaulan, D. W. (2022). Flood hazard mapping of the Welang River, Pasuruan, East Java, Indonesia. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 11(3), 333-344. <https://doi.org/10.1080/23249676.2022.2114025>
- Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian pengendalian banjir dengan menggunakan waduk regulasi (Studi kasus: DAS Wanggu Kota Kendari). *Jurnal Flyover (JFO)*, 1(1). <https://doi.org/10.52103/jfo.v1i1.658>
- Mendoza, A., Berezowsky, M., Caballero, C., & Arganis-Juárez, M. (2022). Alteration of the flow distribution at a river bifurcation caused by a system of upstream dams: Case of the Grijalva River basin, Mexico. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(2), 509-521.
- 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. <https://doi.org/10.3390/earth5030015>
- Parizi, E., Khojeh, S., Hosseini, S. M., & Jouybari Moghadam, Y. (2022). Application of unmanned aerial vehicle DEM in flood modeling and comparison with global DEMs: Case study of Atrak River Basin, Iran. *Journal of Environmental Management*, 317, 115492. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115492>
- Riswanto, S., & Nanda, M. P. (2023). Use of HEC-RAS software to analyze floods in Joyoakan Urban Village, Surakarta City, Central Java. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, 6(1), 33-41. <https://doi.org/10.30659/jacee.6.1.33-41>
- Sari, P., Legono, D., & Sujono, J. (2018). Performance of retarding basin in flood disaster risk mitigation in Welang River, East Java Province, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 4(2), 109-110. <https://doi.org/10.22146/jcef.31938>
- Sari, S. P., Suprayogi, S., & Budiman, S. (2025). HEC-RAS-Based Urban Flood Simulation for Enhancing Mitigation Scenarios in the Gajahwong River, Indonesia. *Geographia Technica*, 20(1), 127-142. https://doi.org/10.21163/GT_2025.201.10
- Sholikha, D. E. Z., Sutoyo, & Rau, M. I. (2022). Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS di Sub DAS Cisadane Hilir. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(2), 147-160. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.2.147-160>
- Stiawan, Y. A., Adityawan, M. B., & Prasetyo, A. (2023). Flood Modeling on the Dadap River and Estuary, Banten Province. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(1), 1-8. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.1.1>
- Sun, Q., Zhu, D., Zhang, Z., & Xu, J. (2024). Analyzing the Mitigation Effect of Urban River Channel Flood Diversion on Waterlogging Disasters Based on Deep Learning. *Water*, 16(13), 1771. <https://doi.org/10.3390/w16131771>
- Ullah, M. I., Qureshi, K. S., Rauf, A. U., & Shah, L. A. (2024). Advanced floodplain mapping: HEC-RAS and ArcGIS Pro application on Swat River. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 15, 245-258. <https://doi.org/10.1007/s43995-024-00054-4>
- Urbanus, A., Sela, R. L. E., & Tungka, A. E. (2021). Mitigasi bencana banjir struktural dan non-struktural di Kabupaten Bolaang Mongondow Selatan. *SPASIAL*, 8(3), 447-458.
- Yudha, A. P., Sisinggih, D., & Sumiadi. (2025). Analisis Banjir Hilir Sungai Ketapang Kabupaten Sidoarjo Menggunakan Aplikasi HEC-RAS. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 5(1). <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2025.005.01.034>
- Zhang, K., Shalehy, M. H., Ezaz, G. T., Chakraborty, A., Mohib, K. M., & Liu, L. (2022). An integrated flood risk assessment approach based on coupled hydrological-hydraulic modeling and bottom-up hazard vulnerability analysis. *Environmental Modelling & Software*, 148, 105279. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105279>