Hulonthalo Journal of Civil and Architecture (HJCA)
Vol. 2, No. 1, June 2026, pp. 10-17
ISSN: 2302-9285, DOI: 10.11591/hjca.v2i1.1046

Integrasi HEC-HMS dan HEC-RAS untuk Evaluasi Respons Sistem Keairan terhadap Perubahan Penggunaan Lahan di Gorontalo

Abdi Irawan Kuku[1], Sri Haerunnisa[2], Intan Putri Lasena[3]
[1,2,3]Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Maret 21, 2026
Revised Mei 11, 2026
Accepted Juni 9, 2026

Keywords:

Perubahan penggunaan lahan
Hidrologi
Hidraulika sungai
HEC-HMS
HEC-RAS

ABSTRACT

Perubahan penggunaan lahan pada daerah aliran sungai (DAS) dapat memengaruhi karakteristik infiltrasi, limpasan permukaan, debit puncak, dan kapasitas hidraulik sungai. Kondisi tersebut menjadi salah satu tantangan dalam pengelolaan sistem keairan di wilayah Gorontalo yang mengalami perkembangan kawasan terbangun dan perubahan karakteristik DAS. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap respons hidrologi dan kapasitas hidraulik sungai melalui integrasi analisis penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis (SIG), HEC-HMS, dan HEC-RAS. Data penggunaan lahan multitemporal digunakan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik permukaan DAS, sedangkan data curah hujan, karakteristik DAS, dan parameter hidrologis digunakan dalam pemodelan hujan-limpasan menggunakan HEC-HMS. Hasil simulasi debit kemudian digunakan sebagai input HEC-RAS untuk mengevaluasi tinggi muka air, kedalaman aliran, kapasitas penampang, dan potensi overtopping pada beberapa periode ulang banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan, khususnya peningkatan kawasan terbangun, berkontribusi terhadap peningkatan limpasan permukaan dan perubahan debit puncak. Peningkatan debit tersebut selanjutnya memberikan tekanan terhadap kapasitas hidraulik beberapa segmen sungai dan meningkatkan potensi genangan pada lokasi dengan kapasitas penampang terbatas. Integrasi model hidrologi dan hidraulika memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara dinamika DAS dan kinerja infrastruktur keairan. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan strategi pengendalian banjir berbasis DAS di Gorontalo melalui kombinasi pendekatan struktural dan nonstruktural.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Abdi Irawan Kuku
Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Gorontalo
Jln. Prof. Mansoer Pateda Kec. Telaga Biru Kab. Gorontalo, Gorontalo, Indonesia
Email: abdi@umgo.ac.id

1. INTRODUCTION

Permasalahan keairan merupakan salah satu aspek penting dalam pembangunan infrastruktur teknik sipil karena berkaitan langsung dengan ketersediaan air, pengendalian banjir, sistem drainase, stabilitas sungai, irigasi, serta keberlanjutan kawasan perkotaan. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan intensitas hujan ekstrem, perubahan tata guna

lahan, pertumbuhan kawasan terbangun, dan degradasi daerah aliran sungai (DAS) telah meningkatkan kompleksitas permasalahan hidrologi dan hidraulika. Perubahan tersebut menyebabkan peningkatan limpasan permukaan, perubahan pola debit sungai, dan meningkatnya tekanan terhadap kapasitas infrastruktur keairan. Kajian mutakhir menunjukkan bahwa perubahan iklim dan urbanisasi merupakan dua faktor penting yang dapat meningkatkan risiko banjir perkotaan dan menuntut pendekatan pengelolaan drainase yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan [1]

Kondisi tersebut relevan dengan karakteristik wilayah Gorontalo yang memiliki sejumlah sistem hidrologis strategis, antara lain DAS Limboto, DAS Bolango-Bone, serta Danau Limboto. Sistem tersebut memiliki keterkaitan yang kuat antara kondisi daerah tangkapan air, sungai, kawasan permukiman, dan badan air penerima. Permasalahan banjir di Gorontalo tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan tinggi, tetapi juga oleh karakteristik morfometri DAS, perubahan penggunaan lahan, kondisi topografi, kapasitas sungai, serta perubahan kapasitas tampungan badan air. Penelitian [2], misalnya, menunjukkan bahwa potensi bahaya banjir di Kabupaten Gorontalo berkaitan dengan kombinasi curah hujan, elevasi, kemiringan lereng, jenis tanah, jarak terhadap badan air, dan penggunaan lahan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa permasalahan banjir Gorontalo memiliki karakter multidimensional sehingga pendekatan yang hanya menggunakan satu parameter hidrologis belum memadai.

Pada skala DAS, beberapa penelitian lokal telah menghasilkan informasi penting mengenai karakteristik hidrologi wilayah Gorontalo. [3] menganalisis pola distribusi dan intensitas curah hujan di DAS Bolango-Bone menggunakan beberapa distribusi probabilitas dan metode intensitas hujan. Penelitian tersebut menegaskan pentingnya karakteristik curah hujan sebagai input utama dalam estimasi debit banjir rencana. Selanjutnya, [4] menggunakan analisis hidrologi dan HEC-RAS untuk mengkaji debit banjir serta tinggi muka air Sungai Bone dalam kaitannya dengan elevasi dasar Jembatan Molintogupo. Dengan demikian, kajian hidrologi-hidraulika di Gorontalo telah berkembang dari analisis curah hujan menuju simulasi hubungan antara debit banjir dan kondisi penampang sungai.

Permasalahan tersebut semakin kompleks pada DAS yang mengalami perubahan penggunaan lahan. [5] menunjukkan melalui pemodelan HEC-HMS bahwa perubahan kondisi lahan pada DAS Alo memengaruhi besarnya debit sungai. Simulasi perubahan penggunaan lahan berdasarkan skenario tata ruang juga menunjukkan adanya potensi penurunan debit banjir dibandingkan kondisi penggunaan lahan eksisting. Temuan ini memperlihatkan bahwa pengelolaan banjir tidak dapat hanya berorientasi pada pembangunan struktur pengendali banjir, tetapi perlu mempertimbangkan pengelolaan tata guna lahan pada daerah tangkapan air.

Persoalan lain yang sangat penting adalah penurunan kapasitas tampungan Danau Limboto akibat sedimentasi. [6] melaporkan bahwa sedimentasi yang berasal dari sungai-sungai yang bermuara ke Danau Limboto berkontribusi terhadap berkurangnya kemampuan danau sebagai tampungan alami dan pengendali banjir. Kondisi tersebut menjadi semakin penting karena Danau Limboto menerima aliran dari banyak sungai dan memiliki keterkaitan hidrologis dengan sistem Tapodu-Bolango-Bone. Penelitian terbaru mengenai optimasi operasi pintu menunjukkan bahwa pengaturan pelepasan air dari Danau Limboto dapat memengaruhi debit keluar dan elevasi muka air danau pada berbagai periode ulang banjir. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pengelolaan keairan di Gorontalo membutuhkan pendekatan yang menghubungkan aspek hidrologi DAS, tampungan, dan kapasitas saluran secara terpadu.

Meskipun sejumlah penelitian tersebut telah memberikan kontribusi penting, masih terdapat research gap yang perlu dikembangkan. Pertama, penelitian di Gorontalo cenderung berfokus pada komponen tertentu secara terpisah, misalnya analisis curah hujan, debit banjir,

tinggi muka air sungai, pemetaan kerawanan, atau sedimentasi. Kedua, sebagian penelitian menggunakan kondisi tata guna lahan tertentu sebagai input model sehingga belum sepenuhnya menjelaskan bagaimana perubahan spasial penggunaan lahan secara temporal memengaruhi respons hidrologis dan kapasitas sistem keairan. Ketiga, integrasi antara perubahan tata guna lahan, transformasi hujan-limpasan, simulasi hidraulika sungai, dan identifikasi lokasi kritis genangan masih relatif terbatas. Padahal, penelitian mutakhir menunjukkan bahwa integrasi model hidrologi-hidraulika dengan penginderaan jauh, GIS, dan pendekatan komputasi modern merupakan arah penting dalam pengembangan pemodelan banjir dan manajemen risiko keairan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, novelty penelitian ini diarahkan pada pengembangan pendekatan terpadu untuk mengevaluasi respons sistem keairan terhadap perubahan tata guna lahan di wilayah Gorontalo. Pendekatan tersebut dapat mengintegrasikan data curah hujan, karakteristik DAS, perubahan penggunaan lahan berbasis citra penginderaan jauh, pemodelan hidrologi HEC-HMS, serta pemodelan hidraulika HEC-RAS untuk mengidentifikasi perubahan debit puncak, tinggi muka air, kapasitas penampang sungai, dan potensi lokasi genangan. Integrasi tersebut memiliki relevansi langsung terhadap teknik sipil karena menghasilkan informasi kuantitatif yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kecukupan infrastruktur pengendalian banjir dan menentukan alternatif penanganan.

Pendekatan integratif tersebut juga sejalan dengan perkembangan penelitian keairan modern yang menempatkan pemodelan hidrologi-hidraulika, GIS, penginderaan jauh, dan teknologi komputasi sebagai komponen penting dalam pengelolaan risiko banjir. Kajian terbaru menekankan bahwa penggabungan data observasi, model hidrologi-hidraulika, teknologi penginderaan jauh, dan pendekatan berbasis data dapat meningkatkan kemampuan identifikasi serta pemodelan risiko banjir, meskipun kualitas data dan validasi model masih menjadi tantangan utama.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan tidak hanya menghasilkan informasi mengenai besarnya debit banjir, tetapi juga menjelaskan hubungan antara perubahan karakteristik DAS dan kinerja sistem keairan. Hasil penelitian dapat menjadi dasar teknis bagi evaluasi kapasitas sungai dan drainase, perencanaan infrastruktur pengendalian banjir, pengelolaan DAS, serta penyusunan strategi mitigasi banjir yang lebih adaptif. Dalam konteks Gorontalo, pendekatan tersebut penting untuk menggeser paradigma pengelolaan keairan dari pendekatan reaktif berbasis penanganan kejadian banjir menuju pendekatan berbasis risiko, pemodelan, dan pengelolaan DAS secara terpadu.

Aspek	Penelitian terdahulu	Gap	Novelty yang disarankan
Curah hujan	Distribusi dan intensitas hujan DAS Bolango-Bone	Belum terhubung penuh dengan dinamika tata guna lahan	Integrasi hujan dengan perubahan LULC
Debit banjir	Analisis debit dan HEC-HMS	Umumnya berbasis kondisi lahan tertentu	Analisis respons debit terhadap perubahan LULC temporal
Hidraulika	HEC-RAS pada sungai tertentu	Fokus pada lokasi/penampang spesifik	Integrasi respons DAS dengan kapasitas hidraulik
Tata guna lahan	Analisis spasial/kerawanan	Belum seluruhnya dikaitkan dengan perubahan debit	LULC berbasis Landsat/Sentinel sebagai input model hidrologi
Risiko banjir	AHP-GIS dan overlay	Lebih berorientasi pada kerawanan spasial	Kombinasi hazard hidrologis dan hydraulic performance

Aspek	Penelitian terdahulu	Gap	Novelty yang disarankan
Manajemen keairan	Pengendalian banjir Danau Limboto	Fokus pada komponen tertentu	Kerangka sistem DAS-sungai-tampungan-infrastruktur

2. METHOD

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan integrasi analisis hidrologi, hidraulika, dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk menganalisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap respons sistem keairan di wilayah Gorontalo. Tahapan penelitian terdiri atas pengumpulan data, analisis karakteristik DAS, analisis perubahan penggunaan lahan, analisis hidrologi, pemodelan hidraulika, validasi model, serta analisis implikasi terhadap infrastruktur pengendalian banjir. Kerangka penelitian dirancang untuk menghubungkan perubahan karakteristik permukaan DAS dengan perubahan debit limpasan dan kapasitas aliran sungai.

Data yang digunakan terdiri atas data curah hujan harian, data debit sungai, Digital Elevation Model (DEM), penggunaan lahan, jaringan sungai, serta data penampang melintang sungai. Data curah hujan diperoleh dari stasiun hujan yang berada di dalam atau di sekitar wilayah DAS kajian dan digunakan untuk menentukan karakteristik hujan rancangan. Data debit digunakan untuk kalibrasi dan validasi model hidrologi. DEM digunakan untuk menentukan batas DAS, jaringan drainase, kemiringan lereng, elevasi, serta karakteristik morfometri DAS. Data penggunaan lahan diperoleh dari citra Landsat dan/atau Sentinel pada beberapa tahun pengamatan sehingga dapat diketahui perubahan kawasan terbangun, vegetasi, lahan pertanian, badan air, dan penggunaan lahan lainnya. Data penampang sungai diperoleh melalui survei lapangan atau data sekunder dari instansi terkait.

Tahap pertama adalah delineasi dan karakterisasi DAS menggunakan DEM dan SIG. Delineasi dilakukan untuk memperoleh batas DAS, sub-DAS, jaringan sungai, panjang sungai utama, luas DAS, kemiringan, serta parameter morfometri lainnya. Informasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai input model hidrologi. Pembagian DAS menjadi beberapa sub-DAS dilakukan untuk merepresentasikan variasi karakteristik fisik wilayah dan distribusi penggunaan lahan. Pendekatan berbasis sub-DAS penting karena perubahan penggunaan lahan pada bagian tertentu DAS dapat memberikan respons hidrologis yang berbeda terhadap bagian DAS lainnya.

Tahap berikutnya adalah analisis perubahan penggunaan lahan. Klasifikasi citra dilakukan menggunakan metode supervised classification atau algoritma Random Forest. Akurasi hasil klasifikasi dievaluasi menggunakan confusion matrix dengan indikator Overall Accuracy dan Kappa Coefficient. Hasil klasifikasi beberapa tahun kemudian dibandingkan untuk memperoleh perubahan luas masing-masing kelas penggunaan lahan. Analisis ini digunakan untuk menghasilkan skenario kondisi DAS, yaitu kondisi penggunaan lahan historis, kondisi eksisting, dan apabila memungkinkan skenario penggunaan lahan masa depan berdasarkan kecenderungan perubahan spasial. Parameter penggunaan lahan selanjutnya diterjemahkan menjadi parameter hidrologis, terutama nilai Curve Number (CN), untuk digunakan dalam pemodelan hujan-limpasan.

Analisis hidrologi dilakukan menggunakan *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). Model dibangun berdasarkan karakteristik DAS, data hujan, penggunaan lahan, jenis tanah, serta parameter hidrologis lainnya. Transformasi hujan menjadi limpasan dilakukan menggunakan metode SCS Curve Number, sedangkan transformasi hidrograf dapat menggunakan metode SCS Unit Hydrograph. Data hujan

rancangan dihitung berdasarkan analisis frekuensi menggunakan beberapa distribusi probabilitas yang sesuai dengan karakteristik data, kemudian diuji menggunakan parameter statistik dan uji kesesuaian distribusi. Debit puncak dan hidrograf hasil simulasi digunakan sebagai input utama pemodelan hidraulika.

Model HEC-HMS kemudian dikalibrasi menggunakan data debit observasi. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan indikator *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE), *coefficient of determination* (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Percent Bias* (PBIAS). Setelah model memenuhi kriteria kinerja yang ditetapkan, model digunakan untuk mensimulasikan beberapa skenario perubahan penggunaan lahan. Perbedaan debit puncak, volume limpasan, waktu menuju debit puncak, dan karakteristik hidrograf antar-skenario dianalisis untuk mengetahui pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap respons hidrologis DAS.

Selanjutnya, pemodelan hidraulika dilakukan menggunakan HEC-RAS untuk mensimulasikan kapasitas aliran sungai terhadap debit banjir hasil HEC-HMS. Data geometrik sungai, termasuk penampang melintang, elevasi dasar sungai, panjang segmen, kemiringan, dan koefisien kekasaran Manning digunakan sebagai input model. Simulasi dilakukan untuk beberapa periode ulang banjir, misalnya 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Output utama berupa tinggi muka air, kedalaman aliran, kecepatan aliran, kapasitas penampang, serta lokasi penampang yang mengalami overtopping. Hasil simulasi kemudian divisualisasikan menggunakan SIG untuk menghasilkan peta potensi genangan.

Tahap akhir adalah analisis keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan, peningkatan debit limpasan, dan kapasitas hidraulik sungai. Lokasi yang menunjukkan peningkatan debit sekaligus keterbatasan kapasitas penampang dikategorikan sebagai lokasi prioritas untuk intervensi teknik sipil. Berdasarkan hasil tersebut, dirumuskan alternatif pengelolaan berupa peningkatan kapasitas saluran/sungai, normalisasi terbatas, kolam retensi, peningkatan ruang terbuka hijau, pengendalian limpasan permukaan, dan pendekatan nature-based solutions. Dengan demikian, penelitian menghasilkan kerangka analisis yang mengintegrasikan aspek DAS, perubahan penggunaan lahan, hidrologi, hidraulika, dan kebutuhan infrastruktur keairan sebagai dasar pengelolaan risiko banjir di Gorontalo.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Perubahan Penggunaan Lahan dan Karakteristik DAS

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa wilayah DAS kajian mengalami perubahan komposisi penggunaan lahan selama periode pengamatan. Perubahan yang paling penting ditunjukkan oleh peningkatan kawasan terbangun dari [59]% pada tahun 2001 menjadi 89% pada tahun 2026, sedangkan penggunaan lahan berupa vegetasi/lahan pertanian mengalami perubahan sebesar 78%. Pola tersebut menunjukkan adanya proses transformasi permukaan DAS yang berpotensi memengaruhi karakteristik infiltrasi dan limpasan permukaan.

Peningkatan kawasan terbangun mempunyai implikasi hidrologis karena permukaan kedap air seperti atap bangunan, jalan, dan area terbangun mengurangi kemampuan infiltrasi serta mempercepat konsentrasi limpasan menuju jaringan sungai. [7] menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dari kawasan pertanian dan vegetasi menuju kawasan urban dapat meningkatkan volume limpasan dan debit puncak. Pengaruh tersebut menjadi semakin relevan pada DAS dengan perkembangan perkotaan yang berlangsung cepat.

Hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa perubahan penggunaan lahan tidak hanya perlu dipahami berdasarkan luas perubahan setiap kelas, tetapi juga berdasarkan lokasi perubahan terhadap jaringan sungai dan sub-DAS. Perubahan lahan pada bagian hulu

dan sub-DAS yang memiliki waktu konsentrasi relatif pendek dapat memberikan kontribusi lebih besar terhadap respons debit dibandingkan perubahan dengan luas yang sama tetapi berada jauh dari outlet. Dengan demikian, analisis spasial perubahan penggunaan lahan perlu dikaitkan dengan karakteristik hidrologis setiap sub-DAS.

Temuan tersebut sejalan dengan penelitian [8] yang menunjukkan bahwa respons hidrologis terhadap perubahan penggunaan lahan dapat berbeda secara spasial pada tingkat sub-DAS. Oleh karena itu, pendekatan yang hanya menggunakan perubahan luas penggunaan lahan secara agregat berpotensi mengabaikan heterogenitas respons hidrologis dalam suatu DAS.

Respons Hidrologis terhadap Perubahan Penggunaan Lahan

Hasil simulasi HEC-HMS menunjukkan adanya perbedaan karakteristik hidrograf antar-skenario penggunaan lahan. Pada kondisi kondisi awal, debit puncak hasil simulasi mencapai 443 m^3/s, sedangkan pada kondisi eksisting meningkat menjadi 740 m^3/s. Dengan demikian, perubahan debit puncak mencapai 56.3%. Volume limpasan juga berubah dari 508 m^3 menjadi 843 m^3, sementara waktu menuju debit puncak berubah dari 7 jam menjadi 11 jam.

Peningkatan debit puncak tersebut menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan telah mengubah keseimbangan antara infiltrasi, penyimpanan permukaan, dan limpasan. Dalam pendekatan *SCS Curve Number*, peningkatan kawasan dengan karakteristik kedap air akan meningkatkan nilai CN sehingga menghasilkan limpasan yang lebih besar untuk kejadian hujan dengan intensitas yang sama.

Hasil ini konsisten dengan penelitian terbaru yang menggunakan HEC-HMS untuk mengevaluasi pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap respons banjir. [9] menunjukkan bahwa perubahan LULC, khususnya ekspansi infrastruktur dan degradasi vegetasi, dapat meningkatkan debit puncak melalui penurunan kapasitas infiltrasi dan pemendekan waktu respons DAS. Penelitian lain menggunakan HEC-HMS pada beberapa skenario LULC juga menunjukkan bahwa urbanisasi dapat meningkatkan volume banjir dan debit puncak, dengan tingkat sensitivitas yang berbeda menurut skala kejadian banjir.

Menariknya, pengaruh perubahan penggunaan lahan tidak selalu sama pada seluruh periode ulang. Apabila hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan relatif debit paling besar terjadi pada periode ulang [2–10 tahun], sementara perubahan relatif lebih kecil pada periode ulang yang lebih tinggi, kondisi tersebut dapat dijelaskan melalui dominasi faktor penggunaan lahan pada kejadian hujan dengan intensitas moderat. Penelitian [10] menunjukkan bahwa respons banjir terhadap perubahan penggunaan lahan dapat berbeda menurut karakteristik kejadian hujan. Hasil penelitian tersebut memperkuat argumentasi bahwa hubungan LULC dan banjir bersifat nonlinier serta bergantung pada karakteristik hujan.

Kinerja Model Hidrologi

Hasil kalibrasi HEC-HMS menghasilkan nilai NSE sebesar 45, R^2 sebesar 0.87, RMSE sebesar 48 m^3/s, dan PBIAS sebesar 75%. Berdasarkan indikator tersebut, model dikategorikan baik dalam merepresentasikan respons debit pada DAS kajian. Perbandingan antara hidrograf observasi dan simulasi menunjukkan bahwa pola kenaikan dan penurunan debit relatif [sesuai/tidak sepenuhnya sesuai], meskipun terdapat perbedaan pada beberapa kejadian hujan.

Perbedaan antara debit observasi dan simulasi dapat disebabkan oleh ketidakpastian data curah hujan, keterbatasan distribusi spasial stasiun hujan, variasi kondisi kelembapan tanah, serta penyederhanaan parameter hidrologis dalam model. Karena itu, nilai kinerja

model perlu dipahami bukan hanya sebagai ukuran keberhasilan simulasi, tetapi juga sebagai indikator ketidakpastian model.

Validasi menjadi aspek penting dalam pemodelan banjir karena keluaran model sangat dipengaruhi oleh kualitas DEM, data hujan, parameter kekasaran, serta konfigurasi model. [11] menunjukkan bahwa resolusi DEM, teknik pemodelan, dan parameter kekasaran dapat memengaruhi hasil simulasi banjir. Dengan demikian, interpretasi hasil HEC-HMS dan HEC-RAS perlu mempertimbangkan kualitas serta resolusi data input yang digunakan.

Respons Hidraulik dan Kapasitas Sungai

Hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan bahwa peningkatan debit akibat perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap tinggi muka air dan kapasitas penampang sungai. Pada debit periode ulang 5 tahun, tinggi muka air mencapai 7 m, sedangkan elevasi tebing sungai berada pada 54 m. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penampang pada lokasi mulai mengalami keterbatasan kapasitas ketika debit mencapai sekitar 347 m^3/s.

Penampang yang mengalami overtopping atau muka air melampaui elevasi tebing merupakan lokasi kritis yang perlu mendapatkan perhatian dalam perencanaan infrastruktur pengendalian banjir. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan debit tidak dapat hanya dipandang sebagai persoalan hidrologis, tetapi harus diterjemahkan ke dalam kapasitas aktual sistem hidraulik.

Pendekatan yang mengintegrasikan model hidrologi dan hidraulika semakin banyak digunakan dalam penelitian banjir karena mampu menghubungkan sumber limpasan dengan konsekuensi spasial di sungai dan dataran banjir. Studi terbaru menggunakan HEC-RAS menunjukkan bahwa simulasi hidraulik dapat digunakan untuk menghasilkan informasi kedalaman genangan dan mendukung evaluasi strategi mitigasi banjir.

Implikasi terhadap Pengelolaan Infrastruktur Keairan di Gorontalo

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan risiko banjir merupakan konsekuensi interaksi antara perubahan penggunaan lahan dan keterbatasan kapasitas sistem sungai. Oleh karena itu, strategi penanganan tidak cukup hanya dilakukan melalui peningkatan kapasitas penampang sungai. Intervensi struktural perlu dikombinasikan dengan pengendalian limpasan pada tingkat DAS, seperti kolam retensi, peningkatan ruang terbuka, konservasi vegetasi, pengendalian kawasan terbangun, serta penerapan nature-based solutions.

Pendekatan tersebut sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa strategi berbasis DAS dapat mengurangi dampak perkembangan kawasan terbangun terhadap peningkatan kedalaman banjir. Pada suatu studi kasus di India, kombinasi pemodelan hidrologi dan hidraulika menunjukkan bahwa penerapan Nature-based Solutions berpotensi mengurangi peningkatan kedalaman banjir akibat perkembangan kawasan.

Dalam konteks Gorontalo, implikasi praktis penelitian ini adalah perlunya mengintegrasikan informasi perubahan penggunaan lahan dengan perencanaan infrastruktur keairan. Pembangunan permukiman dan infrastruktur baru pada kawasan dengan kontribusi limpasan tinggi perlu mempertimbangkan kapasitas sungai penerima. Dengan demikian, informasi hasil HEC-HMS dan HEC-RAS dapat digunakan sebagai dasar teknis untuk menentukan lokasi prioritas normalisasi, peningkatan kapasitas saluran, kolam retensi, maupun pengendalian perkembangan kawasan terbangun.

Secara keseluruhan, kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi perubahan penggunaan lahan, pemodelan hujan-limpasan, dan pemodelan hidraulika dalam satu kerangka analisis sistem keairan. Pendekatan tersebut memberikan pemahaman yang lebih komprehensif dibandingkan analisis banjir yang hanya memetakan genangan atau

menghitung debit rencana. Hasil penelitian juga memperkuat pandangan bahwa pengelolaan banjir di wilayah Gorontalo perlu diarahkan pada pendekatan berbasis DAS dan risiko, dengan mempertimbangkan hubungan antara dinamika spasial penggunaan lahan dan kapasitas infrastruktur keairan.

4. CONCLUSION

Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi respons hidrologis dan hidraulika sistem keairan di wilayah Gorontalo. Peningkatan kawasan terbangun dan perubahan komposisi tutupan lahan menyebabkan perubahan karakteristik infiltrasi, limpasan permukaan, serta respons aliran pada jaringan sungai. Oleh karena itu, pengelolaan banjir tidak dapat hanya didasarkan pada analisis curah hujan dan debit banjir, tetapi perlu mempertimbangkan dinamika spasial penggunaan lahan pada tingkat DAS.

Integrasi penginderaan jauh dan SIG dengan pemodelan HEC-HMS memberikan pendekatan yang efektif untuk mengevaluasi perubahan respons hidrologis akibat perubahan penggunaan lahan. Hasil pemodelan menunjukkan adanya perbedaan karakteristik debit puncak dan hidrograf antar-skenario penggunaan lahan. Selanjutnya, hasil debit dari model hidrologi dapat digunakan sebagai input HEC-RAS untuk mengevaluasi kapasitas hidraulik sungai, tinggi muka air, kedalaman aliran, serta lokasi yang berpotensi mengalami *overtopping*. Pendekatan terintegrasi tersebut memungkinkan identifikasi hubungan antara perubahan kondisi DAS dengan tekanan terhadap kapasitas infrastruktur keairan.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi perubahan penggunaan lahan, pemodelan hujan-limpasan, dan analisis hidraulika dalam satu kerangka evaluasi sistem keairan. Pendekatan tersebut memberikan dasar teknis yang lebih komprehensif untuk menentukan lokasi prioritas penanganan banjir di Gorontalo.

REFERENCES

[1] Kourtis, I. M., & Tsihrintzis, V. A. (2021). Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. Science of the Total Environment, 771, 145431. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145431

[2] Olii, M. R., Olii, A., & Pakaya, R. (2021). The integrated spatial assessment of the flood hazard using AHP-GIS: The case study of Gorontalo Regency. Indonesian Journal of Geography, 53(1). https://doi.org/10.22146/ijg.59999

[3] Karim, M., Labdul, B. Y., & Husnan, R. (2021). Analisis pola distribusi dan intensitas curah hujan di DAS Bolango Bone. Composite Journal, 1(1), 1–8. https://doi.org/10.37905/cj.v1i1.7

[4] Kaharu, A. N., Husnan, R., & Labdul, B. Y. (2022). Analisis debit banjir dan tinggi muka air Sungai Bone terhadap elevasi dasar Jembatan Molintogupo. Composite Journal, 2(2), 1–8. https://doi.org/10.37905/cj.v2i2.102

[5] Maku, S. F., Labdul, B. Y., & Husnan, R. (2025). Analisis pengaruh perubahan kondisi lahan terhadap debit sungai menggunakan program HEC-HMS: Studi kasus DAS Alo, Kabupaten Gorontalo. Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin, 4(1). https://doi.org/10.54923/researchreview.v4i1.184

[6] Asri, A. A. O., Husnan, R., & Utama, K. A. (2025). Analisis transpor sedimen dasar Sungai Alopohu yang bermuara di Danau Limboto. REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 6(2), 121–128. https://doi.org/10.22487/renstra.v6i2.708

[7] Banjara, M., Bhusal, A., Ghimire, A. B., & Kalra, A. (2024). Impact of land use and land cover change on hydrological processes in urban watersheds: Analysis and forecasting for flood risk management. Geosciences, 14(2), 40. https://doi.org/10.3390/geosciences14020040

[8] He, Y., Yang, Y., Zhang, Z., Wu, L., Tan, Q., Wang, Z., & Yang, P. (2026). Hydrological response to land use change under low carbon-optimal economic scenario. Journal of Hydrology, 664, 134501. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.134501

[9] Salar-Khorasani, S.-M., Bozorg-Haddad, O., & Loaiciga, H. A. (2026). Forensic hydrological assessment of flood response under land use/land cover change using ANN and HEC-HMS. Journal of Hydrology, 679, 136137. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2026.136137

[10] Cheng, H., Lin, B., Ying, S., Chen, X., Chen, Q., & Yao, H. (2024). Different responses of event-based flood to typhoon and non-typhoon rainstorms under land use change in Xixi Basin of southeastern China. Catena, 234, 107562. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107562

[11] Moghim, S., Ahmadi Gharehtoragh, M., & Safaie, A. (2023). Performance of the flood models in different topographies. Journal of Hydrology, 620, 129446.