Terakreditasi SINTA 4 No: 148/M/KPT/2020

J SIG (JURNAL SAINS INFORMASI GEOGRAFI)

https://journal.umgo.ac.id/index.php/GEOUMGo/index

Volume 7 Nomor 2, November 2024 ***ISSN 2614-1671***

PEMODELAN HIDROLOGI BERBASIS SPASIAL UNTUK IDENTIFIKASI DAN ANALISIS DAERAH RAWAN BANJIR DI DAS LAMASI

Munajat Nursaputra[1], A. Muhammad Syahrul R[1]., Syamsu Rijal[1], Muhammad Faiq[2]

[1]Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia
[2]Geografi Pembangunan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Email Korespondensi: munajatnursaputra@unhas.ac.id

Received: 12/08/2024 | Revised: 13/10/2024 | Accepted: 18/10/2024

DOI: https://dx.doi.org/10.31314/jsig.v7i2.3365

Abstract *- This study investigates the changes in flood inundation areas in the Lamasi Watershed, focusing on the integration of HEC-RAS and SWAT models from 2013-2022 with projections up to 2031. This research is motivated by the increased frequency and extent of flooding in DAS Lamasi, attributed to land use changes and hydrological variability. The methodology employed involves hydrological simulation using the SWAT model to estimate river discharge based on historical land use, climate, and topography data. The output from the SWAT model is then integrated into the HEC-RAS model to simulate flood distribution and extent. The Flow Regime Coefficient (KRS) is also analyzed to assess flow quality and identify flood risk indicators. The results indicate an expected increase in flood inundation area from 1,825.88 hectares in 2021 to 1,860.62 hectares in 2031. The KRS analysis reveals that 17 sub-basins in poor condition in the downstream areas exhibit a high risk of flooding. Based on these findings, the study recommends the development of mitigation strategies including enhanced drainage infrastructure and more effective land management. This study provides crucial insights for the planning of flood management and risk mitigation in DAS Lamasi, supporting efforts to adapt to the impacts of land use changes and climate dynamics in the future.*

Keywords*: Flood simulation; HEC-RAS; SWAT model; Lamasi Watershed; flood risk management*

Abstrak – Penelitian ini mengkaji perubahan luasan genangan banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lamasi, dengan memfokuskan pada integrasi model HEC-RAS dan SWAT selama periode 2013-2022 dan proyeksi hingga tahun 2031. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh fenomena peningkatan frekuensi dan luasan banjir di DAS Lamasi, yang dipicu oleh perubahan penggunaan lahan dan variabilitas kondisi hidrologis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan simulasi hidrologi menggunakan model SWAT untuk mengestimasi debit sungai berdasarkan data historis penggunaan lahan, iklim, dan topografi. Output dari SWAT kemudian diintegrasikan dengan model HEC-RAS untuk mensimulasikan distribusi dan luasan genangan banjir. Selanjutnya, dilakukan analisis Koefisien Regim Sungai (KRS) untuk menilai kualitas aliran dan mengidentifikasi indikator risiko banjir. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan luasan genangan banjir dari 1.825,88 hektar pada tahun 2021 menjadi 1.960,62 hektar pada tahun 2031. Analisis KRS menunjukkan bahwa 17 Sub DAS dalam kondisi buruk di daerah hilir menunjukkan risiko banjir yang tinggi. Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan pengembangan strategi mitigasi yang mencakup peningkatan infrastruktur drainase dan pengelolaan lahan yang lebih efektif. Penelitian ini memberikan wawasan penting untuk perencanaan pengelolaan dan mitigasi risiko banjir di DAS Lamasi, serta mendukung upaya adaptasi terhadap dampak perubahan penggunaan lahan dan dinamika iklim dimasa depan.

Kata kunci: Simulasi banjir; HEC-RAS; Model SWAT; DAS Lamasi; pengelolaan risiko banjir.

Under the license CC BY-NC-SA 4.0

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) Lamasi di Sulawesi Selatan, Indonesia, mengalami peningkatan frekuensi dan keparahan banjir, sebuah fenomena yang menimbulkan kerusakan sosial-ekonomi dan lingkungan yang signifikan. Studi tentang banjir umumnya berfokus pada kegagalan bendungan, hujan ekstrem, dan kerugian ekonomi (Gernowo & Nurwidyanto, 2021; Karamma et al., 2022; Matalatta et al., 2021). Informasi terkait kerentanan suatu wilayah sangat penting mengembangkan strategi pengelolaan banjir yang efektif. Selain itu, dampak lingkungan pasca bencana dan gangguan ekonomi menjadi hal yang paling dirasakan oleh masyarakat yang terdampak (Awaluddin et al., 2021; Seniwati et al., 2022).

Faktor alam dan antropogenik berkontribusi pada kompleksitas risiko banjir di DAS Lamasi. Curah hujan tinggi, fisiografi sungai, dan infrastruktur pengendalian banjir yang tidak memadai berinteraksi, menciptakan lingkungan hidrologi yang rawan banjir (Kodoatie, 2002). Faktor antropogenik, terutama perubahan tutupan lahan akibat ekspansi pertanian dan urbanisasi, memperburuk situasi, menambah tantangan yang dihadapi bagi pengambil kebijakan. Memahami dinamika ini penting untuk menerapkan strategi mitigasi dan pengelolaan yang efektif untuk mengurangi risiko dan dampak banjir di masa depan.

Peningkatan peristiwa banjir di DAS Lamasi memerlukan analisis mendetail tentang faktor penyebab dan interaksi antar faktor tersebut. Secara khusus, peningkatan insiden banjir di Kabupaten Luwu dari tahun 2017 hingga 2021, dengan 21 kejadian tercatat, menunjukkan tren yang signifikan (https://dibi.bnpb.go.id/). Degradasi ekosistem dalam DAS, bersamaan dengan perencanaan wilayah yang kurang memadai dan praktik manajemen limbah yang buruk, dipercaya mempengaruhi siklus hidrologi dan dinamika banjir secara signifikan (Suripin, 2004).

Pengentasan masalah ini membutuhkan pendekatan holistik yang mengintegrasikan pemodelan hidrologi dan analisis spasial. Dengan mengintegrasikan Soil and Water Assessment Tool (SWAT) dan Hydrologic Engineering Centre - River Analysis System (HEC-RAS), kita dapat mensimulasikan peristiwa banjir dan memvisualisasikan dinamika banjir. Integrasi ini memungkinkan analisis komprehensif yang dapat menginformasikan strategi mitigasi banjir yang lebih ditargetkan dan efektif.

Penggunaan model SWAT dan HEC-RAS sangat mendukung dalam pemodelan hidrologi dan hidraulik. SWAT efektif untuk menilai debit jangka panjang di DAS yang rentan terhadap banjir kilat (Boithias et al., 2017), sementara HEC-RAS unggul dalam pemodelan hidraulik untuk memprediksi area inundasi (Pratiwi, 2024). Kombinasi kedua model ini telah terbukti meningkatkan akurasi penilaian bahaya banjir ketika diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (GIS) dan Penginderaan Jauh (RS) (Abdelkarim et al., 2019).

Perkembangan terbaru telah menyempurnakan model ini. Misalnya, SWAT telah diadaptasi untuk mendukung pemodelan banjir sub-harian (D. Li et al., 2018), dan HEC-RAS telah digunakan dalam model hidrologi-hidraulik terintegrasi untuk strategi mitigasi banjir yang komprehensif (Guido et al., 2023). Perkembangan ini menunjukkan fleksibilitas dan adaptabilitas model terhadap skenario hidrologi yang bervariasi, yang sangat penting bagi pola banjir yang kompleks dan dinamis yang diamati di DAS Lamasi.

Selain itu, integrasi model ini memfasilitasi pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme banjir, memungkinkan pemangku kepentingan untuk merumuskan rencana pengelolaan dan mitigasi yang efektif. Pendekatan pemodelan terintegrasi ini tidak hanya memprediksi luas banjir tetapi juga memberikan wawasan tentang perubahan perilaku banjir yang mungkin terjadi akibat variabilitas iklim dan perubahan penggunaan lahan.

Meskipun studi yang ada telah memberikan wawasan signifikan tentang dinamika banjir dan pendekatan pemodelan, namun masih ada kesenjangan dalam analisis mendalam yang perlu mengintegrasikan perubahan hidrologis dengan skenario penggunaan lahan. Kebanyakan studi belum sepenuhnya mengeksplorasi efek sinergis perubahan penutupan lahan, faktor iklim, dan aktivitas antropogenik terhadap risiko banjir di DAS Lamasi.

Oleh karena itu, dengan penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi daerah rawan banjir dalam DAS Lamasi pada kondisi saat ini dan skenario masa depan menggunakan pemodelan hidrologi berbasis spasial, serta menganalisis indikator yang berkontribusi terhadap banjir. Penelitian ini mengintegrasikan model SWAT dan HEC-RAS untuk mensimulasikan dan memvisualisasikan peristiwa banjir di DAS Lamasi, menawarkan akurasi tinggi dalam

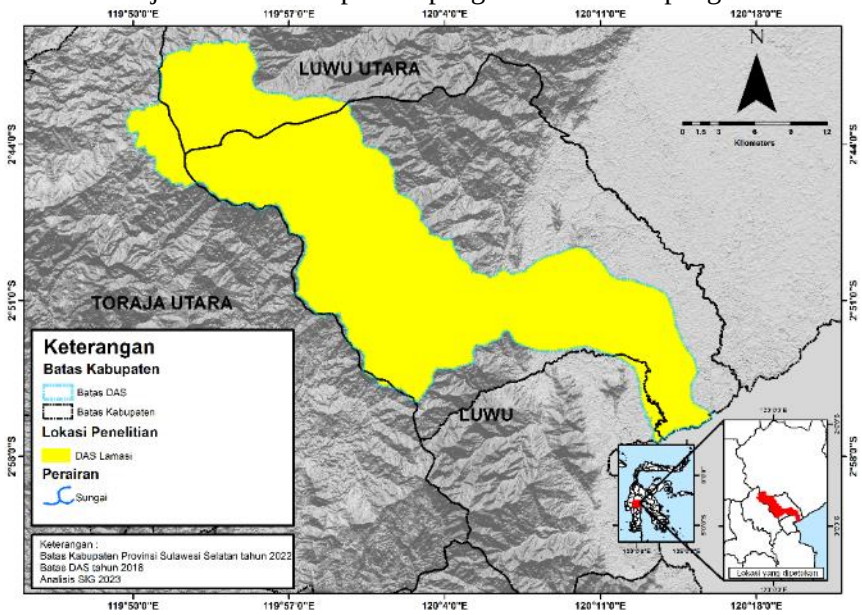
©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

memprediksi dan mengidentifikasi daerah rawan banjir. Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada DAS Lamasi, yang mencakup wilayah yang dipengaruhi di Kabupaten Luwu, Sulawesi Selatan. Dengan berfokus pada area-area ini, studi ini bertujuan memberikan wawasan yang dapat dijalankan yang dapat membimbing otoritas lokal dalam mengembangkan strategi mitigasi banjir dan pengelolaan lahan yang efektif, sehingga mengurangi dampak banjir terhadap masyarakat lokal dan ekosistem.

METODE DAN DATA

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Juli 2023 hingga Januari 2024 dan terbagi menjadi dua tahapan utama: kegiatan lapangan dan analisis data. Kegiatan lapangan dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lamasi, yang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan. Sedangkan analisis data dilaksanakan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin, Kota Makassar. Selama tahap lapangan, tim penelitian mengumpulkan data hidrologi, topografi, serta penggunaan lahan yang esensial untuk pemodelan hidrologi berbasis spasial. Gambar 1 menampilkan peta DAS Lamasi, yang menggambarkan area kajian dan lokasi spesifik pengambilan data lapangan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di DAS Lamasi

Data Penelitian

Dalam rangka mendukung proses simulasi dan pemodelan hidrologi berbasis spasial untuk DAS Lamasi, penelitian ini memanfaatkan berbagai jenis data. Data-data ini meliputi informasi geospasial, klimatologi, dan hidrologi yang diperoleh dari beberapa sumber terpercaya, yang digunakan untuk menghasilkan batas DAS, menganalisis perubahan penutupan lahan, dan melakukan kalibrasi serta validasi model yang dikembangkan. Detail lebih lanjut mengenai jenis dan kegunaan data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian beserta Sumber dan Kegunaan

No	Jenis	Kegunaan	Sumber
1	Data DEM Nasional	Digunakan untuk menghasilkan batas DAS, kelerengan pada proses pemodelan di software SWAT dan proses simulasi pada software HEC-RAS	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/)
2	Peta Batas DAS	Digunakan untuk memvalidasi batas DAS yang dihasilkan dari SWAT	Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.304 Tahun 2018 tentang Penetapan Peta DAS

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

			(https://sigap.menlhk.go.id/)
3	Peta Administrasi	Digunakan untuk mengetahui lokasi penelitian	Badan Informasi Geospasial (BIG) (https://tanahair.indonesia.go.id/unduh-rbi/)
4	Peta Penutupan Lahan Tahun 2011, 2016, 2021	Digunakan untuk pemodelan SWAT dan Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan	Interpretasi Citra Landsat (Path 114/Row 62) resolusi 30m (https://earthexplorer.usgs.gov/)
5	Peta Jenis Tanah	Digunakan pada proses pemodelan SWAT	Data Sistem Lahan (Landsystem) Regional Physical Planning Programme for Transmigration (RePPProT) yang dikeluarkan oleh Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional pada tahun 1987, yang menyediakan informasi jenis tanah, serta dilengkapi dengan data sifat fisik dan kimia tanah dari USDA Web Soil Survey.
6	Data Iklim (Curah Hujan, Temperatur, Radiasi Matahari, Kelembaban Udara, dan Kecepatan Angin) dari tahun 2013 - 2022	Digunakan sebagai bahan pemodelan SWAT input data iklim	Data Satelit Merra 2 (https://power.larc.nasa.gov/)
7	Data Debit Tahun 2022	Digunakan dalam proses kalibrasi dan validasi model SWAT	Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang (BBWSPJ)

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini, sebagaimana diuraikan pada Tabel 1, terdiri dari data primer dan sekunder, termasuk hasil ground check penutupan lahan, data debit dari stasiun pengukuran sungai, serta wawancara dengan masyarakat terkait kejadian banjir di DAS Lamasi. Semua data ini diolah menggunakan software GIS serta model hidrologi SWAT serta HEC-RAS untuk mensimulasikan kondisi hidrologi dan menghasilkan peta daerah rawan banjir. Model SWAT digunakan untuk mengidentifikasi perubahan pola curah hujan musiman yang disebabkan oleh perubahan iklim, yang berimplikasi langsung pada peningkatan risiko banjir (Taraky et al., 2021). SWAT juga sering dikombinasikan dengan model hidraulik seperti HEC-RAS, di mana data aliran yang dihasilkan oleh SWAT digunakan oleh HEC-RAS untuk memperkirakan proyeksi banjir yang lebih akurat (Jha & Afreen, 2020; Roy et al., 2021). Beberapa model alternatif, seperti HEC-HMS, juga dapat digunakan dalam simulasi debit banjir, terutama dalam kondisi data hujan yang tidak lengkap (Listyarini et al., 2018). Namun, SWAT menawarkan keunggulan dalam simulasi berbasis perubahan penggunaan lahan dan iklim, yang membuatnya sangat cocok untuk penelitian ini. Kombinasi SWAT dan HEC-RAS memungkinkan simulasi yang komprehensif, memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai dinamika banjir di DAS Lamasi, serta membantu dalam perencanaan mitigasi risiko banjir yang lebih efektif.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengkaji dinamika banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lamasi melalui empat tahapan utama, dengan menggunakan data dan model prediktif yang komprehensif.

Penyiapan Data

Data dasar yang digunakan mencakup data penutupan lahan dari tahun 2011, 2016, dan 2021 yang diinterpretasi dari citra Landsat, serta proyeksi untuk tahun 2031 yang proyeksi analisisnya dilakukan menggunakan plugin Molusce di QGIS dengan teknik Artificial Neural Network (ANN) dan Cellular Automata (CA). Penutupan lahan hasil interpretasi kemudian diuji keakuratannya dengan membandingkan antara data hasil interpretasi dengan kondisi lapangan. Sedangkan untuk penutupan lahan hasil proyeksi, dilakukan tahap validasi dengan membandingkan peta penutupan lahan tahun 2021 hasil simulasi dengan peta penutupan lahan

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

tahun 2021 hasil interpretasi (aktual). Apabila hasilnya saling mendekati, maka validasi dapat diterima untuk kemudian dilakukan proyeksi penutupan lahan tahun 2031. Klasifikasi penutupan lahan, kemudian disesuaikan dengan klasifikasi model SWAT. Data jenis tanah diperoleh dari sistem lahan dan informasi tambahan dari USDA Web Soil Survey. Kelerengan lahan dianalisis menggunakan data DEM, dikategorikan menjadi kelas lereng: 0-8% (Datar), 8-15% (Landai), 15-25% (Agak Curam), 25-45% (Curam), dan >45% (Sangat Curam). Data iklim historis diambil dari satelit Merra-2 dan dan proyeksi iklim menggunakan model CSIRO MK3.6, menggunakan skenario RCP 4.5. Analisis proyeksi iklim ini menggunakan software Sibias yang dikembangkan oleh Faqih (2017).

Pemodelan Hidrologi dengan SWAT

Pemodelan hidrologi menggunakan model SWAT dimulai dengan penentuan batas DAS dan sub-DAS, dengan threshold area 100 ha. Hydrologic Response Units (HRU) dibentuk berdasarkan kombinasi dari data penutupan lahan, jenis tanah, dan kelerengan, yang berperan dalam menentukan karakteristik hidrologi wilayah. Data iklim historis dan proyeksi perubahan iklim dimasukkan ke dalam model menggunakan tools Edit SWAT Input. Proses simulasi dijalankan untuk periode waktu yang ditentukan, menghasilkan output seperti debit aliran (FLOW_OUT) dari masing-masing sub-DAS. Kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan menggunakan Coefficient of Determination (R2) dan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) untuk memastikan keakuratan model terhadap data observasi, mengikuti pedoman evaluasi model oleh Moriasi dkk., (2007).

Simulasi Banjir dengan HEC-RAS

Dalam simulasi banjir menggunakan HEC-RAS, data terrain diolah dan dimasukkan ke dalam Ras Mapper untuk memvisualisasikan area penelitian. Area aliran 2D disiapkan dengan mendigitasi sekitar daerah aliran sungai untuk membentuk mesh analisis. Boundary conditions diatur di hulu dan hilir sungai, dan nilai Manning diisi berdasarkan klasifikasi penutupan lahan. Skenario aliran yang tidak tetap (*unsteady flow*) dipilih untuk simulasi, mengintegrasikan data debit aliran dari model SWAT. Proses simulasi ini menghasilkan model genangan yang menunjukkan potensi area terdampak banjir. Hasil model genangan di validasi dilapangan dengan melakukan pengumpulan data dan wawancara dengan masyarakat terkait kejadian banjir di DAS Lamasi yang terletak di berbagai titik kejadian banjir.

Analisis Indikator Penyebab Banjir

Output dari model SWAT digunakan untuk evaluasi kondisi DAS dan identifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap risiko banjir. Pendekatan ini melibatkan analisis kinerja hidrologi setiap sub-DAS, dengan memanfaatkan Koefisien Regim Sungai (KRS) yang dihitung menggunakan formula:

$$KRS = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$$

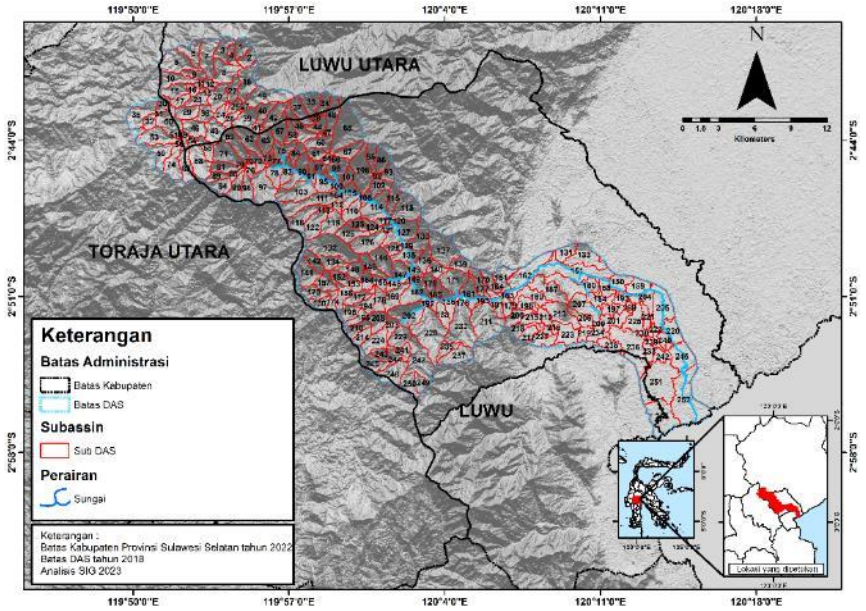
dimana Qmaks adalah debit rata-rata tahunan tertinggi, dan Qmin adalah debit rata-rata tahunan terendah. Metode ini membantu dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kondisi sub-sub DAS yang menyebabkan frekuensi dan intensitas banjir meningkat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Input Pemodelan Hidrologi DAS Lamasi

Delineasi DAS Lamasi dilakukan menggunakan fitur Watershed Delineator dengan submenu Automatic Watershed Delineation, yang berhasil mengidentifikasi 253 sub-DAS sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Delineasi yang detail ini sangat penting untuk pengelolaan dan pemodelan DAS yang lebih akurat, khususnya saat mengintegrasikan data hidrologi ke dalam model simulasi seperti SWAT. Proses deliniasi ini membagi DAS Lamasi menjadi unit hidrologi yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola, yang sangat penting untuk analisis dan intervensi yang lebih terfokus.

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo



Gambar 2. Peta Sebaran Sub DAS hasil delineasi dengan batas DAS Lamasi

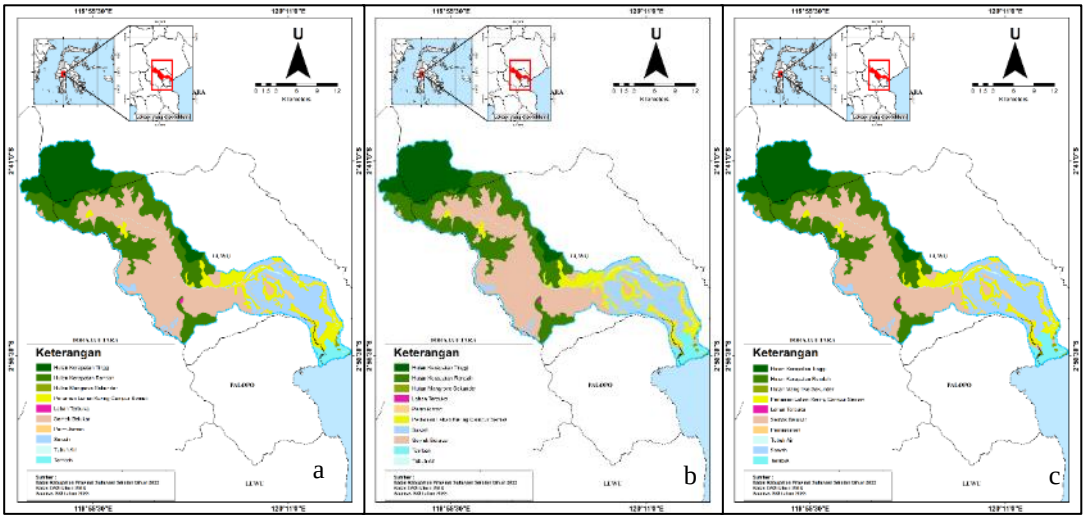
Proses delineasi dan pembuatan Hydrological Response Units (HRU) di DAS Lamasi sesuai kebutuhan model, menggunakan penggunaan lahan, jenis tanah, dan kemiringan lereng sebagai faktor utama dalam simulasi dinamika air (Femeena et al., 2022; Gao et al., 2019; Nazari-Sharabian et al., 2019). Metode overlay dalam pembuatan HRU ini, yang konsisten dengan model SWAT, memungkinkan pemodelan aliran sungai dan kualitas air yang akurat, penting untuk pengelolaan lingkungan (Obasi et al., 2018). Delineasi menjadi 253 sub-DAS dan analisis HRU yang terperinci mendukung pemahaman proses hidrologi dan pengelolaan risiko banjir.

Perubahan penutupan lahan di DAS Lamasi dari tahun 2011 hingga 2021 menunjukkan dinamika yang signifikan dalam penggunaan lahan. Tabel 2 dan Gambar 3 menggambarkan bahwa lahan hutan kerapatan rendah, tambak, dan permukiman mengalami peningkatan luasan. Sebaliknya, penutupan lahan seperti pertanian lahan kering campur semak, hutan kerapatan tinggi, dan semak belukar mengalami penurunan luasan. Perubahan ini mengindikasikan transisi penggunaan lahan yang dapat mempengaruhi hidrologi dan ekologi lokal, mempengaruhi siklus air dan habitat di DAS Lamasi.

Tabel 2. Penutupan Lahan Tahun 2011, 2016 dan 2021 Hasil Interpretasi Citra

No	Penutupan Lahan	2011		2016		2021	
		Luas (Ha)	Persentase (%)	Luas (Ha)	Persentase (%)	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Hutan Kerapatan Tinggi	11.990,66	23,4%	11.988,06	23,4%	12.195,77	23,8%
2	Hutan Kerapatan Rendah	8.494,51	16,6%	8.444,42	16,5%	8.375,20	16,4%
3	Hutan Mangrove Sekunder	89,96	0,2%	106,03	0,2%	150,6	0,3%
4	Lahan Terbuka	29,33	0,1%	29,36	0,1%	29,89	0,1%
5	Permukiman	698,46	1,4%	770,64	1,5%	818,47	1,6%
6	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	4.830,95	9,4%	4.462,26	8,7%	4.331,19	8,5%
7	Sawah	6.728,41	13,1%	6.768,10	13,2%	6.765,01	13,2%
8	Semak Belukar	16.870,60	33,0%	16.967,34	33,2%	16.880,62	33,0%
9	Tambak	1.113,79	2,2%	1.310,45	2,6%	1.299,93	2,5%
10	Tubuh Air	330,83	0,6%	330,83	0,6%	330,83	0,6%
	Total	51.177,49	100,0%	51.177,49	100,0%	51.177,49	100,0%

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo



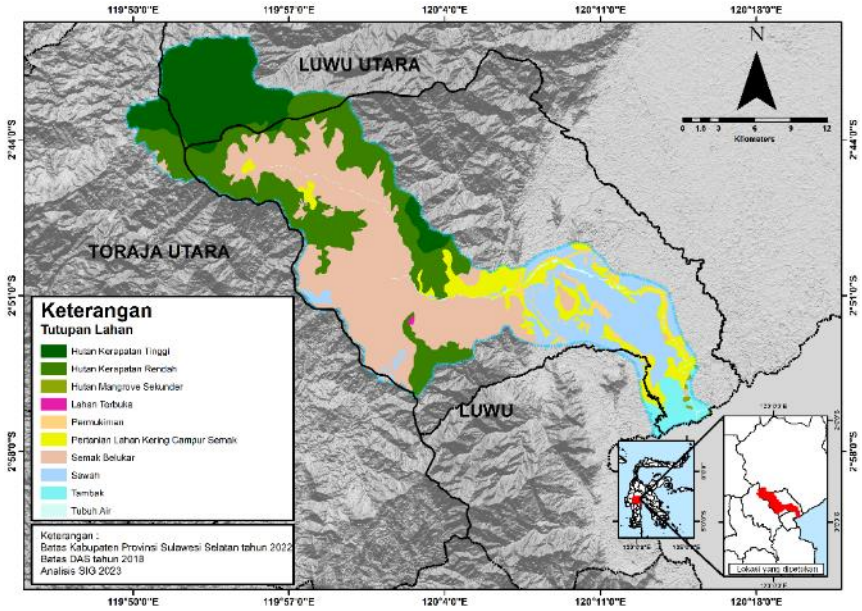
Gambar 3. Peta Penutupan Lahan Tahun 2011 (a), 2016 (b) dan 2021 (c)

Hasil interpretasi penutupan lahan tahun 2021 diverifikasi melalui uji ketelitian menggunakan confusion matrix dari hasil survey lapangan di 78 titik koordinat. Tingkat keakuratan yang dicapai adalah 97,43%, yang sangat tinggi dan melebihi standar minimal akurasi 85% yang direkomendasikan (Wynne & Lillesand, 1993). Konsistensi tinggi antara data lapangan dan interpretasi citra menunjukkan keandalan metodologi yang digunakan dalam klasifikasi penutupan lahan. Penelitian ini sesuai dengan penerapan model CA-Markov yang telah digunakan secara luas untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di berbagai wilayah (Chisanga et al., 2022; Halmy et al., 2015; Hamad et al., 2018; Jasrotia et al., 2022; Tursina et al., 2022). Proyeksi ke depan mengandalkan tren historis dan aturan transisi yang dianalisis oleh model ini untuk menghasilkan peta penutupan lahan masa depan yang akurat dan informatif. Proyeksi penutupan lahan untuk tahun 2031, seperti yang disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 4 menawarkan wawasan penting untuk perencanaan penggunaan lahan dan kebijakan lingkungan. Pemahaman tentang bagaimana penggunaan lahan akan berubah memungkinkan para pemangku kepentingan untuk merancang strategi yang lebih efektif dalam mengelola sumber daya air, mempertahankan keanekaragaman hayati, dan mengurangi risiko banjir. Kemampuan model CA-Markov untuk menggabungkan prediksi spasial dan temporal meningkatkan akurasi analisis perubahan penggunaan lahan, membuat simulasi ini sangat berharga untuk pengelolaan lahan berkelanjutan dan kebijakan adaptasi perubahan iklim (C. Li et al., 2022; Simioni & Guasselli, 2019). Implikasi praktis dari temuan ini sangat penting, tidak hanya untuk DAS Lamasi, tetapi juga dalam konteks yang lebih luas untuk mendukung keberlanjutan lingkungan di Indonesia.

Tabel 3. Penutupan Lahan Hasil Proyeksi Tahun 2031

No	Penutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Hutan Kerapatan Tinggi	11.989,89	23,4%
2	Hutan Kerapatan Rendah	8.443,71	16,5%
3	Hutan Mangrove Sekunder	105,27	0,2%
4	Lahan Terbuka	29,26	0,1%
5	Permukiman	875,68	1,7%
6	Pertanian Lahan Kering Campur Semak	4.396,84	8,6%
7	Sawah	6.734,31	13,2%
8	Semak Belukar	16.973,43	33,2%
9	Tambak	1.310,49	2,6%
10	Tubuh Air	318,62	0,6%
	Total	51.177,49	100,0%

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

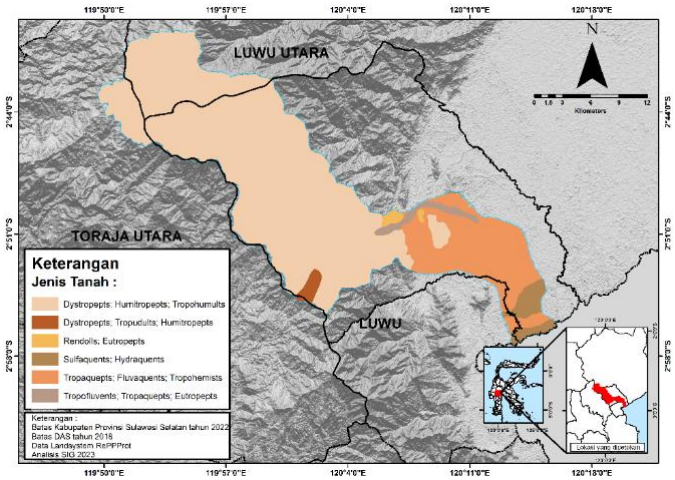


Gambar 4. Peta Penutupan Lahan Tahun 2031

Berdasarkan data dari RePPProT, DAS Lamasi memiliki enam klasifikasi kompleks jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 4 dan Gambar 5. Jenis tanah ini termasuk dari Dystropepts; Humitropepts; Tropohumults, yang dominan dengan cakupan 75%, hingga Rendolls; Eutropepts dengan cakupan yang lebih kecil. Sebaran kelas kemiringan lereng DAS Lamasi juga sangat variatif, dengan luasan terbesar untuk kelas kemiringan >45% yang mencakup 35% dari total area DAS, menunjukkan topografi yang sangat curam dan potensial tinggi untuk erosi serta runoff permukaan yang cepat (Gambar 6).

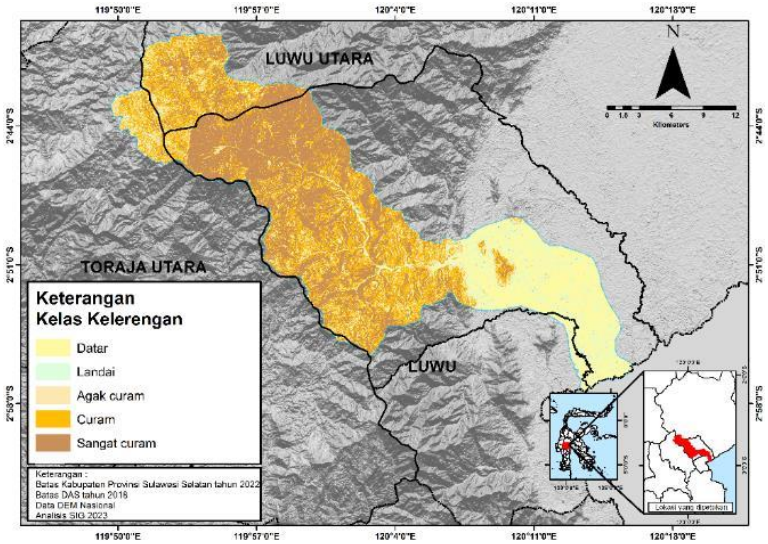
Tabel 4. Klasifikasi Kombinasi Jenis Tanah

No.	Kombinasi Jenis Tanah	Kode SWAT	Luas	
			Ha	%
1	Dystropepts; Humitropepts; Tropohumults	SOIL 01	38.572,05	75%
2	Dystropepts; Tropudults; Humitropepts	SOIL 02	538,13	1%
3	Rendolls; Eutropepts	SOIL 03	348,12	1%
4	Sulfaquents; Hydraquents	SOIL 04	1.571,27	3%
5	Tropaquepts; Fluvaquents; Tropohemists	SOIL 05	9.322,08	18%
6	Tropofluvents; Tropaquepts; Eutropept	SOIL 06	819,84	2%
	Total		51.177.49	100%



Gambar 5. Peta Kombinasi Jenis Tanah di DAS Lamasi

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo



Gambar 6. Peta Kelas Kemiringan Lereng di DAS Lamasi

Analisis sebaran jenis tanah dan kemiringan lereng memberikan wawasan penting terkait potensi hidrologi dan kerentanan terhadap erosi di DAS Lamasi. Sebagai contoh, area dengan kemiringan lereng sangat curam lebih rentan terhadap erosi, yang dapat mempengaruhi kualitas air dan sedimentasi di hilir. Data curah hujan dari Tabel 5 menunjukkan variasi perubahan curah hujan tahunan, dengan peningkatan signifikan pada bulan November sebesar 16.11% dan penurunan pada bulan Maret sebesar -4.27%. Proyeksi ini, berbasis model CSIRO Mk3.6 dalam skenario RCP 4.5, mencerminkan pentingnya mempersiapkan strategi adaptasi untuk menghadapi variabilitas dan perubahan iklim yang meningkat (Dong et al., 2020; Kourat et al., 2020).

Tabel 5. Trend Perubahan Curah Hujan Periode 2013 – 2022 (Observasi) dan Periode 2030an (Model)

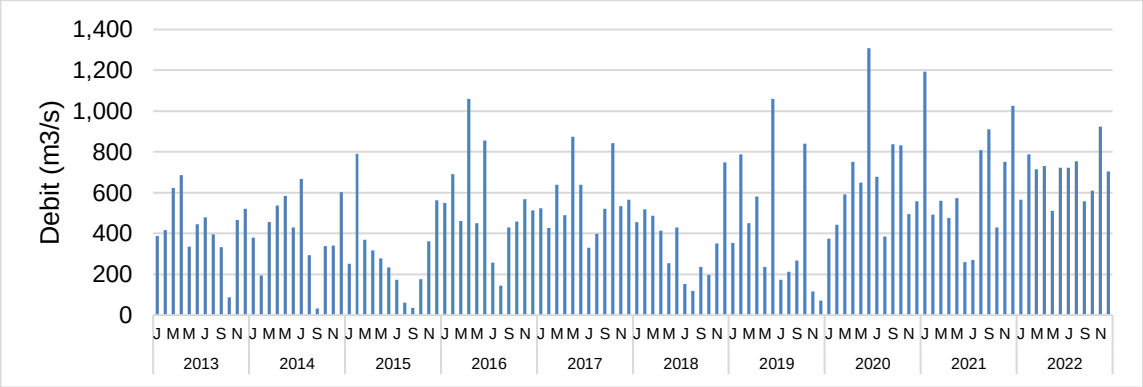
No	Bulan	Perubahan Curah Hujan (mm)		
		Observasi (Merra)	Proyeksi Model CSIRO MK3.6	Perubahan (%)
1	Januari	287.86	300.34	4.34
2	Februari	277.15	274.38	-1.00
3	Maret	329.42	315.34	-4.27
4	April	338.76	342.09	0.99
5	Mei	300.59	313.26	4.22
6	Juni	325.36	321.84	-1.08
7	Juli	206.00	202.46	1.72
8	Agustus	146.86	154.25	5.03
9	September	163.64	172.94	5.68
10	Oktober	194.70	197.80	1.59
11	November	214.41	248.96	16.11
12	Desember	325.11	328.85	1.15

Adaptasi terhadap perubahan curah hujan yang diproyeksikan memerlukan pengintegrasian model prediksi iklim ke dalam perencanaan pengelolaan air, untuk mengantisipasi dan mengurangi dampak banjir dan kekeringan yang mungkin terjadi. Penggunaan model iklim dan skenario seperti RCP 4.5 memungkinkan untuk memperkirakan perubahan presipitasi, dan kejadian cuaca ekstrem, mendukung strategi adaptasi dan mitigasi (Babalola et al., 2021; Czernecki & Ptak, 2018; Rao et al., 2015).

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

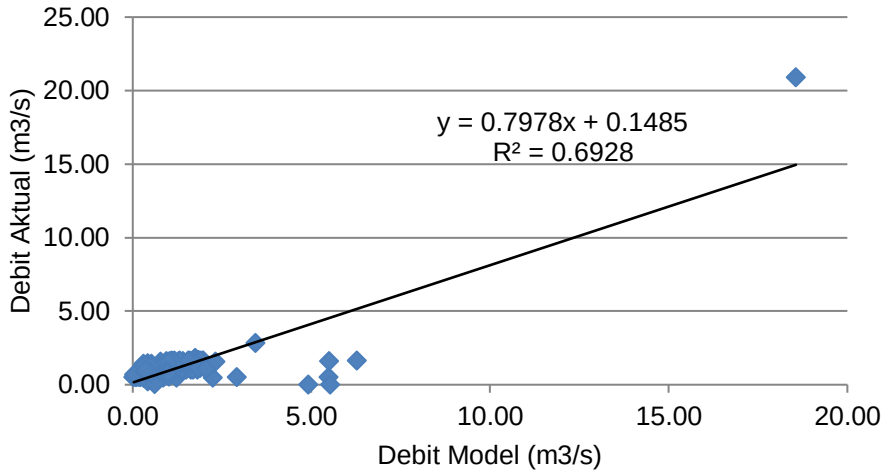
Pemodelan Debit Aliran DAS Lamasi menggunakan Model SWAT

Data simulasi yang dihasilkan oleh model SWAT untuk periode 2013-2022 menunjukkan variasi dalam debit bulanan rata-rata di DAS Lamasi, dengan debit tertinggi tercatat pada tahun 2020 sebesar 1.307,94 mm pada bulan Juni dan terendah pada tahun 2014 sebesar 32,86 mm pada bulan September (Gambar 7). Trend ini mengindikasikan adanya fluktuasi dalam debit aliran yang bisa dikaitkan dengan variabel-variabel seperti perubahan penggunaan lahan dan kondisi iklim. Pemodelan ini penting untuk menggambarkan dampak dari perubahan penggunaan lahan serta perubahan iklim terhadap debit permukaan.



Gambar 7. Debit Rata-Rata Bulanan DAS Lamasi Hasil Pemodelan SWAT Periode 2013-2022

Proses kalibrasi dan validasi model SWAT yang ditunjukkan pada Gambar 8 mencerminkan hubungan yang cukup kuat antara debit simulasi dan observasi dengan nilai R^2=0.6928. Proses ini krusial untuk memastikan bahwa model dapat menghasilkan estimasi yang akurat untuk debit aliran. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa SWAT efektif dalam menilai pengaruh perubahan penggunaan lahan dan kondisi iklim terhadap komponen hidrologi seperti aliran permukaan dan sedimentasi (Ferraz et al., 2020; Pokhrel, 2018; Sertel et al., 2019). Validasi ini tidak hanya menguatkan kredibilitas model SWAT tetapi juga mendukung penggunaan model ini dalam simulasi jangka panjang terkait dengan pengelolaan sumber daya air dan perencanaan adaptasi.



Gambar 8. Scatter Plot Debit Aliran Simulasi Model dan Observasi setelah Proses Kalibrasi

Temuan dari simulasi dan kalibrasi model SWAT memiliki implikasi yang luas terkait dengan pengelolaan DAS Lamasi. Dengan memahami variasi debit aliran dan memverifikasi keakuratan model, para pengambil kebijakan dan perencana dapat lebih baik dalam merespons dan mengadaptasi strategi pengelolaan sumber daya air di hadapan perubahan penggunaan lahan dan kondisi iklim. Hal ini sangat penting untuk memastikan ketersediaan air yang berkelanjutan dan mengurangi risiko terkait dengan banjir dan kekeringan. Selain itu, keberhasilan kalibrasi model memberikan landasan yang kuat untuk penerapan strategi adaptasi yang proaktif,

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

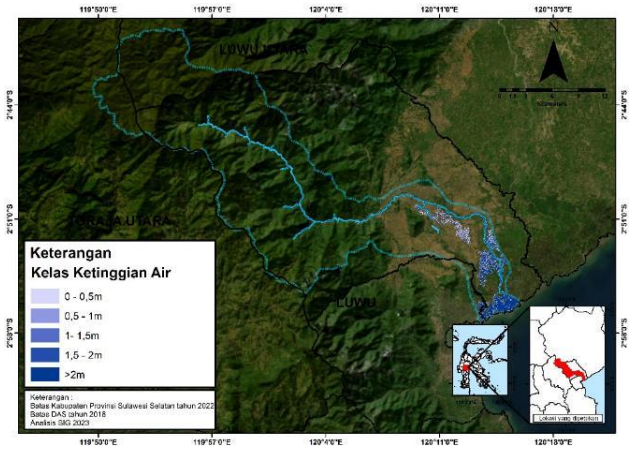
mengingat prediksi iklim yang menunjukkan tren perubahan curah hujan dan suhu. Validasi model juga mendukung pengembangan alat kebijakan yang efektif yang dapat digunakan untuk merencanakan infrastruktur yang resilient dan kebijakan konservasi yang menargetkan aspek-aspek kritikal dari hidrologi daerah.

Simulasi Banjir DAS Lamasi menggunakan Software HEC-RAS

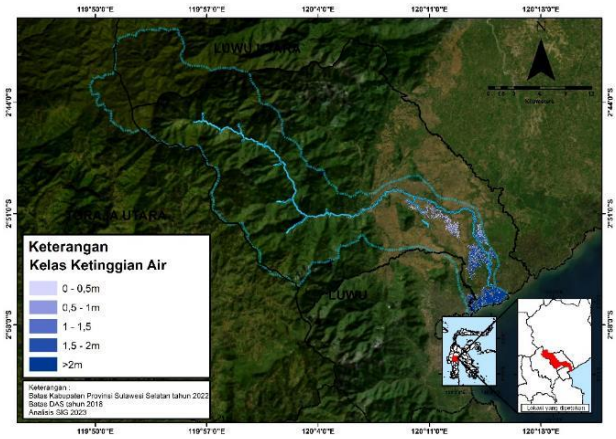
HEC-RAS telah digunakan untuk mensimulasikan banjir di DAS Lamasi dengan mengintegrasikan data debit dari SWAT untuk periode 2013-2022, menunjukkan daerah yang terkena banjir. Simulasi menunjukkan bahwa pada tahun 2021, area genangan banjir mencapai 1.825,88 hektar, dan proyeksi untuk tahun 2031 menunjukkan peningkatan menjadi 1.860,62 hektar. Ini tercermin dalam Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11 serta Tabel 6, yang menyoroti kecamatan yang paling terpengaruh serta luas genangan banjir yang diantisipasi.

Tabel 6. Hasil Simulasi Banjir HEC-RAS pada kondisi Aktual dan Proyeksi berdasarkan administrasi kecamatan di DAS Lamasi

No.	Kecamatan	Tahun 2021		Tahun 2031	
		ha	%	ha	%
1	Lamasi	19,12	1,0%	9,87	0,5%
2	Lamasi Timur	354,50	19,4%	356,96	19,2%
3	Walenrang	51,49	2,8%	59,38	3,2%
4	Walenrang Barat	143,13	7,8%	175,70	9,4%
5	Walenrang Timur	1.220,20	66,8%	1.235,52	66,4%
6	Walenrang Utara	37,45	2,1%	23,16	1,2%
	Total	1.825,88	100,0%	1.860,59	100,0%



Gambar 9. Sebaran banjir hasil simulasi HEC-RAS menggunakan debit pemodelan SWAT tahun 2021



Gambar 10. Sebaran banjir hasil simulasi HEC-RAS menggunakan debit pemodelan SWAT tahun 2031

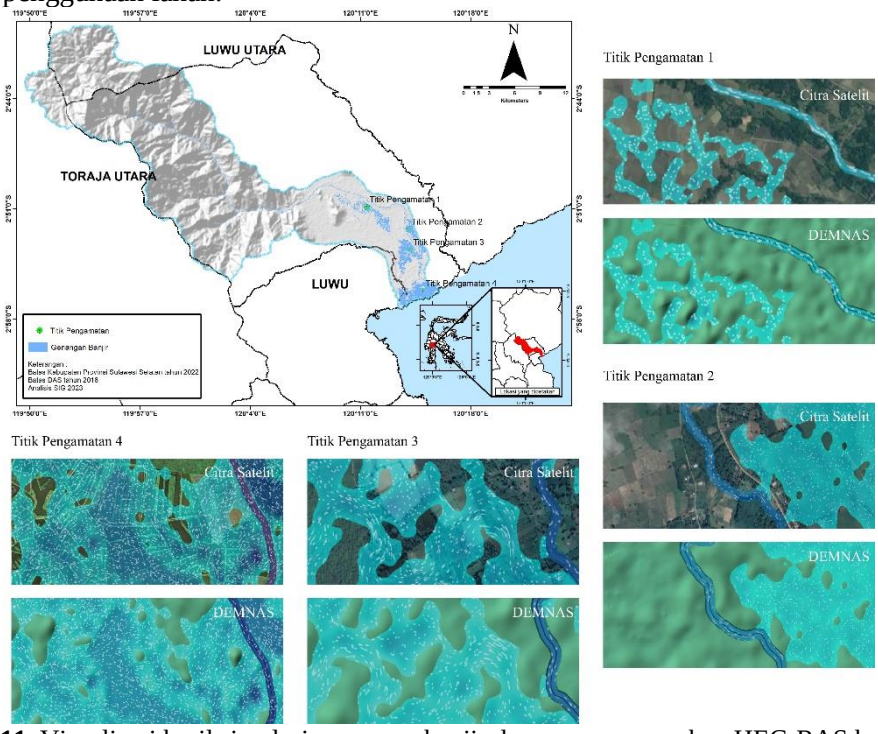
©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Penutupan lahan yang paling terdampak oleh genangan banjir meliputi sawah, tambak, pertanian lahan kering yang bercampur dengan semak, serta semak belukar. Secara spesifik, sawah mendominasi dengan luas tergenang mencapai 761,911 hektar, atau 40,95% dari total area yang terdampak. Tambak juga terkena dampak signifikan dengan luas genangan sebesar 553,508 hektar, atau 29,75% dari total. Sementara itu, pertanian lahan kering yang bercampur semak mencakup 216,763 hektar (11,65%), dan semak belukar mencapai 171,082 hektar (9,19%). Keempat jenis penutupan lahan ini bersama-sama mencakup 91,54% dari total genangan banjir, menunjukkan bahwa mereka adalah area yang paling rentan terhadap risiko banjir di wilayah tersebut.

Dalam studi ini, penggunaan HEC-RAS konsisten dengan aplikasi yang dilaporkan dalam literatur, di mana software ini sering digunakan untuk pemodelan hidrolik dan simulasi banjir di berbagai sistem sungai (Ongdas et al., 2020; Quirogaa et al., 2016). Kemampuan HEC-RAS dalam simulasi numerik 2D, pemodelan meteorologi rain-on-grid, dan integrasi dengan alat GIS seperti ArcGIS telah terbukti sangat efektif dalam pemetaan bahaya banjir dan pemetaan dataran banjir (Ansori, 2023; Romali, 2018; Tamiru & Wagari, 2021). Ini memperkuat penggunaan model dalam menganalisis dan mengelola risiko banjir.

Dari pengumpulan data dan wawancara dengan masyarakat mengenai kejadian banjir di beberapa titik di DAS Lamasi, diperoleh taksiran ketinggian banjir yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan HEC-RAS. Kejadian banjir yang telah melanda area tersebut mencatat ketinggian maksimal hingga 1,6 meter. Sementara itu, hasil simulasi menunjukkan ketinggian banjir sekitar 1,54 meter di beberapa titik yang sama. Di beberapa lokasi, simulasi HEC-RAS cenderung menghasilkan estimasi yang lebih tinggi daripada ketinggian banjir aktual, namun di lokasi lain, ketinggian yang disimulasikan hampir mendekati nilai ketinggian aktual yang dialami oleh masyarakat.

Temuan dari simulasi HEC-RAS memiliki implikasi penting dalam pengelolaan dan mitigasi banjir di DAS Lamasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 11. Dengan mengetahui area yang berpotensi tergenang dimasa yang akan datang, para pemangku kepentingan dapat merancang infrastruktur yang lebih baik dan strategi adaptasi untuk mengurangi dampak banjir. Misalnya, mengembangkan sistem drainase yang lebih efisien atau membuat barrier untuk melindungi area kritis. Kesesuaian antara simulasi dan kondisi aktual yang diamati memberikan kepercayaan yang lebih tinggi pada keakuratan model dan kemampuannya dalam mendukung pengambilan keputusan dan perencanaan jangka panjang dalam konteks perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan.



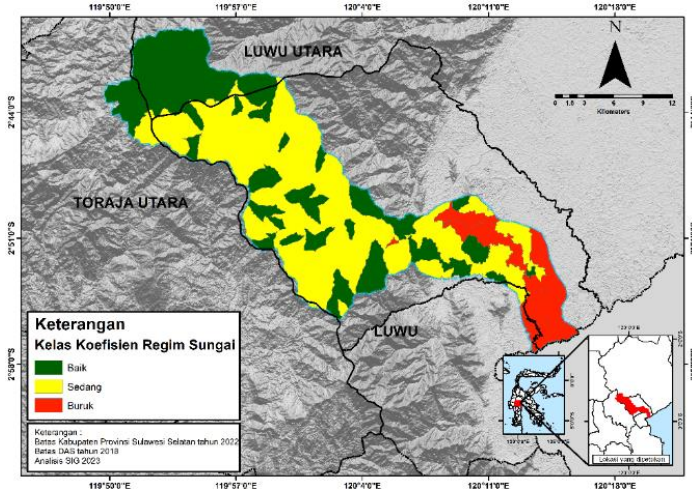
Gambar 11. Visualisasi hasil simulasi genangan banjir dengan menggunakan HEC-RAS berdasarkan debit pemodelan SWAT tahun 2031

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Analisis Indikator Penyebab Banjir

Peta Klasifikasi Koefisien Regim Sungai (KRS) di DAS Lamasi menunjukkan distribusi dan kualitas aliran sungai di berbagai sub-DAS (Gambar 12). Koefisien Regim Sungai (KRS) digunakan untuk memantau debit sungai dan mengevaluasi kuantitas aliran dari waktu ke waktu, penting dalam analisis hidrologi (Asdak, 2014). Dalam hasil yang dianalisis, 253 Sub DAS terklasifikasikan dengan 99 Sub DAS dalam kategori baik, 137 dalam kategori sedang, dan 17 dalam kategori buruk, menunjukkan variabilitas signifikan dalam kondisi aliran sungai di seluruh DAS Lamasi.

Analisis KRS menunjukkan bahwa daerah hilir, yang memiliki KRS buruk, lebih cenderung mengalami banjir. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa kerusakan di hulu dapat menyebabkan erosi tanah, sedimentasi sungai, dan banjir, dengan dampak yang merambat ke hilir (Khidzir, 2023). Faktor kemiringan lereng yang rendah dan penutupan lahan yang tidak memadai di hilir meningkatkan kerawanan terhadap banjir, terutama saat musim hujan. Pendekatan ini membenarkan pentingnya memantau kondisi sub-DAS, sebagaimana dicatat oleh Drbal dkk., (2022), yang menghubungkan aliran permukaan yang terkonsentrasi dari proses erosi tanah dengan peningkatan risiko banjir.



Gambar 12. Peta Klasifikasi Koefisien Regim Sungai (KRS) di DAS Lamasi

Temuan dari analisis KRS memberikan wawasan penting untuk perencanaan pengelolaan banjir di DAS Lamasi. Informasi ini penting dalam mengembangkan strategi mitigasi bencana banjir yang proaktif. Misalnya, mengimplementasikan program penanaman kembali di hulu dapat membantu mengurangi aliran permukaan dan erosi, sementara peningkatan infrastruktur drainase di hilir bisa mengurangi dampak banjir saat musim penghujan. Strategi ini didukung oleh simulasi HEC-RAS, yang menggunakan data aktual dan proyeksi dari model SWAT untuk memberikan gambaran kejadian banjir yang akan terjadi di masa depan, membantu masyarakat untuk mempersiapkan dan mengatasi dampak banjir saat pra dan pasca banjir. Evaluasi ini mendukung penggunaan data KRS sebagai alat bantu dalam perencanaan adaptasi dan mitigasi bencana banjir di DAS Lamasi.

PENUTUP

Studi ini berhasil mengidentifikasi dan menganalisis perubahan luasan genangan banjir di DAS Lamasi melalui integrasi model SWAT dan HEC-RAS dari tahun 2013 hingga 2022, dengan hasil simulasi yang menunjukkan peningkatan luasan banjir dari 1.825,88 hektar pada tahun 2021 menjadi 1.860,62 hektar pada tahun 2031. Integrasi kedua model ini memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang dinamika aliran sungai dan distribusi banjir di DAS Lamasi. Analisis Koefisien Regim Sungai (KRS) menunjukkan bahwa 17 Sub DAS dengan kondisi buruk di wilayah hilir memiliki risiko banjir yang tinggi, terutama akibat kemiringan lereng yang rendah dan penutupan lahan yang tidak memadai. Temuan ini menekankan pentingnya pengelolaan lahan yang lebih baik, serta penerapan strategi mitigasi jangka panjang untuk mengurangi dampak banjir di masa depan. Dengan proyeksi hingga tahun 2031, penelitian ini memberikan dasar yang kuat untuk perencanaan adaptasi yang

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

berkelanjutan dalam menghadapi risiko perubahan iklim dan pertumbuhan populasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelkarim, A., Gaber, A., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2019). Flood Hazard Assessment of the Urban Area of Tabuk City, Kingdom of Saudi Arabia by Integrating Spatial-Based Hydrologic and Hydrodynamic Modeling. *Sensors*, *19*(5), 1024. https://doi.org/10.3390/s19051024

Awaluddin, M., Wang, L., Sijal, M., & Sylvana, A. (2021). Controlling the Unemployment Rate in South Sulawesi Province Through Economic Growth, Provincial Minimum Wage and Inflation. *Ecces (Economics Social and Development Studies)*, *8*(2), 175. https://doi.org/10.24252/ecc.v8i2.21267

Babalola, T., Oguntunde, P. G., Ajayi, A. E., & Akinluyi, F. O. (2021). *Future Climate Change Impacts on River Discharge Seasonality for Selected West African River Basins*. https://doi.org/10.5772/intechopen.99426

Boithias, L., Sauvage, S., Lenica, A., Roux, H., Abbaspour, K. C., Larnier, K., Dartus, D., & Sánchez-Pérez, J. M. (2017). Simulating Flash Floods at Hourly Time-Step Using the SWAT Model. *Water*, *9*(12), 929. https://doi.org/10.3390/w9120929

Chisanga, C. B., Shepande, C. C., & Nkonde, E. (2022). *CA-Markov Approach in Dynamic Modelling of LULCC Using ESA CCI Products Over Zambia*. https://doi.org/10.5772/intechopen.103032

Czernecki, B., & Ptak, M. (2018). The Impact of Global Warming on Lake Surface Water Temperature in Poland - The Application of Empirical-Statistical Downscaling, 1971-2100. *Journal of Limnology*, *77*(2). https://doi.org/10.4081/jlimnol.2018.1707

Dong, G., Jiang, Z., Tian, Z., Buonomo, E., Sun, & Fan, D. (2020). Projecting Changes in Mean and Extreme Precipitation Over Eastern China During 2041–2060. *Earth and Space Science*, *7*(9). https://doi.org/10.1029/2019ea001024

Drbal, K., Dumbrovský, M., Muchová, Z., Sobotková, V., Štěpánková, P., & Šarapatka, B. (2022). Mitigation of Flood Risks With the Aid of the Critical Points Method. *Agronomy*, *12*(6), 1300. https://doi.org/10.3390/agronomy12061300

Femeena, P. V, Karki, R., Cibin, R., & Sudheer, K. P. (2022). Reconceptualizing HRU Threshold Definition in the Soil and Water Assessment Tool. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, *58*(4), 508–516. https://doi.org/10.1111/1752-1688.13000

Ferraz, L. L., Sousa, L. F. d., Silva, L. S. d., Silva, J. O. d., Tagliaferre, C., Santos, C. A. S., & Rocha, F. A. (2020). Calibration and Validation of the SWAT Model for Hydrological Simulation in a Basin in Western Bahia. *Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais*, *12*(1), 276–285. https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.001.0023

Gao, F., Feng, G., Han, M., Dash, P., Jenkins, J. N., & Liu, C. (2019). Assessment of Surface Water Resources in the Big Sunflower River Watershed Using Coupled SWAT–MODFLOW Model. *Water*, *11*(3), 528. https://doi.org/10.3390/w11030528

Gernowo, R., & Nurwidyanto, M. I. (2021). The FLOOD DISASTER MANAGEMENT BASED ON EXTREME TROPICAL RAINFALL IN DECADES OF CLIMATE CHANGE IN INDONESIA. *International Journal of Engineering Science Technologies*, *5*(2), 124–130. https://doi.org/10.29121/ijoest.v5.i2.2021.177

Guido, B., Popescu, I., Samadi, V., & Bhattacharya, B. (2023). *An Integrated Modelling Approach to Evaluate the Impacts of Nature-Based Solutions of Flood Mitigation Across a Small Watershed in the Southeast United States*. https://doi.org/10.5194/nhess-2022-281

Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. (2015). Land Use/Land Cover Change Detection and Prediction in the North-Western Coastal Desert of Egypt Using Markov-Ca. *Applied Geography*, *63*, 101–112. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model Under Two Different Scenarios. *Sustainability*, *10*(10), 3421. https://doi.org/10.3390/su10103421

Jasrotia, A. S., Kour, R., Singh, K., Thakur, P. K., & Bhagat, S. (2022). *Land Use/Land Cover*

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Change Projection of Tawi Catchment, Western Himalayas Using Markov-Ca. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1970166/v1

Jha, M. K., & Afreen, S. (2020). Flooding Urban Landscapes: Analysis Using Combined Hydrodynamic and Hydrologic Modeling Approaches. *Water*, *12*(7), 1986. https://doi.org/10.3390/w12071986

Karamma, R., Badaruddin, S., Mustamin, R., & Saing, Z. (2022). Flood Modelling Due to Dam Failure Using HEC-RAS 2D With GIS Overlay: Case Study of Karalloe Dam in South Sulawesi Province Indonesia. *Civil Engineering and Architecture*, *10*(7), 2833–2846. https://doi.org/10.13189/cea.2022.100704

Khidzir, A. R. (2023). GIS Based Monitoring of Critical Area Upstream Watershed of PB. Soedirman Reservoir, Central Java, Indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, *1233*(1), 12059. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1233/1/012059

Kodoatie, R. J. (2002). *Banjir: beberapa penyebab dan metode pengendaliannya dalam perspektif lingkungan*. Pustaka pelajar.

Kourat, T., Smadhi, D., Mouhouche, B., Gourari, N., Amin, M. G. M., & Bryant, C. (2020). Assessment of Future Climate Change Impact on Rainfed Wheat Yield in the Semi-Arid Eastern High Plain of Algeria Using a Crop Model. *Natural Hazards*, *107*(3), 2175–2203. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04435-5

Li, C., Cai, Y., Li, Z., Zhang, Q., Sun, L., Li, X., & Zhou, P. (2022). Hydrological response to climate and land use changes in the dry–warm valley of the upper Yangtze River. *Engineering*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809921003970

Li, D., Qu, S., Shi, P., Chen, X., Feng, X., Gou, J., & Zhang, W. (2018). Development and Integration of Sub-Daily Flood Modelling Capability Within the SWAT Model and a Comparison With XAJ Model. *Water*, *10*(9), 1263. https://doi.org/10.3390/w10091263

Listyarini, D., Hidayat, Y., & Tjahjono, B. (2018). Mitigasi Banjir Das Citarum Hulu Berbasis Model Hec-HMS. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, *20*(1), 40–48. https://doi.org/10.29244/jitl.20.1.40-48

Matalatta, S., Ardianto, Y., Junaidin, & Karim, A. M. A. (2021). Environmental Damage Impact on Economic Losses in Sulawesi-South Society. *Saudi Journal of Economics and Finance*, *5*(2), 51–55. https://doi.org/10.36348/sjef.2021.v05i02.003

Nazari-Sharabian, M., Taheriyoun, M., Ahmad, S., Karakouzian, M., & Ahmadi, A. (2019). Water Quality Modeling of Mahabad Dam Watershed–Reservoir System Under Climate Change Conditions, Using SWAT and System Dynamics. *Water*, *11*(2), 394. https://doi.org/10.3390/w11020394

Obasi, A. I., Ogbu, K. N., Ndulue, E., Ogwo, V. N., & Mbajiorgu, C. C. (2018). Prediction of the Impacts of Climate Changes on the Stream Flow of Ajali River Watershed Using SWAT Model. *Nigerian Journal of Technology*, *36*(4), 1286. https://doi.org/10.4314/njt.v36i4.39

Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., Muratbayeva, A., & Zinabdin, N. (2020). Application of HEC-RAS (2D) for Flood Hazard Maps Generation for Yesil (Ishim) River in Kazakhstan. *Water*, *12*(10), 2672. https://doi.org/10.3390/w12102672

Pokhrel, B. (2018). Impact of Land Use Change on Flow and Sediment Yields in the Khokana Outlet of the Bagmati River, Kathmandu, Nepal. *Hydrology*, *5*(2), 22. https://doi.org/10.3390/hydrology5020022

Pratiwi, A. P. (2024). Flood Hazard Comparison Based on Geomorphic Flood Index and Hydraulic HEC-RAS (Case Study in Ciliwung Watershed, Jakarta). *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, *1314*(1), 12084. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012084

Quirogaa, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D Numerical Simulation for the Analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia Flood: Application of the New HEC-RAS Version 5. *Ribagua*, *3*(1), 25–33. https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001

Rao, M. S., Swathi, P., Rao, C. A. R., Rao, K. V, Raju, B. M. K., Srinivas, K., Manimanjari, D., & Maheswari, M. (2015). Model and Scenario Variations in Predicted Number of Generations of Spodoptera Litura Fab. On Peanut During Future Climate Change

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Scenario. *Plos One*, *10*(2), e0116762. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116762

Roy, B., Khan, J. U., Islam, A. K. M. S., Mohammed, K., & Khan, M. J. U. (2021). Climate-Induced Flood Inundation for the Arial Khan River of Bangladesh Using Open-Source SWAT and HEC-RAS Model for RCP8.5-SSP5 Scenario. *Sn Applied Sciences*, *3*(6). https://doi.org/10.1007/s42452-021-04460-4

Seniwati, T., Erika, K. A., & Hapsah, H. (2022). Childhood Post-Traumatic Stress Disorder: A Post-Flood Overview. *Journal of Holistic Nursing Science*, *9*(1), 32–37. https://doi.org/10.31603/nursing.v9i1.6597

Sertel, E., Imamoglu, M. Z., Cuceloglu, G., & Ertürk, A. (2019). Impacts of Land Cover/Use Changes on Hydrological Processes in a Rapidly Urbanizing Mid-Latitude Water Supply Catchment. *Water*, *11*(5), 1075. https://doi.org/10.3390/w11051075

Simioni, J. P. D., & Guasselli, L. A. (2019). Simulation of Changes in Land-Use/Land Cover on Wetlands Through CA-Markov Model. *Revista Brasileira De Geografia Física*, *11*(6), 2057–2066. https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2057-2066

Suripin. (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Andi.

Taraky, Y. M., Liu, Y., McBean, E. A., Daggupati, P., & Gharabaghi, B. (2021). Flood Risk Management With Transboundary Conflict and Cooperation Dynamics in the Kabul River Basin. *Water*, *13*(11), 1513. https://doi.org/10.3390/w13111513

Tursina, Syamsidik, Kato, S., & Afifuddin, M. (2022). Incorporating Dynamics of Land Use and Land Cover Changes Into Tsunami Numerical Modelling for Future Tsunamis in Banda Aceh. *E3s Web of Conferences*, *340*, 1014. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234001014

Wynne, R. H., & Lillesand, T. M. (1993). Satellite observation of lake ice as a climate indicator: Initial results from statewide monitoring in Wisconsin. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, *59*(6).

©2024, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo