JURNAL REKAYASA SIPIL (JRS-UNAND)
Vol. 22 No. 1, Maret 2026
Diterbitkan oleh:
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas (Unand)
ISSN (Print) : 1858-2133
ISSN (Online) : 2477-3484
http://jrs.ft.unand.ac.id

STRATEGI NORMALISASI SUNGAI BERBASIS AHP-MCDA : INTEGRASI HIDRO-KLIMATOLOGI DAN BIOENGINEERING

LITA ISTIYANTI[1*], RINA FEBRINA[2]

[1] *DPUPR Kabupaten Lampung Selatan, Kalianda, Lampung*
[2]*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Bandar Lampung, Lampung*

[*]*Corresponding Author: omeoni12@gmail.com*

Naskah diterima: 1 Januari 2026. Disetujui: 29 Maret 2026. Diterbitkan: 31 Maret 2026

ABSTRAK

Banjir yang berulang di Kabupaten Lampung Selatan menunjukkan perlunya pendekatan pengelolaan sungai yang lebih efektif dan berkelanjutan dibandingkan metode normalisasi konvensional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi strategi normalisasi sungai berbasis integrasi hidro-klimatologi dan bioengineering guna meningkatkan efektivitas pengendalian banjir serta efisiensi anggaran daerah. Pendekatan penelitian menggabungkan systematic literature review dan analisis pengambilan keputusan multi-kriteria berbasis AHP–MCDA untuk menentukan prioritas strategi. Hasil analisis menunjukkan bahwa tingginya risiko banjir dipengaruhi oleh faktor hidro-klimatologi, seperti curah hujan ekstrem, sedimentasi, degradasi lingkungan, dan perubahan tata guna lahan, dengan nilai USG sebesar 3,6. Pembobotan AHP menunjukkan bahwa kriteria efektivitas menjadi faktor dominan dengan bobot 0,35. Hasil evaluasi AHP–MCDA menunjukkan bahwa alternatif integrasi bioengineering dan smart monitoring merupakan strategi paling optimal dengan skor 3,85, dibandingkan bioengineering (3,15) dan normalisasi konvensional (2,15). Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan integratif mampu meningkatkan kapasitas ekologis sungai sekaligus efisiensi pengelolaan berbasis teknologi, sehingga lebih adaptif terhadap dinamika hidro-klimatologi. Oleh karena itu, strategi normalisasi sungai berbasis bioengineering yang didukung smart monitoring direkomendasikan sebagai pendekatan pengendalian banjir yang efektif, efisien, dan berkelanjutan di Kabupaten Lampung Selatan.

Kata kunci : normalisasi sungai, *bioengineering*, *smart monitoring*, AHP-MCDA, pengendalian banjir.

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologis yang frekuensi dan intensitasnya cenderung meningkat akibat interaksi kompleks antara degradasi lingkungan dan perubahan iklim global. Di berbagai wilayah berkembang, termasuk Kabupaten Lampung Selatan, peningkatan kejadian banjir berkaitan erat dengan sedimentasi sungai,

penyempitan penampang aliran, hilangnya fungsi floodplain, serta perubahan tata guna lahan yang meningkatkan limpasan permukaan (Morrison, Simonson, McManamay, & Carver, 2023; Rosmadi, Ahmed , Mokhtar, Halder, & Scholz, 2024). Selain itu, faktor hidro-klimatologi seperti peningkatan intensitas curah hujan ekstrem dan variabilitas debit aliran turut memperburuk kondisi tersebut. Akibatnya, kapasitas hidraulik sungai dalam menampung debit puncak menurun, sehingga meningkatkan kerentanan wilayah hilir terhadap genangan.

Pendekatan penanganan banjir yang selama ini didominasi oleh rekayasa struktural (grey infrastructure), seperti pengerukan sedimen dan pelurusan alur sungai, terbukti mampu meningkatkan kapasitas aliran dalam jangka pendek. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa intervensi tersebut berpotensi menurunkan konektivitas antara sungai dan floodplain, mempercepat aliran, serta memperburuk kondisi ekomorfologi sungai dalam jangka panjang (Ward, 2013). Selain itu, ketergantungan pada pendekatan struktural cenderung meningkatkan biaya siklus hidup (life-cycle cost) akibat kebutuhan pemeliharaan yang berulang (Seddon et al, 2019).

Seiring dengan meningkatnya ketidakpastian hidrologi akibat perubahan iklim, pendekatan berbasis data historis menjadi kurang reliabel dalam mendukung perencanaan infrastruktur pengendalian banjir. Intensitas hujan ekstrem yang semakin tinggi menyebabkan debit aliran yang sulit diprediksi, sehingga diperlukan pendekatan pengelolaan sungai yang lebih adaptif dan berbasis sistem dinamis (Hidayah, Widiarti, Wiyono, & Lee, 2025). Pendekatan nature-based solutions (NbS), termasuk bioengineering, berkembang sebagai alternatif strategis yang mampu meningkatkan kapasitas retensi alami, mengurangi erosi, serta memulihkan fungsi ekologis sungai secara simultan (Kabisch et al, 2017; Stokes, Norris, & Greenwood, 2010).

Di sisi lain, kemajuan teknologi hidrologi telah mendorong penerapan sistem smart monitoring berbasis sensor, Internet of Things (IoT), dan pemantauan real-time dalam pengelolaan sumber daya air. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan kondisi hidrologi, meningkatkan akurasi peringatan dini, serta mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih responsif dan berbasis data (Kumar & Ramesh, 2023). Integrasi data hidro-klimatologi secara real-time juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi operasi dan pemeliharaan infrastruktur sungai, sekaligus mengurangi potensi kerugian akibat keterlambatan intervensi.

Meskipun efektivitas bioengineering dan smart monitoring telah banyak dikaji secara terpisah, penelitian yang mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut dalam kerangka evaluasi kebijakan berbasis metode kuantitatif masih terbatas. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada aspek teknis hidraulik atau implementasi kasus, namun belum banyak yang mengkaji bagaimana kombinasi solusi berbasis alam dan teknologi digital dapat dievaluasi secara sistematis melalui pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (research gap) dalam pengembangan model evaluasi kebijakan pengendalian banjir yang komprehensif dan terukur.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi strategi normalisasi sungai di Kabupaten Lampung Selatan melalui integrasi pendekatan bioengineering dan smart monitoring dalam kerangka Analytical Hierarchy Process–Multi-Criteria Decision Analysis (AHP–MCDA). Dalam penelitian ini, konsep normalisasi sungai tidak hanya dipahami sebagai rekayasa struktural konvensional, tetapi dikembangkan menjadi pendekatan adaptif yang mengintegrasikan solusi berbasis alam dan teknologi

pemantauan cerdas. Pendekatan ini memungkinkan penilaian alternatif kebijakan secara sistematis berdasarkan kriteria efektivitas teknis, efisiensi anggaran, keberlanjutan ekologis, dan implementabilitas kelembagaan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi empiris dalam pengelolaan sungai berkelanjutan, tetapi juga menawarkan kontribusi metodologis berupa model pengambilan keputusan berbasis AHP–MCDA yang dapat diterapkan pada konteks pengelolaan banjir di tingkat daerah.

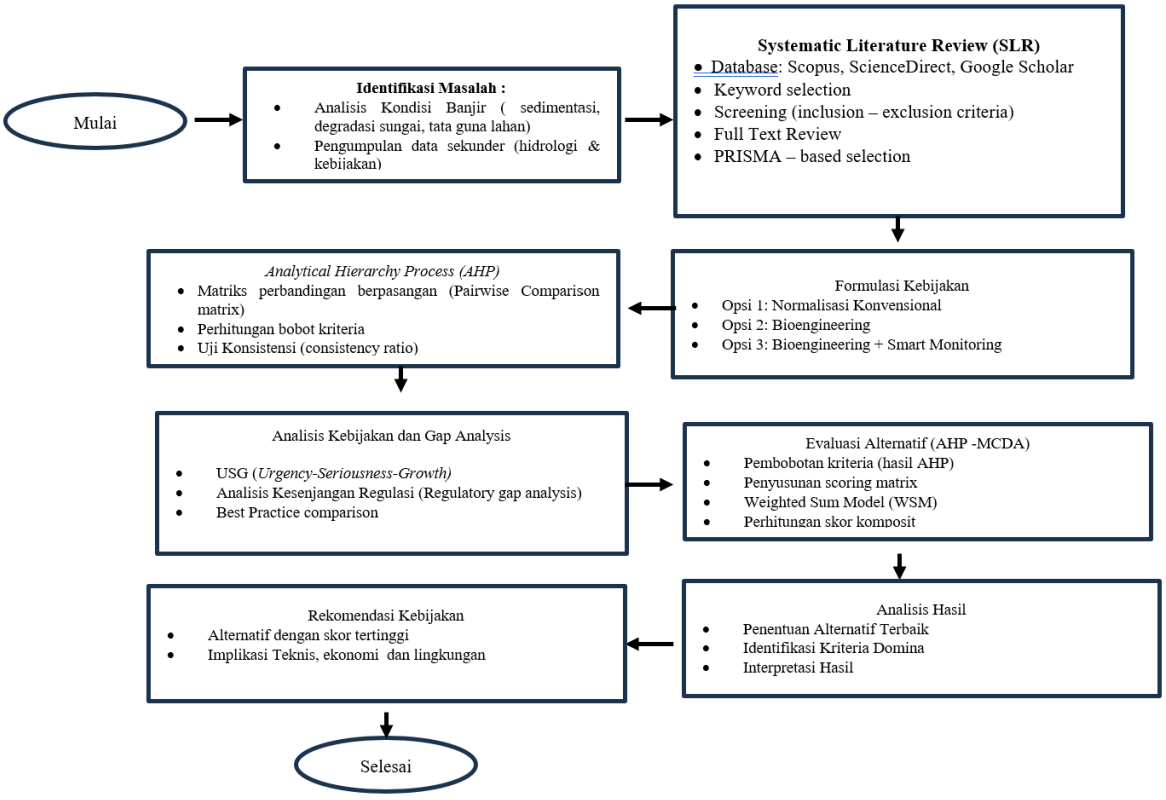
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed methods (kuantitatif–kualitatif) melalui integrasi *Systematic Literature Review* (SLR) dan *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) berbasis *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi strategi normalisasi sungai yang adaptif terhadap perubahan hidro-klimatologi secara sistematis dan terukur

2.1. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun mengacu pada pendekatan restorasi sungai berbasis bukti (evidence-based) yang terdiri atas tiga tahapan utama , yaitu :

1) Identifikasi permasalahan
2) Perancangan alternatif solusi, dan
3) Evaluasi serta pemilihan strategi terbaik



Gambar 1. Metodologi Penyelesaian Penelitian

Pendekatan ini sejalan dengan konsep restorasi sungai yang menekankan proses assessment-design-monitoring dalam pengelolaan berbasis hidromorfologi dan ketahanan iklim (Kelly, et al., 2020). Selain itu, integrasi aspek hidrologi, ekologi dan teknologi dilakukan untuk memastikan bahwa solusi yang dihasilkan tidak bersifat parsial, melainkan sistematik dan berkelanjutan.

2.2 Systematic Literature Review (SLR)

2.2.1 Sumber Data dan Strategi Pencarian
SLR dilakukan untuk mengidentifikasi perkembangan terbaru terkait *bioengineering*, normalisasi sungai, dan *smart monitoring*. Pencarian literatur dilakukan pada database Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar dengan kata kunci: "*river restoration", "bioengineering"*; "*nature-based solutions*" ; "*smart water monitoring*" ; "*flood management*" dan "*nature-based solutions*". Rentang tahun publikasi dibatasi pada 2015–2025 untuk memastikan kebaruan referensi.

2.2.2 Kriteria Seleksi
Proses seleksi dilakukan dengan kriteria :
Inklusi :
1) Artikel jurnal internasional bereputasi,
2) studi terkait dengan restorasi sungai, NbS dan monitoring
3) Memuat pendekatan teknis atau metodologis

Eksklusi :
1) Artikel non – ilmiah
2) Studi tanpa relevansi langsung dengan pengelolaan sungai
3) Duplikasi publikasi

2.2.3 Proses Penyaringan (Pendekatan PRISMA)
Tahapan SLR meliputi :

1) Identifikasi awal artikel
2) Screening judul dan abstrak
3) Evaluasi full-text
4) Seleksi akhir artikel

Pendekatan ini digunakan untuk memastikan bahwa kajian literatur bersifat sistematis dan tidak bias, serta mendukung penyusunan kriteria evaluasi dalam analisis MCDA.

2.3 Penentuan Kriteria dan Alternatif

Berdasarkan hasil SLR dan analisis konteks lokal, ditetapkan beberapa kriteria utama dalam evaluasi strategi normalisasi sungai, yaitu :

1) Efektivitas teknis (pengurangan risiko banjir)
2) Efisiensi biaya
3) Keberlanjutan lingkungan
4) Implementasi kelembagaan

Alternatif strategi yang dianalisis meliputi :
1) Normalisasi konvensional
2) Pendekatan *bioengineering (nature – based solutions)*
3) Integrasi *bioengineering dan smart monitoring*

Penentuan kriteria ini mempertimbangkan bahwa restorasi sungai harus mengintegrasikan aspek hidrologi, ekologi dan sosial secara simultan (Park & Lee, 2019)

2.4 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot masing-masing kriteria melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison).*

Struktur hierarki terdiri atas :

- Tujuan : Pemilihan strategi normalisasi sungai
- Kriteria : Efektivitas, efisiensi, keberlanjutan, implementabilitas
- Alternatif : opsi strategi yang telah ditentukan.

Matriks perbandingan perpasangan disusun berdasarkan skala preferensi, kemunian dihitung nilai eigenvector untuk memperoleh bobot prioritas masing-masing kriteria.

Uji konsistensi penilaian diuji menggunakan Consistency Ratio (CR) :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (2)$$

RI = Random Index
CR≤ 0,1menunjukkan bahwa matriks perbandingan konsisten

2.5 *Multi Criteria Decision Analysis* (MCDA)

Setelah bobot kriteria diperoleh dari AHP, dilakukan analisis MCDA menggunakan metode *Weighted Sum Model* (WSM) untuk menentukan nilai preferensi masing-masing alternatif. Rumus MCDA yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$S = \sum_{j=1}^{n} w_j \, X \, x_{ij} \quad (3)$$

Dimana :
Si = skor alternatif ke – i
Wj = bobot kriteria ke – j
Xij = nilai kinerja alternatif ke-i terhadap kriteria ke-j

Nilai kinerja alternatif diperoleh dari : hasil SLR, analisis kondisi lapangan, data sekunder terkait banjir dan sungai.

2.6 Integrasi *Smart Monitoring* dalam Analisis

Aspek *smart monitoring* dianalisis sebagai bagian dari kriteria efektivitas dan keberlanjutan , mengingat sistem berbasis data mampu meningkatkan akurasi prediksi dan respons terhadap banjir. Pendekatan ini mengacu pada konsep *smart flood resilience* yang memanfaatkan data sensor dan analitik untuk meningkatkan prediksi dan pengambilan keputusan secara *real - time* (Yuan, et al., 2021).

2.7 Validasi dan Interpretasi Hasil

Hasil MCDA kemudian dianalisis untuk menentukan alternatif terbaik, mengidentifikasi kriteria dominan dan mengevaluasi sensitivitas keputusan. Selain itu, hasil juga dibandingkan dengan temuan studi sebelumnya untuk memastikan konsistensi dan validitas ilmiah, mengingat banyak proyek restoraasi belum memiliki evaluasi berbasis data yang memadai (Spray, et al., 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Permasalahan Banjir (USG Analysis)

Hasil analisis USG (*Urgency- Seriousness – Growth)* menunjukkan bahwa permasalahan banjir di Kabupaten Lampung Selatan berada pada kategori prioritas tinggi dengan skor rata- rata sebesar 3.6 (skala 1-4). Dimensi urgency memperoleh nilai tertinggi yang mengindikasikan peningkatan frekuensi kejadian banjir dalam lima tahun terakhir.

Selain itu, dimensi *growth* menunjukkan tren peningkatan risiko yang dipengaruhi oleh sedimentasi sungai, degradasi morfologi, serta perubahan tata guna lahan. Kondisi ini menegaskan bahwa permasalahan banjir bersifat dinamis dan memerlukan pendekatan pengelolaan yang adaptif, bukan sekedar intervensi structural jangka pendek.

Tabel 1. Hasil Analisis USG Permasalahan Banjir di Lampung Selatan

Kriteria	Hasil Analisis	Skor (1-4)	Tingkat
Urgency	Kejadian banjir berulang, mengganggu aktivitas masyarakat dan layanan publik	4.0	Sangat Tinggi
Seriousness	Kerusakan infrastruktur, peningkatan biaya penanganan darurat	3.5	Tinggi
Growth	Tren peningkatan risiko akibat sedimentasi & perubahan iklim	3.3	Tinggi
Skor Rata-rata		3.6	

Sumber : berbagai rujukan, diolah (2026)

Nilai rata – rata sebesar 3.6 menunjukkan bahwa permasalahan banjir berada pada prioritas tinggi dengan dimensi urgency sebagai faktor dominan yang mencerminkan frekuensi kejadian yang terus meningkat.

3.2. Hasil *Systematic Literature Review* (SLR)

Sebanyak 85 artikel teridentifikasi , dan dilakukan penyaringan menjadi 22 artikel terpilih. Selanjutnya hasil SLR terhadap 22 artikel terpilih menunjukkan bahwa pendekatan *bioengineering* dan *smart monitoring* memiliki kontribusi signifikan dalam pengelolaan banjir.

Pendekatan *bioengineering* terbukti mampu :

- Mengurangi erosi tebing sebesar 20-60%

- Meningkatkan stabilitas morfologi sungai
- Menurunkan laju sedimentasi

Sementara itu, penerapan *smart monitoring* memberikan manfaat berupa :

- Peningkatan akurasi prediksi banjir
- Percepatan respons operasi dan pemeliharaan
- Efisiensi biaya inspeksi

Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan hibrida (*nature-based solution* dan teknologi) lebih adaptif terhadap ketidakpastian hidro-klimatologi dibandingkan metode normalisasi konvensional. Pendekatan ini sangat relevan untuk diterapkan di Lampung Selatan, dikarenakan:

- Kondisi DAS mengalami sedimentasi tinggi
- Keterbatasan anggaran daerah
- Kebutuhan sistem peringatan dini.

3.3. Pembobotan Kriteria (AHP)

Hasil perhitungan AHP menunjukkan bobot masing-masing kriteria sebagai berikut :

Tabel 2. Pembobotan Hasil Perhitungan AHP

Kriteria	Bobot
Efektivitas	0.35
Efisiensi	0.25
Keberlanjutan	0.25
Implementabilitas	0.15

Hasil uji konsistensi menunjukkan nilai *Consistency Ratio* (CR) < 0.1 , sehingga matriks perbandingan dinyatakan konsisten. Efektivitas menjadi faktor dominan karena berkaitan langsung dengan pengurangan risiko banjir, dan menjadi prioritas utama dalam kebijakan daerah.

3.4. Evaluasi Alternatif (MCDA)

Berdasarkan pembobotan AHP, dilakukan evaluasi menggunakan metode Weighted Sum Model (WSM). Hasil scoring MCDA kemudian ditampilkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. Hasil *Scoring* MCDA

Alternatif	Efektivitas	Efisiensi	Keberlanjutan	Implementabilitas	Skor
Normalisasi konvensional	2	2	1	3	2.15
Bioengineering	3	3	4	3	3.15
Bioengineering + Smart Monitoring	4	4	4	4	3.85

Sumber : berbagai rujukan, diolah (2026)

Tabel 4. Tabel Skala Penilaian Kinerja Alternatif

Skor	Kriteria Penilaian
1	Sangat rendah / tidak efektif
2	Rendah
3	Sedang / cukup efektif
4	Tinggi / sangat efektif

Berdasarkan pembobotan kriteria menggunakan metode AHP, dilakukan evaluasi alternatif strategi menggunakan metode *Weighted Sum Model* (WSM) . Penilaian kinerja masing-masing alternatif dilakukan dengan menggunakan skala 1-4 , Dimana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kriteraia yang lebih baik terhadap kriteria yang dinilai.

3.5. Diskusi dan Perbandingan Studi

Hasil penelitian ini konsisten dengan studi internasional yang menunjukkan bahwa pendekatan hibrida (*nature-based solutions* dan infrastruktur teknologi) memberikan kinerja terbaik dalam pengendalian banjir. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa alternatif integrasi bioengineering dan smart monitoring memperoleh skor tertinggi 3.85 diikuti bioengineering sebesar 3.15 dan normalisasi konvensional sebesar 2.15.

Opsi Bioengineering dengan Smart Monitoring memperoleh skor tertinggi pada seluruh kriteria karena mampu mengintegrasikan pendekatan ekologis dan teknologi. Dari sisi efektivitas, kombinasi ini tidak hanya meningkatkan kapasitas alami Sungai tetapi juga memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan kondisi hidrologi melalui sistem monitoring berbasis data real-time. Dari aspek efisiensi , penggunakaan teknologi monitoring dapat mengurangi biaya inspeksi dan mempercepat respons penanganan. Selain itu, keberlanjutan tetap terjaga karena pendekatan bioengineering mendukung keseimbangan ekosistem. Implementabilitas juga dinilai tinggi karena sistem dapat diterapkan secara bertahap sesuai dengan kapasitas daerah.

Bioengineering memperoleh skor tinggi pada aspek keberlanjutan (Skor 4) karena mampu meningkatkan stabilitas tebing Sungai secara alami serta mendukung pemulihan fungsi ekologis. Namun secara efektivitas dinilai sedang sehingga tinggi (Skor 3) karena mampu mengurangi erosi dan sedimentasi meskipun implementasnya memerlukan waktu untuk mencapai kondisi optimal. Efisiensi juga relative baik (Skor 3) karena biaya pemeliharaan lebih rendah dibandingkan metode konvensional dalam jangka panjang.

Normalisasi konvensional memperoleh skor rendah pada kriteria keberlanjutan (skor1) karena pendekatan ini cenderung mengandalkan rekayas struktural yang berpotensi menurunkan kualitas ekosistem Sungai dan memerlukan pemeliharaan berulang. Selain itu efektivitasnya dinilai terbatas (skor 2) karena hanya meningkatkan kapasitas aliran dalam jangka pendek tanpa mengatasi akar permasalahan seperti sedimentasi dan degradasi lingkungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kriteria efektivitas dan keberlanjutan memiliki pengaruh dominan dalam menentukan alternatif terbaik. Hal ini sejakan dengan bobot AHP yang menempatkan efektivitas sebagai prioritas utama. Oleh karena itu, alternatif yang mampu mengintegrasikan peningkatan kapasitas hidraulik dengan keberlanjutan ekologis dan mendukung teknologi cenderung menghasilkan skor yang lebih tinggi dalam evaluasi MCDA.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR), Analytical Hierarchy Process (AHP), dan Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), dapat disimpulkan bahwa permasalahan banjir di Kabupaten Lampung Selatan merupakan isu prioritas dengan tingkat urgensi tinggi. Kondisi ini dipicu oleh penurunan kapasitas hidraulik sungai akibat sedimentasi, degradasi morfologi, serta perubahan tata guna lahan. Hasil analisis USG menunjukkan skor rata-rata sebesar 3,6 (skala 1–4), yang mengindikasikan bahwa risiko banjir terus meningkat dan memerlukan intervensi kebijakan yang adaptif dan berbasis sistem. Hasil pembobotan AHP menunjukkan bahwa kriteria efektivitas memiliki bobot tertinggi sebesar 0,35, diikuti oleh efisiensi dan keberlanjutan masing-masing sebesar 0,25, serta implementasi sebesar 0,15. Hal ini menegaskan bahwa kemampuan dalam menurunkan risiko banjir menjadi faktor dominan dalam penentuan prioritas kebijakan. Evaluasi alternatif menggunakan MCDA menunjukkan bahwa strategi integrasi bioengineering dan smart monitoring memperoleh skor tertinggi sebesar 3,85, dibandingkan bioengineering (3,15) dan normalisasi konvensional (2,15). Keunggulan strategi ini terletak pada kemampuannya dalam mengintegrasikan peningkatan kapasitas ekologis sungai dengan efisiensi pengelolaan berbasis teknologi, sehingga lebih adaptif terhadap dinamika hidro-klimatologi dan keterbatasan fiskal daerah. Oleh karena itu, normalisasi sungai berbasis bioengineering yang didukung oleh sistem smart monitoring direkomendasikan sebagai strategi pengendalian banjir yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kinerja teknis pengendalian banjir, tetapi juga memperkuat ketahanan sistem sungai dalam menghadapi perubahan iklim. Penelitian ini masih terbatas pada tahap evaluasi kebijakan dan belum mencakup analisis desain hidraulik secara rinci. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengembangkan model teknis dan simulasi hidraulik guna mendukung implementasi di lapangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Lampung Selatan, khususnya Bidang Sumber Daya Air serta Bidang Bina Konstruksi Dan Bina Program, atas dukungan dan penyediaan data yang mendukung pelaksanaan analisis dalam penelitian ini. penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Universitas Malahayati Bandar Lampung atas kolaborasi dan kontribusi akademik yang diberikan selama proses penyusunan naskah, dukungan dan sinergi antarlembaga tersebut berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan keterterapan hasil kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach.* Boston: Boston, MA: Springer.

Comission, E. (2015). *Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities.* Brussels: EC Directorate-General for Research and Innovation.

Dadson et al. (2022). Hybrid approaches to flood risk management: Combining grey infrastructure with nature-based solutions. *Journal of Flood Risk Management,, 15*(2). doi: https://doi.org/10.1111/jfr3.12778

Everard, M., McInnes, R. J., & Baird, A. J. (2017). Integrated catchment management and ecosystem services: The case of Insh Marshes, Scotland. *Ecosystem Services,*, 137–148. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.02.002

Harits, M., Sapei, A., & Pandjaitan, N. H. (2024). Avoiding Flood by Improving Cross-Sectional Capacity through River. *13*(4), 1023-1035. doi: http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v13i4.1023-1035

Hidayah, E., Widiarti, W. Y., Wiyono, R. U., & Lee, W. K. (2025). Nature-based Solutions for Flood Risk Reduction in The Bedadung River. *Journal of Water and Climate Change, 16*(10), 1-18. doi: https//:10.2166/wcc.2025.647

Hidayat, R., Putra, A. S., & Kurniawan, F. (2019). Mangrove rehabilitation as a nature-based solution for coastal flood mitigation in Demak, Indonesia. *Ocean & Coastal Management, 178*. doi:https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104789

Ilyas, I. S., Rahardi, C. S., & Kurniawan, A. (2025). The influence of food disasters on economic prowth and poverty in Indonesia. *Jurnal Ilmu Sosial dan, 8*(4), 98-108.

Indonesia, R. (2019). *Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air.* Jakarta.

Irawan, B., Syafrudin, & Budihardjo, M. A. (2025). Evaluation of drainage system and flood management in Semarang city: a case study of kali Semarang and its impact on flood and tidal flood reduction. *Edelweiss Applied Science and Technology, 9*(2), 1609-1619. doi: https://doi.org/10.55214/25768484.v9i2.4848

Kabisch et al. (2017). *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas.* Cham: Springer.

Kelly, F. L., Leary, S., King, C. O., Shephard, K., Delanty, C., Fitzgerald, M., McLoone, P. (2020). *River restoration works - science based guidance centred on hydromorphological principles in era of climate.* Dublin: IFISH.

Kumar, B. L., & Ramesh, A. (2023). Real-time flood monitoring and early warning systems using IoT. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*, *9*, pp. 2451–2467.

Mansida, A., Rokhmawati, A., Gaffar , F., Purnama, A., Salamena, G. E., Rohani, I., & Mahmudin. (2022). *Teknik Sungai Berkelanjutan.* Indonesia: GET PRESS INDONESIA. Retrieved from www. getpress.co.id

Morrison, R. R., Simonson, K., McManamay, R. A., & Carver, D. (2023). Degradation of floodplain integrity within the contiguous United States. *COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT, 2*, 1-10. doi: https://doi.org/10.1038/s43247-023-00877-4

Muhjad, M. H., Redhani, M. E., Anwary, I., & Hadin, A. F. (2023). Legal Review In Structuring And Normalization Of Rivers As An Effort To Mitigate Flooding In The City Of Banjarmasin. *International Journal of Educational Research & Social Sciences*. Retrieved from https://ijersc.org

Naoaj, M. S. (2023). From catastrophe to recovery : the impact of natural disasters on economic growth in developed and developing countries. *European Journal of Development Studies, 3*(2), 17-22. doi: https://doi.org/10.24018/ejdevelop.2023.3.2.237

Park, K., & Lee, K. S. (2019). Development of sustainable integrated design framework for stream restoration. *Sustainability, 11*(674). doi:https://doi.org/10.3390/su11030674

Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Pemerintah Nomor 30 Tahun 2024 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air.* Jakarta.

Rosmadi, H. S., Ahmed , M. F., Mokhtar, M. B., Halder, B., & Scholz, M. (2024). Nature-based solutions (NbS) for flood management in Malaysia. *Water, 16*. doi: https://doi.org/10.3390/w16243606

Seddon et al. (2019). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 375(1794)*. doi: https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120

Spray, C., Black, A., Bradley, D., Brromley, C., Caitness, F., Dodd, J., Robertson, H. (2022). Strategic design and delivery of integrated catchment restoration monitoring :

emerging lessons from 12-year study in the UK. *water, 14*(2305). doi: https://doi.org/10.3390/w14152305

Stokes, A., Norris, C., & Greenwood, D. (2010). Eco- and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability. *Ecological Engineering,, 36*(4), 483–491.

Ward, P. J. (2013). Room for the River: Flood Risk Management in the Netherlands. *Journal of Flood Risk Management,, 6*(2), 163–177.

Yuan, F., Fan, C., Farahmand , H., Coleman, N., Esmalian, A., Lee, C. C., Mostafavi, A. (2021). Smart flood resilience : harnessing community - scale big data for predictive flood risk monitoring , rapid impact assessment , and situational awareness. *arXavi*