

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan topik yang akan diteliti dan digunakan sebagai salah satu acuan penulis dalam melakukan proses penelitian. Berikut dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Keterangan
1.	Judul Penelitian	Riparian Vegetation and Flash Flood Mitigation in Mountainous Watersheds
	Tahun Terbit	2023
	Sumber	Journal of Hydrology, Elsevier
	Fokus Kajian	Mengkaji peran vegetasi riparian dalam mengurangi kecepatan aliran permukaan serta sedimentasi pada daerah aliran sungai (DAS) pegunungan.
	Metode Yang Digunakan Dalam Penelitian	Pemodelan hidrodinamik dan analisis kuantitatif berbasis simulasi aliran menggunakan model hidrologi DAS
	Relevan Dengan Penelitian	Penelitian ini relevan karena mengkaji efektivitas vegetasi riparian dalam mereduksi dampak banjir bandang pada wilayah dengan topografi pegunungan yang memiliki karakteristik serupa dengan Kota Batu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi vegetasi riparian mampu menurunkan kecepatan aliran air hingga 40% serta meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah.
2.	Judul Penelitian	Nature Based Solutions for Urban Flash Flood Management in Southeast Asian Cities
	Tahun Terbit	2022
	Sumber	Water Resources Management
	Fokus Kajian	Membahas penerapan Nature-Based Solutions (NBS) untuk pengelolaan banjir bandang di kawasan perkotaan Asia Tenggara.
	Metode Digunakan Dalam Penelitian	Analisis multi kriteria dan studi komparatif penerapan Nature-Based Solutions pada beberapa kota di Asia Tenggara
	Relevan Dengan Penelitian	Penelitian ini relevan karena menawarkan kerangka kerja integratif dalam penerapan solusi berbasis alam untuk mitigasi banjir di wilayah perkotaan yang berkembang pesat. Pendekatan tersebut dapat diadaptasi dalam perencanaan lanskap riparian di Kota Batu yang mengalami perkembangan sektor pariwisata dan permukiman.

3.	Judul Penelitian	Climate Adaptive Riparian Design for Extreme Rainfall Events in Tropical Regions
	Tahun Terbit	2022
	Sumber	Climate Risk Management, Elsevier
	Fokus Kajian	Desain riparian adaptif terhadap peningkatan intensitas hujan ekstrem di wilayah tropis
	Metode Digunakan Dalam Penelitian	Pemodelan skenario perubahan iklim dan simulasi hidrologi untuk evaluasi desain riparian adaptif
	Relavan Dengan Penelitian	Penelitian ini relevan karena mempertimbangkan skenario perubahan iklim dalam perencanaan lanskap riparian, yang penting untuk mengantisipasi peningkatan hujan ekstrem di wilayah Kota Batu.
4.	Judul Penelitian	Green Infrastructure Planning for Flash Flood Risk Reduction in Upper Watersheds
	Tahun Terbit	2023
	Sumber	Landscape and Urban Planning, Elsevier
	Fokus Kajian	Membahas perencanaan infrastruktur hijau untuk mengurangi risiko banjir bandang di wilayah hulu DAS.
	Metode Digunakan Dalam Penelitian	Analisis spasial berbasis GIS dan remote sensing untuk identifikasi area prioritas infrastruktur hijau
	Relavan Dengan Penelitian	Penelitian ini relevan karena mengintegrasikan konsep infrastruktur hijau dengan sistem drainase konvensional melalui pendekatan perencanaan spasial yang sistematis. Pendekatan ini dapat diterapkan dalam perancangan lanskap riparian sebagai bagian dari sistem mitigasi banjir di Kota Batu.
5.	Judul Penelitian	Bioengineering Techniques for Riparian Restoration in Flash Flood Prone Areas
	Tahun Terbit	2022
	Sumber	Ecological Engineering, Elsevier
	Fokus Kajian	Mengkaji teknik bioengineering untuk restorasi kawasan riparian di wilayah rawan banjir bandang.
	Metode Digunakan Dalam Penelitian	Eksperimen lapangan dan evaluasi teknik soil bioengineering pada area tebing sungai
	Relavan dengan Penelitian	Penelitian ini memberikan referensi teknis yang aplikatif terkait penggunaan teknik soil bioengineering dan penguatan vegetatif untuk stabilisasi lereng dan tebing sungai. Teknik tersebut sangat relevan untuk diterapkan pada kondisi topografi curam di wilayah hulu Kota Batu.
6.	Judul Penelitian	Community Based Riparian Management for Flash Flood Mitigation: Lessons from Java, Indonesia
	Tahun Terbit	2021
	Sumber	Environmental Management, Springer

	Fokus Kajian	Mengkaji pengelolaan kawasan riparian berbasis masyarakat dalam mitigasi banjir bandang di Pulau Jawa.
	Metode Digunakan Dalam Penelitian	Metode kualitatif melalui wawancara, observasi lapangan, dan analisis partisipatif masyarakat
	Relavan Dengan Penelitian	Penelitian ini memberikan perspektif penting mengenai peran partisipasi masyarakat dalam pengelolaan kawasan riparian secara berkelanjutan. Pendekatan ini relevan untuk mendukung keberlanjutan program mitigasi banjir di Kota Batu.

Berdasarkan hasil tinjauan beberapa penelitian terdahulu, upaya mitigasi banjir bandang pada kawasan sungai dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti pemanfaatan vegetasi riparian, penerapan nature-based solution, perencanaan infrastruktur hijau, serta teknik bioengineering untuk stabilisasi tebing sungai. Penelitian- penelitian tersebut menunjukkan bahwa vegetasi riparian sangat berperan penting dalam memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi tanah, serta mengurangi risiko erosi pada kawasan sungai. Selain itu, penggunaan analisis spasial dan pemodelan hidrologi juga menjadi pendekatan teknis yang efektif dalam memahami dinamika aliran air dan menentukan strategi pengelolaan kawasan riparian.

Beberapa penelitian juga menekankan pentingnya partisipasi masyarakat serta adaptasi terhadap perubahan iklim dalam pengelolaan kawasan sungai secara berkelanjutan. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut lebih berfokus pada aspek teknis, ekologis, atau manajemen kawasan secara terpisah, sehingga kajian yang mengintegrasikan analisis kondisi lanskap riparian dengan pendekatan perancangan lanskap sebagai strategi mitigasi banjir bandang, khususnya pada wilayah hulu sungai Brantas di Kota Batu, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merumuskan konsep perancangan lanskap riparian yang dapat mendukung fungsi mitigasi banjir bandang secara ekologis dan spasial.

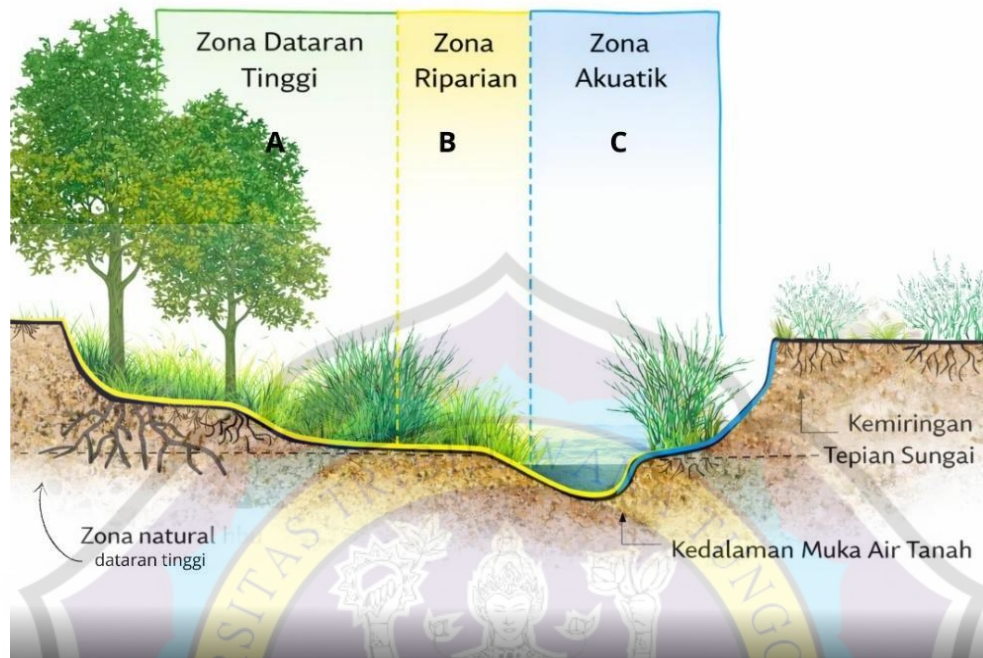
2.2. Konsep Lanskap Riparian

2.2.1 Pengertian Riparian

Riparian merupakan kawasan peralihan antara ekosistem daratan dan ekosistem perairan yang berada di sepanjang tepi sungai, danau, maupun badan air lainnya. Zona ini secara tidak langsung dipengaruhi oleh beberapa dinamika hidrologi termasuk tinggi permukaan air, aliran air dari permukaan serta kejadian banjir yang terjadi secara berkala. Penelitian terbaru mengenai daerah tepian sungai dapat diartikan ekoton yaitu, area peralihan yang memiliki ciri khas secara ekologis dalam menjaga keanekaragaman hayati dan fungsi hidrologis, termasuk penyaringan polutan dan stabilisasi tebing sungai (Pramadaningtyas *et al.*, 2023).

Secara ekologis, zona tepian sungai tidak hanya mencakup garis batas sungai itu sendiri, tetapi juga meliputi wilayah yang secara fungsional terpengaruh oleh proses air dan bentuk tanah sungai. Kawasan tersebut dapat meluas ke arah samping menuju area banjir, bawah ke lapisan tanah dan tumbuhan serta ke arah depan mengikuti aliran sungai dalam satu daerah aliran sungai tertentu (DAS) (Stutter *et al.*, 2021). Zonasi lanskap riparian merupakan pembagian ruang pada kawasan tepi sungai berdasarkan karakteristik hidrologi, kondisi tanah,

vegetasi, serta intensitas interaksi dengan aliran sungai. Pembagian zona ini penting dalam perencanaan lanskap karena setiap zona memiliki fungsi ekologis yang berbeda dalam menjaga stabilitas ekosistem sungai dan mengurangi risiko bencana hidrologis seperti banjir bandang. Berikut gambar zonasi lanskap riparian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Zona Lanskap Riparian

Berdasarkan gambar zonasi lanskap riparian diatas, terlihat bahwa daerah tepi sungai adalah suatu sistem ekologis yang terdiri dari beberapa zona utama yang saling berinteraksi secara hidrologis dan ekologis. Gregory *et al.* (2020) dan Décamps (2021), menjelaskan bahwa kawasan riparian umumnya dapat dibagi menjadi tiga zona utama yaitu zona dataran tinggi, zona riparian, dan zona akuatik. Ketiga zona tersebut membentuk sistem ekologis yang saling mempengaruhi dalam mengatur aliran air, penumpukan sedimen, serta perubahan vegetasi di sepanjang sungai. Dalam merancang area perairan tepi sungai di daerah hulu sungai Brantas Kota Batu, memahami bagian-bagian wilayah tersebut menjadi dasar penting dalam memformulasikan strategi mengurangi banjir bandang dengan cara mengelola vegetasi, memperkuat tebing sungai, serta meningkatkan fungsi lingkungan di area perairan tepi.

Berikut merupakan penjelasan dari setiap Zona Lanskap Riparian Daerah Aliran Sungai (DAS)

- 1) Zona dataran tinggi adalah area yang terletak di bagian luar wilayah tepian sungai dan berada pada jarak yang lebih jauh dari sungai. Wilayah ini biasanya memiliki tanah yang lebih kuat dan konsisten, dengan kedalaman air tanah yang lebih dalam, serta tidak banyak tergenang air secara langsung karena air sungai yang meluap. Richardson *et al.* (2021), menjelaskan bahwa vegetasi pada zona dataran tinggi memainkan peran penting dalam memainkan peran erosi tanah dan menjaga stabilitas hidrologi daerah aliran sungai. Dalam upaya mencegah banjir bandang, adanya tumbuhan yang baik di area tersebut bisa mengurangi kecepatan aliran air di permukaan, sehingga air masuk ke sungai secara lebih perlahan.

- 2) Zona Riparian adalah area transisi yang berada di antara daerah daratan dan badan sungai. Zona ini sering berinteraksi dengan sistem aliran air sungai karena tanahnya kerap mengalami perubahan tingkat kelembapan yang dipengaruhi oleh fluktuasi tinggi muka air sungai. Naiman et al. (2020) dan López-Barrera *et al.* (2022), menyatakan bahwa vegetasi di sepanjang tepi sungai berperan dalam mempertahankan stabilitas tebing sungai, karena akar tanaman berfungsi untuk memperkuat tanah serta mengurangi resiko terjadinya erosi. Selain itu, zona ini juga berperan dalam memperlambat aliran air ketika terjadi banjir, sehingga mampu menurunkan kekuatan air yang dihasilkan oleh banjir bandang.
- 3) Zona Akuatik adalah bagian dari sistem sungai yang berada di dalam air, secara langsung, mencakup alur sungai, dasar sungai, serta area yang selalu tergenang air. Zona ini menjadi tempat tinggal utama bagi berbagai makhluk hidup di air serta merupakan daerah yang selalu tergenang air. Zona ini bertindak sebagai tempat tinggal utama bagi berbagai makhluk hidup yang hidup di air dan berperan penting dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem perairan. Allan & Castillo (2021), menjelaskan area air tawar memiliki peran yang sangat penting dalam mengatur aliran air, gerakan partikel tanah, serta berbagai proses kimia dan biologis yang terjadi di dalam ekosistem sungai. Struktur dasar sungai, jenis tumbuhan yang ada di air, serta bentuk fisik sungai memiliki dampak signifikan terhadap kelancaran aliran air dan potensi terjadinya banjir.

2.2.2 Fungsi Ekologis Riparian

Dalam menjaga keseimbangan ekosistem zona riparian memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan daerah aliran sungai dengan berbagai fungsi ekologis yang sangat bermanfaat. Salah satu peran penting dari riparian adalah mengontrol proses hidrologi dengan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyerap air serta mengurangi aliran air permukaan. Vegetasi serta struktur tanah di daerah tepi sungai berperan dalam menyerap air hujan dan mengurangi kecepatan aliran air ke badan air sungai, sehingga membantu mengurangi potensi terjadinya (Liu *et al.*, 2021). Selain itu, area tepi sungai juga berperan sebagai filter alami yang mampu menyerap kotoran, nutrisi serta berbagai bahan beracun yang terbawa oleh air permukaan sebelum masuk ke dalam sungai. Proses ini memainkan peran penting dalam mempertahankan kualitas air serta mendukung keberlangsungan hidup ekosistem perairan, seperti yang dicatat oleh (Zhao *et al.*, 2022).

Fungsi ekologis lainnya adalah sebagai tempat tinggal bagi beberapa jenis tanaman dan hewan. Kondisi mikrolimat yang lembab dan adanya pasokan air yang cukup tinggi. Selain itu, sistem akar tanaman disepanjang tepi sungai juga membantu memperkuat struktur tanah di daerah tersebut, sehingga mampu mengurangi proses erosi dan menjaga kestabilan tebing sungai. (Wohl *et al.*, 2021).

2.2.3 Vegetasi Riparian

Vegetasi riparian adalah komunitas tumbuhan yang tumbuh di sepanjang tepi sungai dan mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berubah terutama akibat fluktuasi tinggi air, seperti banjir berkala, tanah yang selalu lembab, serta proses pendepositan sedimen. Vegetasi ini biasanya terdiri dari berbagai lapisan tumbuhan, mulai dari tumbuhan perdu, semak hingga pohon yang membentuk struktur vegetasi bertingkat (Richardson *et al.*, 2022).

Kehadiran vegetasi di tepi sungai memainkan peran penting dalam menjaga fungsi ekologis wilayah sungai tersebut. Sistem akar tanaman yang mampu meningkatkan kestabilan tanah serta mengikat sedimen yang dibawah oleh aliran air. Selain itu, vegetasi yang padat mampu mengurangi kecepatan aliran air di permukaan, sehingga memfasilitasi penyerapan air kedalam tanah (Judijanto & Suparwata, 2025).

2.3. Banjir Bandang

2.3.1 Definisi Banjir Bandang

Banjir bandang adalah peristiwa bencana alam yang terjadi secara tiba-tiba dengan aliran air yang sangat cepat dan memiliki kemampuan merusak yang tinggi. Banjir bandang umumnya terjadi di daerah di atas muara sungai atau wilayah dengan lereng curam, akibat hujan lebat yang menyebabkan aliran air sungai meningkat secara tiba-tiba dalam waktu singkat. Menurut BNPB (2020), banjir bandang ditandai dengan aliran air yang mengandung berbagai material seperti tanah, batu, kayu, dan sedimen dalam jumlah yang cukup besar sehingga memiliki potensi menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan pemukiman, serta infrastruktur. Selain faktor hujan deras, kerusakan tumbuhan perubahan cara penggunaan tanah, dan penurunan kualitas daerah aliran sungai juga dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya banjir bandang seperti yang disebut dalam penelitian oleh (Asdak, 2018).

2.3.2 Faktor-Faktor Penyebab Banjir Bandang

a. Perubahan Lahan

Perubahan cara penggunaan lahan menjadi salah satu penyebab yang memperbesar kemungkinan terjadinya banjir, termasuk banjir bandang di daerah aliran sungai (DAS). Perubahan tersebut biasanya terjadi karena perubahan fungsi lahan alami seperti hutan atau tumbuhan menjadi area pemukiman, pertanian yang padat, atau pembangunan infrastruktur, yang berpotensi mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air hujan. Menurut Foley *et al.* (2020), perubahan jenis tutupan lahan dapat mempengaruhi keseimbangan hidrologi karena terjadi peningkatan aliran air permukaan dan penurunan kemampuan tanah untuk menyerap air. Kondisi tersebut membuat air hujan mengalir lebih cepat ke dalam sungai, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya banjir, khususnya di daerah hulu yang memiliki lereng cukup curam. Oleh karena itu, pengelolaan penggunaan lahan yang memperhatikan fungsi ekologis lanskap sangat penting untuk menjaga kestabilan sistem hidrologi serta mengurangi kemungkinan terjadinya bencana banjir bandang.

b. Curah Hujan

Salah satu faktor hidrologis utama yang mempengaruhi terjadinya banjir bandang adalah curah hujan. Intensitas curah hujan yang tinggi dalam waktu singkat dapat meningkatkan volume aliran permukaan secara mendadak, sehingga kapasitas sungai tidak mampu menyerap air yang masuk. Menurut Horton (2020), curah hujan yang mengalir dengan intensitas tinggi akan meningkatkan jumlah air permukaan yang mengalir, terutama di daerah-daerah dengan kemampuan tanah menyerap air yang rendah atau tutupan tumbuhan yang berkurang. Kondisi tersebut bisa menyebabkan air mengalir ke sungai dengan lebih cepat, khususnya di daerah hulu yang memiliki permukaan tanah yang miring. Oleh karena itu curah hujan yang tinggi sering kali menjadi penyebab utama

terjadinya banjir bandang, terutama bila dikombinasikan dengan perubahan cara penggunaan lahan serta menurunnya kualitas tumbuhan di wilayah daerah aliran sungai.

c. Kemiringan Lereng

Faktor lain yang mempengaruhi aliran air dengan cepat yaitu bentuk topografi dengan lereng yang curam sehingga sangat berpengaruh kecepatan air mengalir di atas permukaan tanah. Semakin miring lereng tersebut, maka semakin cepat air hujan mengalir ke arah bawah atau ke sungai. Kondisi tersebut menyebabkan durasi waktu aliran air menjadi lebih pendek, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya banjir bandang. Menurut Morgan (2020), kemiringan lereng memiliki peran penting dalam proses hidrologi karena mempengaruhi kecepatan aliran permukaan, tingkat erosi tanah, serta pergerakan sedimen menuju ke arah sungai. Oleh karena itu, daerah pegunungan yang memiliki lereng curam mempunyai potensi lebih besar mengalami longsor saat hujan lebat, terutama jika berdampingan dengan intensitas hujan tinggi dan perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan kemampuan tanah menyerap air berkurang.

d. Kerusakan Vegetasi

Vegetasi memiliki peran sangat penting dalam mengatur siklus air yaitu melalui proses intersepsi air hujan sehingga dapat meningkatkan infiltrasi tanah, serta mengurangi limpasan permukaan pada daerah aliran sungai (DAS). Kerusakan pada daerah aliran sungai menjadi salah satu faktor yang dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir bandang. Ketika tutupan vegetasi berkurang akibat penebangan hutan, alih fungsi lahan, atau degradasi lingkungan, kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan air hujan akan menurun sehingga aliran permukaan menuju sungai menjadi lebih cepat. Menurut Bruijnzeel (2021), vegetasi berfungsi sebagai pengatur aliran air di kawasan hulu sungai karena sistem perakaran tanaman yang mampu memperkuat struktur tanah dan meningkatkan kapasitas resapan air. Oleh karena itu, kerusakan vegetasi di kawasan hulu sungai dapat mempercepat peningkatan debit aliran sungai serta meningkatkan risiko terjadinya banjir bandang.

2.4. Peran Lanskap Dalam Mitigasi Banjir

2.4.1. Konsep Natur-based Solutions

Nature-based Solutions (NbS) merupakan pendekatan dalam pengelolaan lingkungan yang memanfaatkan proses alami dari ekosistem untuk mengatasi berbagai permasalahan lingkungan dan sosial secara berkelanjutan. Pendekatan ini fokus pada penggunaan fungsi alami seperti vegetasi, tanah, dan sistem air untuk meningkatkan kemampuan lingkungan dalam menghadapi bencana. Menurut Cohen Shacham *et al.* (2020), solusi berbasis alam yaitu salah satu upaya untuk melindungi, secara efektif sekaligus memberikan manfaat kepada masyarakat serta keragaman hayati. Dalam upaya pengelolaan kawasan sungai penerapan melalui pendekatan pembangunan berbasis ekosistem (NbS) dapat dilakukan dengan cara memulihkan vegetasi di tepi sungai, membangun ruang terbuka hijau, serta melestarikan area resapan air guna mengurangi kemungkinan terjadinya banjir.

2.4.2 Vegetasi Sebagai Pengendali Limpasan

Keberadaan vegetasi sangat mempengaruhi karena vegetasi memiliki peran penting dalam mengendalikan aliran air di permukaan dengan beberapa proses hidrologi seperti menangkap

air hujan, meningkatkan kemampuan tanah menyerap air, serta mengurangi laju aliran. Keberadaan vegetasi mampu menahan sebagian air hujan pada tajuk tanaman sebelum mencapai permukaan tanah sehingga mengurangi volume limpasan yang langsung mengalir ke sungai. Menurut Bonan (2021), vegetasi berfungsi sebagai komponen penting dalam sistem hidrologi karena mampu meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah serta menurunkan laju limpasan permukaan. Oleh karena itu, keberadaan vegetasi yang baik pada kawasan hulu dan sempadan sungai dapat membantu memperlambat aliran air serta mengurangi potensi terjadinya banjir bandang.

2.4.3 Ruang Terbuka Hijau Sebagai Zona Penyangga

Ruang Terbuka Hijau (RTH) merupakan area terbuka yang didominasi oleh vegetasi dan memiliki fungsi ekologis, sosial, serta estetika dalam suatu wilayah. Secara ekologis, RTH berperan sebagai zona penyangga yang mampu meningkatkan kapasitas resapan air, mengurangi limpasan permukaan, serta menjaga keseimbangan lingkungan perkotaan. Menurut Kabisch *et al.* (2021), ruang terbuka hijau dapat berfungsi sebagai infrastruktur hijau yang mendukung pengelolaan air hujan secara alami melalui peningkatan infiltrasi dan penyimpanan air sementara. Pada kawasan riparian, keberadaan ruang terbuka hijau di sepanjang sempadan sungai berfungsi sebagai zona peralihan ekologis yang membantu menahan sedimen, memperlambat aliran air, serta mengurangi risiko banjir bandang.

2.5. Prinsip Perencanaan Lanskap Riparian

2.5.1. Zona Penyangga

Zona penyangga merupakan area yang berada di antara dua sistem lingkungan yang berbeda dan berfungsi untuk melindungi area inti dari gangguan luar. Pada kawasan sungai, zona penyangga umumnya berupa vegetasi yang berada di sepanjang tepi sungai dan berfungsi untuk menyaring sedimen, nutrisi, serta polutan sebelum masuk ke badan air. Menurut Naiman dan Décamps (2020), zona penyangga riparian memiliki peran penting dalam menjaga kualitas air, menstabilkan tebing sungai, serta mengurangi dampak limpasan permukaan. Oleh karena itu, keberadaan zona vegetasi sebagai penyangga menjadi salah satu strategi penting dalam pengelolaan lanskap riparian untuk mendukung mitigasi banjir dan erosi.

2.5.2 Vegetasi Penahan Erosi

Vegetasi memiliki peran penting dalam mengurangi erosi tanah melalui sistem perakaran yang mampu memperkuat struktur tanah serta menahan pergerakan partikel tanah akibat aliran air. Tajuk tanaman juga berfungsi mengurangi energi jatuhnya air hujan sehingga mengurangi proses pengikisan tanah di permukaan. Menurut Morgan (2020), vegetasi merupakan salah satu faktor utama dalam pengendalian erosi karena mampu meningkatkan stabilitas tanah dan mengurangi kecepatan aliran permukaan. Dengan demikian, keberadaan vegetasi pada kawasan riparian sangat penting untuk menjaga kestabilan tanah dan mengurangi potensi sedimentasi pada sungai.

2.5.3 Sistem Resapan Air

Sistem resapan air merupakan mekanisme alami atau buatan yang memungkinkan air hujan meresap ke dalam tanah sehingga mengurangi limpasan permukaan. Proses infiltrasi ini

berperan penting dalam menjaga keseimbangan siklus hidrologi serta mengurangi potensi terjadinya banjir. Menurut Fletcher *et al.* (2021), sistem resapan air merupakan bagian dari pendekatan pengelolaan air berbasis ekologi yang bertujuan meningkatkan infiltrasi dan penyimpanan air di dalam tanah. Dalam konteks perancangan lanskap riparian, penerapan sistem resapan air dapat dilakukan melalui penggunaan vegetasi, area permeabel, serta pengelolaan ruang terbuka hijau untuk meningkatkan kapasitas resapan air di kawasan sungai.

2.5.4 Stabilitas Tebing Sungai

Stabilitas tebing sungai merupakan kondisi dimana struktur tebing mampu menahan tekanan aliran air dan mencegah terjadinya longsor atau erosi tebing. Faktor yang mempengaruhi stabilitas tebing antara lain karakteristik tanah, kemiringan lereng, serta keberadaan vegetasi. Menurut Collison (2020), sistem perakaran vegetasi riparian memiliki peran penting dalam meningkatkan kekuatan tanah dan menjaga stabilitas tebing sungai terhadap tekanan hidrolik aliran air. Oleh karena itu, pengelolaan vegetasi di sepanjang tepi sungai menjadi salah satu strategi penting dalam menjaga kestabilan morfologi sungai sekaligus mengurangi risiko kerusakan akibat banjir bandang.

2.6. Landasan Teori

2.6.1 Lanskap Ekologi

Menurut Richard T. T. Forman dan Michel Godron (1986), lanskap tersusun atas tiga elemen utama, yaitu patch, corridor, dan matrix yang saling berinteraksi dalam membentuk struktur ekologi. Patch merupakan unit ruang yang relatif homogen, corridor berfungsi sebagai jalur penghubung antar patch, sedangkan matrix merupakan elemen dominan yang mengelilingi lanskap.

Dalam kawasan riparian, sungai berperan sebagai lanskap ekologis yang menghubungkan berbagai patch vegetasi di sekitarnya. Sementara itu, penggunaan lahan seperti pertanian dan permukiman berperan sebagai matrix yang mempengaruhi tingkat konektivitas ekologis. Oleh karena itu, pendekatan struktur lanskap ini digunakan dalam perancangan untuk meningkatkan konektivitas ekologis melalui penguatan vegetasi riparian sebagai patch serta pengoptimalan fungsi sungai sebagai corridor, sehingga mampu memperlambat aliran air dan mengurangi risiko banjir bandang.

2.6.2. Ekosistem Riparian

Penelitian ini mengacu pada teori ekosistem riparian yang dikemukakan oleh Naiman *et al.*, (2020). Teori tersebut menjelaskan bahwa zona riparian dapat dilihat sebagai area transisi yang menghubungkan ekosistem daratan dan perairan sungai. Zona ini memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologis dan hidrologis suatu kawasan. Area ini berfungsi sebagai penyangga alami yang mampu menahan, menyaring, dan mengatur aliran air sebelum masuk ke badan sungai sekaligus menjadi habitat penting bagi berbagai organisme. Kawasan riparian merupakan ekoton yang memiliki fungsi ekologis strategis dalam menjaga stabilitas sistem sungai. Teori ini relevan karena dalam penelitian ini, kondisi kawasan riparian di hulu Sungai Brantas yang mengalami degradasi akibat aktivitas pembangunannberpotensi menurunkan fungsi penyangga hidrologis alami, sehingga diperlukan pendekatan perancangan

lanskap riparian untuk memulihkan fungsi ekologis tersebut sebagai bagian dari strategi mitigasi banjir bandang.

2.6.3 Mitigasi Bencana Berbasis Ekosistem

Penelitian ini mengacu pada teori Mitigasi Bencana Berbasis Ekosistem yang diperkenalkan oleh UNDRR (2022). Teori tersebut menjelaskan bahwa Disaster Risk Reduction (Eco-DRR) adalah pendekatan dalam mengurangi risiko bencana yang memanfaatkan fungsi serta keanekaragaman hayati sebagai bagian dari strategi mitigasi dan adaptasi bencana. Pendekatan ini menekankan pemanfaatan proses alami ekosistem sebagai alternatif atau pelengkap terhadap infrastruktur konvensional yang bersifat teknis. Eco-DRR memanfaatkan jasa ekosistem untuk meningkatkan ketahanan lingkungan terhadap berbagai risiko bencana secara berkelanjutan. Teori ini relevan karena perancangan lanskap riparian di hulu Sungai Brantas dapat dipahami sebagai penerapan pendekatan Eco-DRR, yaitu dengan mengoptimalkan fungsi vegetasi, zona penyangga, dan sistem resapan alami untuk mendukung mitigasi banjir bandang secara ekologis. Hal ini disebabkan karena penutupan lahan, khususnya okupasi lahan terbangun pada zona riparian menyebabkan hilangnya kemampuan riparian untuk menahan aliran sungai, yang memperburuk dampak banjir di hilir serta hilangnya fungsi konservasi dan keanekaragaman hayati (Noviandi, 2016).

2.6.4 Perancangan Lanskap Riparian

Teori perancangan lanskap riparian yang dikemukakan oleh Ahern, J. (2007) menekankan pentingnya menggabungkan aspek abiotik, biotik, dan aspek budaya dalam merancang area tepi sungai sebagai infrastruktur hijau yang mampu menyesuaikan diri dengan perubahan dinamika air. Dalam penelitian ini, teori tersebut diterapkan pada kawasan hulu Sungai Brantas di Kota Batu dengan cara melakukan penataan zonasi, pengembangan sistem resapan air, serta restorasi vegetasi di tepi sungai. Hal ini akan menciptakan desain lanskap yang tidak hanya menarik secara estetika tetapi juga memiliki fungsi sebagai bentuk strategi untuk mengurangi resiko banjir bandang.

2.6.5 Pengelolaan Daerah Aliran Sungai DAS

Teori Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dikemukakan oleh Asdak (2018) dipahami sebagai suatu kesatuan sistem lingkungan yang utuh, dari hulu ke hilir yang melibatkan interaksi komponen antara vegetasi, tanah, air dan kegiatan manusia. Pendekatan ini menggarisbawahi pentingnya mengelola daerah hulu karena kondisi di wilayah hulu sangat berpengaruh terhadap jumlah dan kualitas air yang mengalir ke daerah hilir. Pengelolaan daerah aliran sungai yang dilakukan secara terpadu bertujuan untuk menjaga keseimbangan fungsi hidrologi melalui pengelolaan lahan dan vegetasi secara berkelanjutan (Ridwan & Sarjito, 2024). Teori ini relevan karena kawasan hulu Sungai Brantas di Kota Batu memiliki peran strategis dalam mengendalikan aliran air dan potensi banjir, sehingga analisis kondisi lanskap riparian menjadi penting sebagai dasar dalam merumuskan konsep perancangan lanskap yang mendukung mitigasi banjir bandang.

2.6.6 Water Sensitive Urban Design

Konsep Water Sensitive Urban Design (WSUD) dijelaskan secara komprehensif oleh Wong (2006) melalui paradigma perancangan kawasan perkotaan yang mengintegrasikan pengelolaan siklus hidrologi ke dalam bentukan ruang. Pendekatan ini berbeda dari drainase konvensional yang berorientasi mengalirkan air secepat mungkin keluar dari kawasan terbangun; WSUD justru mengarahkan air untuk ditahan (retention), diresapkan (infiltration), disaring (filtration), dan dimanfaatkan kembali (reuse) sedekat mungkin dengan titik jatuhnya. Keempat prinsip ini menjadi dasar konseptual bagi konsep tiga lapisan penyangga riparian yang dikembangkan pada penelitian ini: Lapisan Inti (0 -10 m), Lapisan Filter (10 -20 m), dan Lapisan Infiltrasi (20 - 30 m ke atas) karena setiap lapisan pada dasarnya adalah penerjemahan spasial dari satu atau lebih fungsi hidrologi WSUD tersebut ke dalam jarak tertentu dari tepi sungai. Relevansi prinsip WSUD terhadap koridor hulu Sungai Brantas di Kota Batu tidak berdiri sendiri, melainkan berkaitan langsung dengan karakteristik fisik kawasan penelitian. Topografi Kecamatan Bumiaji yang didominasi lereng curam dengan rentang ketinggian 964 - 1.351 mdpl menyebabkan limpasan permukaan (surface runoff) mengalir cepat menuju badan sungai tanpa sempat meresap ke dalam tanah. Kondisi ini menjadikan prinsip infiltrasi WSUD sangat relevan diterapkan pada Lapisan Infiltrasi, yang berfungsi memperlambat dan meresapkan air sebelum mencapai badan sungai. Sementara itu, prinsip filtrasi WSUD diterjemahkan pada Lapisan Filter melalui vegetasi berbasis bioengineering, sedangkan prinsip retensi diakomodasi pada Lapisan Inti yang berfungsi menstabilkan tepi sungai sekaligus menahan sedimen.

Ergan dan Gormus (2026) mengembangkan kerangka WSUD berbasis lanskap yang secara eksplisit memposisikan disiplin arsitektur lanskap sebagai penata logika spasial yang menghubungkan infrastruktur hijau-biru, ambang batas lanskap, dan morfologi perkotaan dalam perencanaan yang sensitif terhadap air. Kerangka ini disusun melalui dua tahap: analisis spasial berbasis GIS terhadap topografi, hidrologi, dan curah hujan untuk mengidentifikasi kawasan rawan banjir, kemudian pencocokan karakteristik spasial spesifik lokasi dengan kapasitas fungsional inti WSUD (retensi, infiltrasi, evapotranspirasi, konveyansi, dan pemanenan air). Pendekatan dua tahap ini relevan digunakan sebagai acuan metodologis pada penelitian ini, mengingat penentuan konsep tiga lapisan penyangga riparian pada tujuh titik pengamatan juga didasarkan pada pencocokan antara karakteristik topografi tiap zona dengan fungsi hidrologi yang ingin dicapai, bukan sekadar penerapan jarak sempadan yang seragam. Wong dan Brown (2009) selanjutnya mengembangkan konsep WSUD menjadi paradigma Water Sensitive City (WSC), yaitu kota yang mampu mewujudkan pengelolaan air perkotaan secara berkelanjutan dengan menyeimbangkan fungsi drainase, konservasi, dan kualitas lingkungan hidrologis dalam satu kesatuan sistem. Paradigma ini relevan digunakan sebagai kerangka berpikir pada penelitian ini karena kawasan hulu Sungai Brantas di Kota Batu tidak dapat dipandang sebagai unit terisolasi, melainkan sebagai bagian hulu dari sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas yang kondisinya berdampak langsung terhadap kawasan di bagian tengah dan hilir, termasuk potensi banjir bandang.

Berbagai kajian literatur turut memperkuat dasar penerapan WSUD pada penelitian ini. Green *et al.* (2021) menjelaskan bahwa penerapan infrastruktur hijau (green infrastructure) terbukti efektif dalam mengurangi volume limpasan permukaan dan memperbaiki kualitas air pada kawasan perkotaan, meskipun efektivitasnya sangat bergantung pada kesesuaian desain dengan kondisi hidrologi setempat. Temuan ini relevan diterapkan pada Lapisan Filter dan

Lapisan Infiltrasi penelitian ini, mengingat kedua lapisan tersebut dirancang menggunakan vegetasi berfungsi ganda sebagai penahan erosi sekaligus penyaring limpasan sebelum masuk ke badan sungai.

Tao *et al.* (2025) menunjukkan melalui eksperimen lapangan berskala besar bahwa jenis penutup vegetasi memberikan pengaruh berbeda-beda terhadap laju infiltrasi hujan dan stabilitas lereng; vegetasi herba terbukti meningkatkan infiltrasi kumulatif, sementara vegetasi semak menurunkannya, sehingga pemilihan jenis vegetasi tidak dapat digeneralisasi dan harus disesuaikan dengan karakteristik lereng setempat. Temuan ini menjadi dasar empiris bagi pemilihan vegetasi bioengineering pada Lapisan Filter dan Lapisan Infiltrasi di tujuh titik pengamatan penelitian ini, khususnya pada titik-titik yang berada di Area Atas dengan karakteristik lereng curam.

Sejalan dengan hal tersebut, van der Meulen, van Dorst, dan Kuzniecowa Bacchin (2023) menekankan bahwa efektivitas penerapan WSUD sangat dipengaruhi oleh kekhususan konteks (context specificity) suatu kawasan, sehingga strategi yang berhasil pada satu kota atau kawasan tidak dapat diterapkan secara seragam pada kawasan lain tanpa penyesuaian terhadap karakteristik spasial dan sosial setempat. Hal ini menjadi pertimbangan utama dalam penentuan rekomendasi vegetasi dan konsep desain pada masing-masing zona penelitian (Area Atas, Tengah, dan Bawah), karena karakteristik topografi dan jenis tanah pada ketiga zona tersebut berbeda satu sama lain.

Sejalan dengan perkembangan konsep WSUD, konsep performance-based zoning yang pertama kali dirumuskan secara kritis oleh Jaffe (1993) relevan digunakan sebagai pelengkap pengaturan ruang berbasis peruntukan (use-based zoning) yang selama ini umum digunakan. Pendekatan ini menekankan standar kinerja terukur sebagai dasar pengaturan, alih-alih semata-mata mengacu pada kategori peruntukan lahan. Pendekatan ini relevan digunakan pada penelitian ini karena penyangga riparian tiga lapisan yang dirancang tidak menetapkan batas berdasarkan peruntukan administratif semata, melainkan berdasarkan performa hidrologis yang ingin dicapai pada setiap jarak dari tepi sungai - sehingga sejalan dengan semangat performance-based zoning yang mengutamakan keluaran fungsional dibanding sekadar kesesuaian kategori penggunaan lahan.

Dengan mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tahun 2011 tentang Sungai, yang mengatur ketentuan sempadan sungai sebagai kawasan lindung, penerapan prinsip-prinsip WSUD pada penelitian ini memperkuat fungsi ekologis sempadan tersebut dengan menambahkan dimensi kinerja hidrologis yang terukur pada setiap lapisan penyangga, tanpa bertentangan dengan ketentuan jarak sempadan yang telah ditetapkan secara normatif.

Secara keseluruhan, sintesis teori WSUD di atas menunjukkan bahwa mitigasi banjir bandang di kawasan hulu Sungai Brantas Kota Batu tidak dapat hanya mengandalkan pendekatan struktural konvensional, melainkan memerlukan pendekatan lanskap yang mengintegrasikan fungsi retensi, filtrasi, dan infiltrasi secara berjenjang sesuai jarak dari badan sungai. Kondisi topografi curam dan intensitas hujan tinggi di kawasan hulu menyebabkan air mengalir cepat menuju badan sungai dengan membawa volume limpasan dan sedimen yang besar; apabila tidak dikendalikan sejak di kawasan hulu, kondisi tersebut berpotensi meningkatkan risiko banjir bandang di kawasan tengah dan hilir Sungai Brantas.