

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Sungai

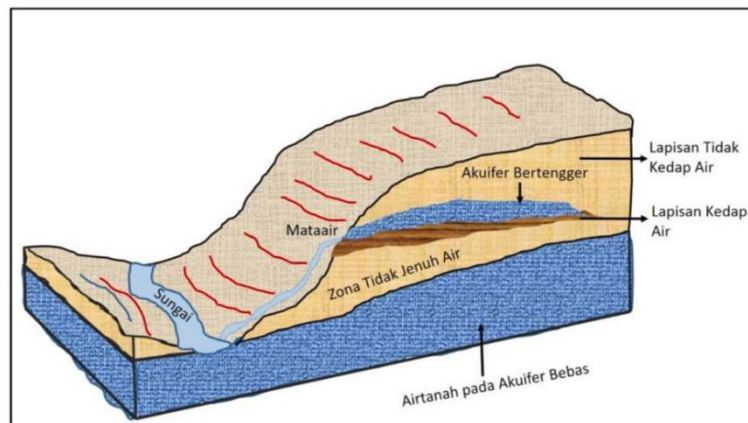
Tinjauan umum sungai adalah pembahasan dasar yang menjelaskan sungai sebagai sistem aliran air alami beserta karakteristik, bagian, dan proses yang terjadi di dalamnya, yang menjadi landasan penting dalam analisis hidrologi maupun perencanaan teknik sungai.

2.1.1 Pengertian Sungai

Sungai adalah wadah air alami atau buatan berupa jaringan pengaliran air didalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan (Putra et al., 2016).

2.1.2 Klasifikasi Sungai

Klasifikasi sungai adalah pengelompokan sungai berdasarkan karakteristik tertentu seperti sumber air, pola aliran, ntuk saluran, kemiringan, debit, serta kondisi geomorfologi. Tujuan klasifikasi ini adalah untuk memudahkan analisis hidrologi, perencanaan bangunan air, serta pengelolaan sungai agar lebih efektif dan sesuai dengan kondisi lapangan.



Gambar 2.1 Klasifikasi Sungai

Sumber : *hidrologi.net* (2014)

2.1.3 Karakteristik Aliran Sungai

Karakteristik aliran sungai adalah sifat-sifat fisik dan hidraulik aliran air pada sungai yang dipengaruhi oleh kondisi geometri, kemiringan, material dasar, dan debit aliran.

Menurut penelitian, setiap sungai memiliki karakteristik berbeda karena dipengaruhi oleh faktor seperti luas penampang, kedalaman, kecepatan, dan kemiringan dasar sungai (Usman et al., 2018).



Gambar 2.2 *Karakteristik Sungai*

Sumber : *slideshare.net*

Gambar di atas menunjukkan:

- Penampang sungai
- Distribusi kecepatan aliran
- Perubahan karakter dari hulu ke hilir

2.1.4 Fungsi dan Peran Sungai



Gambar 2.3 *Faktor Yang Mempengaruhi Siklus Hidrologi*

Sumber : *salamadian.com*

- Fungsi Hidrologis (Pengatur Tata Air)

Sungai menjadi penyedia air untuk kebutuhan sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci, dan memasak, terutama di wilayah yang tidak memiliki akses air bersih.

b. Jalur Transportasi

Di sejumlah tempat, sungai berfungsi sebagai rute transportasi penting untuk mengangkut manusia dan barang, misalnya di kawasan pedalaman atau daerah yang berlumpur.

c. Pendukung Ekonomi

Sungai berkontribusi sebagai sumber mata pencaharian, seperti untuk menangkap ikan, kegiatan pertanian (irigasi), dan usaha lainnya.

d. Irigasi Pertanian

Air dari sungai dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian sehingga dapat mendukung produksi pangan.

e. Pengendalian Banjir dan Sirkulasi Air

Sungai membantu mengalirkan air hujan menuju laut sehingga memperkecil risiko banjir dan mempertahankan keseimbangan sirkulasi air.

2.2 Tebing Sungai dan Permasalahannya

Tebing sungai adalah bagian penting dari sistem sungai yang berfungsi menjaga kestabilan aliran. Namun, tebing sangat rentan terhadap erosi, longsor, dan gangguan manusia sehingga memerlukan penanganan seperti perlindungan tebing (revetment, bronjong, dll).

2.2.1 Pengertian Tebing Sungai

Tebing sungai adalah bagian sisi kiri dan kanan alur sungai yang membatasi badan sungai, biasanya berupa lereng tanah atau batuan yang terbentuk akibat proses geomorfologi seperti erosi, sedimentasi, dan aliran air.



Gambar 2.4 *Ilustrasi Tebing Sungai*

Sumber : <https://en.ac-illustr.com>

2.2.2 Faktor Penyebab Kerusakan/Longsor Tebing

Faktor	Dampak
Kecepatan aliran tinggi	: Erosi kuat di sisi luar tikungan
Kelengkungan sungai	: Memperbesar gaya gerusan
Kemiringan tebing	: Mempermudah longsor
Jenis tanah	: Menentukan ketahanan terhadap erosi
Curah hujan	: Menambah tekanan air dalam tanah
Fluktuasi air	: Mengganggu kestabilan tebing
Aktivitas manusia	: Mempercepat kerusakan

2.2.3 Mekanisme Kelongsoran Tebing Sungai Kali

Kelongsoran tebing sungai adalah runtuhnya massa tanah pada tebing sungai akibat ketidakstabilan lereng yang dipicu oleh erosi aliran air, gaya gravitasi, dan kondisi tanah.

Secara umum, prosesnya terjadi dalam beberapa tahapan berikut:

1. Kecepatan aliran tinggi
2. Kemiringan tebing curam
3. Material tanah lepas (pasir, lanau)
4. Curah hujan tinggi

2.3 Jenis – jenis Pengaman Tebing Sungai

1. Revetment Batu (*Riprap*)

Revetment adalah lapisan pelindung yang terbuat dari batu pecah atau batu kali yang disusun pada permukaan tebing. Struktur ini berfungsi menyerap energi aliran dan melindungi tanah di belakangnya dari erosi. Keunggulannya adalah fleksibel dan permeabel, namun membutuhkan material batu dalam jumlah besar.



Gambar 2.5 *Revetment Batu*

Sumber : <https://www.climatehubs.usda.gov>

2. Bronjong (Gabion)

Bronjong adalah struktur berbentuk kotak dari kawat baja berlapis anti karat yang diisi dengan batu. Bronjong banyak digunakan karena memiliki fleksibilitas tinggi, permeabel terhadap air, dan mampu menyesuaikan terhadap penurunan tanah. Struktur ini efektif untuk menahan longsor dan mengurangi tekanan air pori pada tebing.



Gambar 2.6 *TPT Bronjong*
Sumber : *wordpress.com*

3. Revetment Beton

Revetment beton merupakan salah satu jenis struktur pengaman tebing yang banyak digunakan dalam proyek perlindungan sungai dan pantai. Struktur ini dirancang untuk menyerap energi aliran air dan melindungi tebing dari erosi serta longsor.



Gambar 2.7 *Revetment Beton*
Sumber : <https://www.istockphoto.com>

4. Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) vetment Beton

Dinding penahan tanah (retaining wall) dan revetment beton merupakan dua jenis struktur yang sering digunakan dalam pengamanan tebing sungai.

Meskipun memiliki fungsi yang mirip, keduanya memiliki perbedaan mendasar dalam prinsip kerja dan aplikasinya. Bab ini akan membahas secara detail yang menjadi bagian penting dalam perencanaan pengaman tebing.



Gambar 2.8 vetment Beton

Sumber : <https://dpwh.gov.ph/>

2.4 Bronjong Sebagai Bangunan Pengaman Tebing

2.4.1 Definisi dan Karakteristik Bronjong

Bronjong (gabion) merupakan konstruksi berupa anyaman kawat yang berbentuk kotak atau silinder yang diisi dengan batu-batuan. Istilah "gabion" berasal dari bahasa Italia "gabbione" yang berarti "sangkar besar". Dalam praktik teknik sungai, bronjong berfungsi sebagai struktur penahan tanah (retaining wall) yang bersifat fleksibel, berbeda dengan dinding penahan tanah kaku seperti beton. Karakteristik utama bronjong yang menjadikannya populer dalam aplikasi pengaman tebing antara lain:

1. **Fleksibilitas:** Bronjong mampu menyesuaikan diri terhadap penurunan atau pergerakan tanah tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Sifat ini sangat menguntungkan pada kondisi tanah yang kurang stabil atau mengalami proses konsolidasi.
2. **Permeabilitas:** Struktur bronjong yang berongga memungkinkan air dapat merembes melaluinya, sehingga mengurangi tekanan air pori di belakang struktur (tegangan air pori). Hal ini berbeda dengan struktur beton kedap air yang dapat menahan aliran air tanah dan menciptakan tekanan hidrostatik yang besar.

3. Durabilitas: Material kawat yang dilapisi anti karat (galvanis atau PVC coated) memberikan ketahanan terhadap korosi, sementara isian batu memiliki ketahanan alami terhadap cuaca dan aliran air.
 4. Ekonomis: Bronjong relatif lebih murah dibandingkan struktur beton karena material batu seringkali tersedia secara lokal dan proses pemasangan tidak memerlukan keahlian khusus atau peralatan berat.
- Ramah lingkungan: Struktur bronjong memungkinkan tumbuhnya vegetasi di sela-sela batu seiring waktu, yang dapat meningkatkan estetika dan fungsi ekologis.

2.4.2 Komponen Bronjong

Bronjong terdiri atas beberapa komponen utama:

- a. Kawat anyam (wire mesh): Kawat baja dengan lapisan anti karat yang dianyam membentuk mata jaring (bukaan). Ukuran mata jaring bervariasi, umumnya antara $6\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ hingga $10\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ tergantung pada ukuran batu isian.
- b. Kawat tepi (selvedge): Kawat dengan diameter lebih besar yang mengelilingi tepi anyaman untuk memberikan kekuatan pada sambungan.
- c. Kawat pengikat (lacing wire): Kawat yang digunakan untuk mengikat antar panel bronjong atau antar bronjong yang disusun bertingkat.
- d. Pengisi (fill material): Batu pecah atau batu kali dengan ukuran yang sesuai, umumnya 1,5 hingga 2 kali ukuran mata jaring, dengan kekerasan yang baik dan tahan terhadap pelapukan.
- e. Geotekstil (opsional): Kain sintetis yang dipasang di antara tanah tebing dan bronjong untuk mencegah lolosnya partikel tanah halus melalui rongga bronjong (pipung).

2.4.3 Dimensi Bronjong

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada perencanaan perkuatan tebing sungai di berbagai lokasi, dimensi bronjong yang umum digunakan bervariasi tergantung pada kebutuhan. Di Sungai Subang, Desa Bulaklo, digunakan bronjong dengan dimensi $2\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ dengan kapasitas 1 m^3 .

2.5 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan Tanah lateral merupakan gaya horizontal yang dihasilkan oleh tanah terhadap sebuah struktur. Gaya ini memiliki peranan yang krusial dalam perancangan struktur penahan tanah, seperti dinding penahan, ruang bawah tanah, terowongan, dan pondasi dalam. Berbagai faktor mempengaruhi tekanan tanah lateral, termasuk karakteristik tanah (seperti sudut geser dalam dan kohesi) dan kondisi dinding penahan (seperti pergerakan dan tekanan vertikal yang efektif). Analisis terhadap tekanan tanah lateral diterapkan untuk merancang dinding penahan tanah dan struktur penahan lainnya, seperti fondasi jembatan, turap, terowongan, dan saluran beton yang terpendam. Tekanan tanah lateral dihasilkan dari dorongan tanah yang berada di belakang struktur penahan tanah. Nilai tekanan lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan posisi (displacement) dari dinding penahan dan sifat-sifat tanah yang ada.

2.5.1 Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanah. Jika dinding gabion pada gambar 3.1 mengalami kegagalan atau bergerak ke arah liar dari tanah urug di belakangnya, maka tanah urug juga akan dalam kondisi runtuh.

Pada saat runtuh ini, tanah urug bergerak ke bawah dan ke samping menekan dinding gabion. Tekanan seperti ini disebut tekanan tanah aktif (active earth pressure), sedangkan nilai banding tekanan horizontal dan tekanan vertikal yang terjadi, didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif (coefficient of active earth pressure) yang dinotasikan dengan K_a .

1. Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

2. Pengurangan tekanan tanah akibat pengaruh kohesi

$$-2c\sqrt{K_a}$$

3. Tekanan Tanah Aktif

$$P_a = \gamma \cdot H \cdot K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$P_{ah} = P_a \cdot \cos\beta$$

4. Panjang lengan

$$da = \frac{\left[\left(\frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \right) \left(\frac{1}{3} h \right) + (q h K_a) \left(\frac{1}{2} h \right) \right]}{P_{a_{tot}}}$$

5. Momen tekanan tanah aktif

$$M_a = d_a \times P_{ah}$$

2.5.2 Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif merujuk pada tekanan yang dihasilkan ketika dinding penahan tanah terdorong ke arah material pengisi, yang menyebabkan tanah memberikan penolakan terhadap pergerakan tersebut. Jika ada gaya yang mendorong dinding penahan menuju tanah urugan hingga material tersebut mengalami keruntuhan, tekanan tanah pada situasi ini dikenal sebagai tekanan tanah pasif. Dalam hal ini, rasio antara tekanan horizontal dan tekanan vertikal yang muncul disebut sebagai koefisien tekanan tanah pasif, yang disimbolkan dengan K_p . Besaran tekanan tanah pasif jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai koefisien saat kondisi aktif, dan tekanan tanah pasif menggambarkan batas tertinggi dari gaya yang dapat dihasilkan oleh tanah saat struktur penahan bergerak terhadap material pengisi, yaitu gaya yang melawan tanah sebelum dinding mengalami kerusakan.

1. Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

2. Pengurangan tekanan tanah akibat pengaruh kohesi

$$2c\sqrt{K_p}$$

3. Tekanan Tanah Aktif

$$P_p = \gamma \cdot H \cdot K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

$$P_{ph} = P_p \cdot \cos\beta$$

4. Panjang lengan

$$d_a = \frac{\left[\left(\frac{1}{2} \gamma h^2 K_a \right) \left(\frac{1}{3} h \right) + (q h K_a) \left(\frac{1}{2} h \right) \right]}{P_{a_{tot}}}$$

5. Momen tekanan tanah aktif

$$M_a = d_a \times P_{ph}$$

2.6 Stabilitas Lereng

2.5.1 Definisi Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng adalah kemampuan suatu lereng atau tebing untuk mempertahankan keseimbangannya terhadap gaya-gaya yang bekerja, baik gaya

internal maupun eksternal. Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mengetahui angka keamanan (faktor keamanan) suatu lereng terhadap kemungkinan terjadinya kelongsoran.

Dalam konteks bangunan pengaman tebing sungai, stabilitas lereng menjadi faktor yang sangat penting karena konstruksi bronjong akan berinteraksi langsung dengan tanah tebing yang berfungsi sebagai media pendukungnya.

2.5.2 Faktor Keamanan

Faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya-gaya yang menahan kelongsoran dengan gaya-gaya yang mendorong terjadinya kelongsoran. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

Rumus – Faktor Keamanan

$$FK = \frac{\sum M_{tahan}}{\sum M_{dorong}}$$

atau

$$FK = \frac{\sum Tahanan Geser}{\sum Gaya Penggerak}$$

Keterangan:

FK = Faktor Keamanan

$\sum M_{tahan}$ = Jumlah momen yang menahan kelongsoran (kNm)

$\sum M_{dorong}$ = Jumlah momen yang mendorong kelongsoran (kNm)

Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, nilai faktor keamanan minimum untuk stabilitas lereng pada kondisi statis adalah $FK > 1,5$.

2.5.3 Parameter Tanah yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng

Beberapa parameter tanah yang mempengaruhi stabilitas lereng antara lain:

1. Berat volume tanah (γ) – Berat tanah per satuan volume, yang dapat berupa berat volume basah (γ_b) maupun berat volume kering (γ_d).
2. Kohesi (c) – Gaya tarik menarik antar partikel tanah yang memberikan kontribusi terhadap kuat geser tanah.
3. Sudut geser dalam (ϕ) – Parameter yang menunjukkan tingkat ketahanan tanah terhadap gaya geser yang bekerja.
4. Tekanan air pori (u) – Tekanan yang ditimbulkan oleh air yang mengisi pori-pori tanah, yang dapat mengurangi kuat geser efektif tanah

Tabel 2.1 Nilai Tipikal Parameter Tanah

Jenis Tanah	Berat Volume (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	Sudut Geser Dalam (°)
Lempung lunak	15 - 17	5 – 20	0 - 10
Lempung kaku	17 – 19	20 – 50	10 - 20
Lanau	16 – 18	5 – 15	20 - 28
Pasir lepas	15 – 17	0	28 - 32
Pasir padat	17 – 19	0	32 - 40

Sumber : *Hasil Analisis Peneliti (2026)*

2.7 Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Limit Equilibrium

2.7.1 Pengertian Metode Limit Equilibrium

Metode *Limit Equilibrium* (LEM) atau metode keseimbangan batas merupakan metode yang paling umum digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Metode ini didasarkan pada konsep keseimbangan gaya dan momen pada bidang longsor yang diasumsikan. Tanah dianggap sebagai material yang mengalami deformasi plastis pada saat mencapai kondisi keseimbangan batas.

Beberapa metode yang termasuk dalam LEM antara lain:

1. Metode Ordinary (Fellenius)

Metode Ordinary atau Fellenius merupakan metode analisis stabilitas lereng yang paling sederhana dalam kelompok Limit Equilibrium Method (LEM). Metode ini dikembangkan oleh W. Fellenius (1936) dan digunakan untuk menganalisis kelongsoran berbentuk lingkaran (circular slip surface). Massa tanah yang berpotensi longsor dibagi menjadi beberapa irisan vertikal (slices), kemudian keseimbangan yang diperhitungkan hanya keseimbangan momen terhadap pusat bidang longsor.

2. Metode Bishop (Sederhana dan Terrefinasi)

a. Bishop Sederhana (Simplified Bishop)

Pada metode ini gaya geser antaririsan diabaikan, sedangkan gaya normal antaririsan tetap diperhitungkan. Perhitungan dilakukan secara iteratif hingga diperoleh nilai faktor keamanan yang memenuhi keseimbangan momen.

b. Bishop Terrefinasi (Rigorous Bishop)

Metode Bishop Terrefinasi memperhitungkan gaya normal dan gaya geser antaririsan sehingga ketelitiannya lebih tinggi dibandingkan Bishop Sederhana. Namun, karena proses perhitungannya lebih kompleks,

metode ini hampir selalu diselesaikan menggunakan perangkat lunak geoteknik.

Metode Bishop merupakan salah satu metode yang direkomendasikan dalam analisis stabilitas lereng karena mampu memberikan hasil yang baik untuk bidang longsor melingkar.

3. Metode Janbu

Metode Janbu dikembangkan oleh Nils Janbu (1954) untuk mengatasi keterbatasan metode Bishop pada bidang longsor yang tidak berbentuk lingkaran. Berbeda dengan Bishop, metode Janbu dapat digunakan untuk menganalisis bidang longsor melingkar maupun tidak melingkar (non-circular failure surface).

Metode ini memenuhi keseimbangan gaya horizontal dan vertikal, tetapi tidak secara langsung memenuhi keseimbangan momen. Oleh karena itu, digunakan suatu faktor koreksi Janbu agar hasil analisis mendekati kondisi sebenarnya.

4. Metode Spencer

Metode Spencer dikembangkan oleh Edward Spencer (1967) dan merupakan salah satu metode analisis stabilitas lereng yang paling akurat dalam kelompok Limit Equilibrium Method. Metode ini memenuhi keseimbangan gaya horizontal, gaya vertikal, dan keseimbangan momen secara bersamaan. Pada metode Spencer diasumsikan bahwa hubungan antara gaya horizontal dan vertikal antaririsan memiliki kemiringan yang tetap atau konstan.

5. Metode Morgenstern-Price

Metode Morgenstern-Price dikembangkan oleh Morgenstern dan Price (1965) dan merupakan metode yang paling lengkap dalam kelompok Limit Equilibrium Method. Metode ini memenuhi keseimbangan gaya dan keseimbangan momen secara simultan seperti Metode Spencer, tetapi distribusi gaya antaririsan tidak diasumsikan konstan.

Karena distribusi gaya antaririsan dapat dipilih sesuai kondisi lapangan, metode Morgenstern-Price dianggap sebagai metode yang paling fleksibel dan memiliki tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Oleh sebab itu, metode ini banyak digunakan dalam analisis bendungan, tebing sungai, lereng jalan, dan perencanaan perkuatan lereng menggunakan bronjong atau dinding penahan tanah.

2.8 Perangkat Lunak GeoStudio

2.7.1 Pengertian GeoStudio

GeoStudio adalah perangkat lunak (*software*) berbasis metode elemen hingga (*finite element method*) yang dikembangkan oleh GEOSLOPE International Ltd. untuk analisis geoteknik. Software ini terdiri dari beberapa modul yang dapat digunakan secara terintegrasi untuk memodelkan berbagai permasalahan geoteknik

2.7.2 Modul Dalam GeoStudio

GeoStudio terdiri dari beberapa modul utama yang masing-masing memiliki fungsi spesifik, antara lain:

1. SLOPE/W – Modul untuk analisis stabilitas lereng menggunakan metode limit equilibrium. Modul ini dapat digunakan untuk menganalisis faktor keamanan lereng alami maupun lereng dengan perkuatan.
2. SEEP/W – Modul untuk analisis aliran air tanah (rembesan) baik dalam kondisi jenuh maupun tidak jenuh.
3. SIGMA/W – Modul untuk analisis tegangan dan regangan (deformasi) pada tanah dan batuan.
4. QUAKE/W – Modul untuk analisis dinamik akibat beban gempa.
5. TEMP/W – Modul untuk analisis perpindahan panas pada tanah.
6. CTRAN/W – Modul untuk analisis transportasi kontaminan.
7. AIR/W – Modul untuk analisis aliran udara pada tanah tidak jenuh.
8. VADOSE/W – Modul untuk analisis zona tidak jenuh (*vadose zone*).

Untuk penelitian ini, modul yang akan digunakan adalah SLOPE/W karena fokus penelitian pada analisis stabilitas tebing sungai sebelum dan sesudah dipasang bronjong.

2.7.3 Penerapan GeoStudio

GeoStudio telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian terkait stabilitas lereng. Menurut penelitian Rivaldy dkk. (2025), analisis stabilitas lereng menggunakan GeoStudio terbukti lebih efektif dalam mengevaluasi berbagai kemungkinan lintasan kelongsoran serta memberikan visualisasi distribusi faktor keamanan yang lebih beragam dan akurat dibandingkan dengan analisis manual.

Penelitian lain oleh Amalia dkk. (2025) menunjukkan bahwa GeoStudio dapat digunakan untuk memperkirakan nilai faktor keamanan lereng sebagai upaya pemantauan daerah rawan longsor. Hasil analisis kemudian dapat digunakan oleh pemerintah dan masyarakat setempat untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan perencanaan mitigasi bencana tanah longsor.

Wijaya (2025) dalam tesisnya di ITB menggunakan GeoStudio (SLOPE/W dan SEEP/W) untuk mengevaluasi stabilitas lereng timbunan tinggi pada proyek jalan tol. Penelitian tersebut membandingkan lima metode LEM (Ordinary Fellenius, Janbu, Bishop, Spencer, Morgenstern-Price) dan mempertimbangkan kondisi statik, gempa, serta pengaruh curah hujan

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai perencanaan struktur pengaman tebing sungai yang menggunakan bronjong telah dilakukan oleh banyak peneliti sebelumnya. Secara umum, studi-studi ini menitikberatkan pada kestabilan struktur, dan efektivitas bronjong dalam mencegah erosi tebing.

Salah satu kajian yang dilakukan sebelumnya mengupas tentang perancangan struktur pengaman tebing di sepanjang aliran sungai dengan memanfaatkan material bronjong. Dalam kajian tersebut, direncanakan pembangunan krib semi permeabel menggunakan bronjong batu yang memiliki panjang total mencapai ratusan meter. Krib tersebut dirancang dengan panjang tertentu dan jarak antar elemen yang sudah disesuaikan dengan keadaan hidrolika di lokasi. Selain krib, juga direncanakan adanya struktur groundsill di beberapa lokasi dengan variasi ketinggian.

Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa struktur krib dan groundsill yang direncanakan aman dari gaya geser dan momen guling, serta struktur groundsill terbukti aman dari potensi gejala piping. Penelitian ini menjadi referensi yang signifikan karena metode yang digunakan (penggunaan bronjong) mirip, meskipun jenis struktur yang direncanakan berbeda dari studi ini.

Studi lain yang berkaitan telah melaksanakan analisis stabilitas lereng sungai sebelum dan setelah pemasangan bronjong. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaplikasian bronjong dapat meningkatkan faktor keamanan lereng secara drastis, dari kondisi kritis ($FK < 1,1$) menuju kondisi yang aman ($FK > 1,5$). Kenaikan faktor keamanan ini disebabkan oleh tambahan beban dari berat bronjong yang berperan sebagai

penahan, serta pengurangan tekanan air pori akibat karakteristik porus dari struktur bronjong