

Analisis Stabilitas Struktur Bronjong sebagai Dinding Penahan Tanah pada Pekerjaan Preservasi Jalan Nasional

Brama Nalendra¹, Saldi Yulistian¹, Randy Rizal¹, Syahidullah Habibie¹, Shinta Oktaviana¹, Badariah¹, Esy Solvera²

¹Program Studi Arsitektur, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Indonesia

²Program Studi Sastra Indonesia, Universitas Negeri Padang, Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas struktur bronjong terhadap tiga moda kegagalan, yaitu guling, geser, dan daya dukung tanah, pada lokasi STA 33+175 menggunakan metode Rankine untuk tekanan tanah aktif dan persamaan Terzaghi untuk kapasitas dukung. Penampang bronjong yang dianalisis memiliki tinggi 8 m dan lebar dasar 5 m dengan beban lalu lintas sebesar 15 kN/m². Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan terhadap guling sebesar 2,76 ($\geq 2,0$), terhadap geser sebesar 2,53 ($\geq 1,5$), dan terhadap daya dukung sebesar 11,43 ($\geq 3,0$), yang seluruhnya memenuhi persyaratan SNI 8460:2017 sehingga konstruksi bronjong dinyatakan aman. Kontribusi kohesi tanah asli terbukti dominan dalam tahanan geser pondasi, menyumbang lebih dari 60% dari total tahanan geser yang bekerja. Penelitian ini menghadirkan novelty berupa bukti teknis kuantitatif mengenai kinerja bronjong pada konteks penanganan longsor melalui mekanisme addendum dalam paket preservasi jalan nasional long segment di kawasan perbukitan tropis, sebuah konteks penerapan yang belum banyak terdokumentasi secara kuantitatif dalam literatur sebelumnya, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan teknis bagi penanganan lereng serupa pada ruas-ruas jalan nasional lain dengan karakteristik topografi dan geoteknik yang sebanding.

Kata Kunci: Bronjong, Dinding Penahan Tanah, Preservasi Jalan, Stabilitas Lereng

ABSTRACT

This study aims to analyze the structural stability of the gabion wall against three failure modes, namely overturning, sliding, and bearing capacity failure, at STA 33+175, applying the Rankine method for active earth pressure and Terzaghi's equation for bearing capacity. The analyzed gabion cross-section has a height of 8 m and a base width of 5 m, subjected to a traffic surcharge of 15 kN/m². The analysis results show safety factors of 2.76 against overturning (≥ 1.5), 2.53 against sliding (≥ 1.5), and 11.43 against bearing capacity failure (≥ 3.0), all of which satisfy the requirements of SNI 8460:2017, confirming the structural adequacy of the gabion construction. The native soil cohesion is shown to dominate the foundation's sliding resistance, contributing more than 60% of the total resistance. This study offers a novel contribution by providing quantitative technical evidence on gabion performance in the specific context of landslide handling through a contract addendum mechanism within a long-segment national road preservation package in a tropical hilly region, a context that remains underrepresented quantitatively in the existing literature, so that these findings may serve as a technical reference for similar slope-handling works on other national road sections with comparable topographic and geotechnical characteristics.

Keywords: Gabion, Retaining Wall, Road Preservation, Slope Stability



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*Corresponding Author:

E-Mail : bramanalendra@uinjambi.ac.id

Address : Jl. Jambi Ma. Bulian KM.16 Simpang

Sungai Duren, Kab. Muaro Jambi, Jambi.

Page: 9-21

OPEN  ACCESS

PENDAHULUAN

Jalan nasional merupakan infrastruktur vital yang menopang konektivitas antarwilayah, khususnya di Provinsi Jambi yang memiliki luas wilayah 53.435 km² dengan karakteristik topografi didominasi kawasan perbukitan dan pegunungan di bagian barat [1]. Ruas jalan nasional Bangko – Sungai Manau – Batas Kerinci – Sanggaran Agung (Ruas 034 s/d 036) sepanjang 130,93 km merupakan penghubung strategis antara Kabupaten Merangin dan Kabupaten Kerinci. Penetapan sebagai jalan nasional melalui Keputusan Menteri PUPR No. 248/KPTS/M/2015 menempatkan seluruh tanggung jawab penanganan pada Balai Pelaksanaan Jalan Nasional IV [2].

Kondisi medan berbukit dengan kemiringan lebih dari 25% menyebabkan ruas jalan ini sangat rentan terhadap kelongsoran badan jalan, terutama pada musim hujan, sebagaimana juga teridentifikasi pada jaringan jalan nasional lain di Kabupaten Kerinci dan Kota Sungai Penuh yang memiliki karakteristik topografi serupa [3]. Curah hujan tinggi merupakan salah satu pemicu utama kelongsoran pada infrastruktur jalan dan jalur transportasi lain secara umum, karena infiltrasi air hujan meningkatkan tekanan air pori sekaligus menurunkan kekuatan geser tanah timbunan maupun tanah dasar [4]. Permasalahan utama yang teridentifikasi meliputi minimnya bangunan pelengkap (drainase, bahu jalan), tidak tersedianya *clear zone*, serta posisi badan jalan yang berdekatan langsung dengan lereng terjal dan jurang. Penanganan permasalahan ini dilakukan melalui skema preservasi jalan secara *long segment*, yaitu penanganan preservasi jalan dalam batasan satu panjang segmen yang menerus (dapat mencakup lebih dari satu ruas) dengan tujuan mewujudkan kondisi jalan yang seragam, yakni mantap dan sesuai standar sepanjang segmen tersebut [5]. Dalam konteks paket preservasi jalan secara *long segment*, rehabilitasi dan perkuatan lereng merupakan komponen kritis untuk menjamin keseragaman kondisi jalan sepanjang segmen [6].

Bronjong kawat galvanis (gabion) merupakan salah satu solusi dinding penahan tanah tipe gravitasi yang telah terbukti efektif dan ekonomis untuk penanganan lereng pada berbagai konteks [7]. Berbagai penelitian telah mendokumentasikan keberhasilan bronjong sebagai perkuatan lereng jalan [8], [9], perkuatan tebing sungai [10], [11], dan perkuatan timbunan kereta api [12]. Keunggulan bronjong antara lain bersifat fleksibel, permeabel terhadap air, relatif mudah dalam pelaksanaan, serta menggunakan material batu yang tersedia secara lokal [13].

Namun demikian, gap penelitian yang teridentifikasi dari kajian literatur yaitu sebagian besar penelitian bronjong di Indonesia berfokus pada kasus perkuatan tebing sungai atau lereng bukit secara mandiri, sementara konteks penerapannya dalam paket preservasi jalan nasional *long segment* di kawasan perbukitan tropis masih sangat terbatas terdokumentasi, analisis komparatif antar variasi penampang bronjong dalam konteks beban lalu lintas belum banyak dilakukan dan pengaruh karakteristik tanah di wilayah Jambi terhadap faktor keamanan bronjong jalan nasional belum dikaji secara spesifik. Penelitian sebelumnya baru menyentuh aspek desain teknis di jalan lokal/kolektor [14], [15], sementara beban dan standar jalan nasional berbeda secara signifikan dan belum ada yang berlokasi secara khusus diruas jalan Bangko – Sungai Manau.

Novelty penelitian ini terletak pada penyediaan bukti teknis kuantitatif mengenai kinerja struktur bronjong yang diterapkan pada lokasi longsoran badan jalan di dalam paket preservasi jalan nasional secara *long segment*, sebuah konteks penerapan yang berbeda dari studi-studi bronjong terdahulu yang umumnya berlokasi di tebing sungai atau jalan lokal/kolektor. Studi ini secara khusus menganalisis penampang bronjong yang dikembangkan melalui mekanisme adendum pekerjaan pada ruas jalan lintas nasional Bangko – Sungai Manau, dengan mempertimbangkan beban lalu lintas jalan nasional Kelas I serta karakteristik tanah kohesif khas Provinsi Jambi. Dengan demikian, penelitian ini melengkapi literatur yang ada dengan bukti empiris tentang kelayakan bronjong sebagai solusi penanganan longsor pada segmen jalan lintas nasional yang rawan longsor, sekaligus menjadi acuan teknis bagi penanganan serupa pada ruas-ruas jalan lintas nasional lain dengan karakteristik topografi dan geoteknik yang sebanding. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas struktur bronjong kawat galvanis sebagai dinding penahan tanah dalam paket preservasi jalan nasional ruas Bangko – Sungai Manau (STA 33+175) menggunakan metode kesetimbangan batas, serta membuktikan pemenuhan persyaratan faktor keamanan sesuai standar nasional yang berlaku.

TINJAUAN PUSTAKA

Dinding Penahan Tanah Tipe Bronjong

Bronjong kawat (*gabion*) adalah konstruksi dinding penahan tanah berupa kotak anyaman kawat baja berlapis seng yang diisi dengan material batu alam. Berdasarkan SNI 03-0090-1999 [16], bronjong kawat dikategorikan sebagai dinding penahan tanah tipe gravitasi, di mana kestabilannya bergantung pada berat sendiri konstruksi. Sifat permeabel bronjong memungkinkan drainase alami sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatik berlebih di belakang dinding [13]. Bronjong juga memiliki kelenturan struktural yang membuatnya tahan terhadap deformasi dan dapat menyesuaikan diri terhadap penurunan tanah dasar [10]. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian laboratorium terhadap dinding bronjong terperkuat, yang menunjukkan bahwa deformasi lateral dinding bertambah secara bertahap seiring peningkatan beban siklik tanpa terjadi keruntuhan getas, sehingga struktur bronjong relatif aman digunakan pada kondisi pembebanan berulang seperti lalu lintas kendaraan [17].

Penelitian terkini menunjukkan variasi metode analisis bronjong. Metode kesetimbangan batas untuk analisis stabilitas global lereng dengan $SF = 1,70$, didahului analisis stabilitas internal bronjong (geser $SF = 3,33$; guling $SF = 11,44$; daya dukung $SF = 5,49$) [9]. Metode fellinius dan bishop untuk analisis lereng serta persamaan Terzaghi untuk kapasitas dukung, dengan rekomendasi bronjong kawat tipe 1 (tinggi 2,5 m, lebar 3 m) untuk kondisi tanpa beban tambahan [11]. Metode elemen hingga (FEM) dan *shear strength reduction* (SSR) untuk menganalisis kegagalan geser bronjong akibat gerusan, dengan penambahan mini-pile sepanjang 1,5 m sebagai perkuatan [8]. Perbandingan metode kesetimbangan batas pada tanah residual tropis juga menunjukkan bahwa metode fellinius dan bishop yang dimodifikasi dapat menghasilkan nilai faktor keamanan yang

berbeda hingga 7% pada kondisi tanah jenuh maupun tidak jenuh, sehingga pemilihan metode analisis perlu disesuaikan dengan karakteristik tanah dan tingkat kehati-hatian yang dikehendaki [18].

Tinjauan Stabilitas terhadap Guling, Geser, dan Daya Dukung

Evaluasi keamanan dinding penahan tanah tipe gravitasi, termasuk bronjong, secara umum mengacu pada tiga moda kegagalan utama, yaitu guling (*overturning*), geser (*sliding*), dan keruntuhan daya dukung tanah (*bearing capacity*) [19]. Kegagalan guling terjadi apabila momen pengguling yang ditimbulkan oleh tekanan tanah aktif dan beban luar melampaui momen penahan akibat berat sendiri struktur, sedangkan kegagalan geser terjadi apabila gaya dorong lateral melampaui tahanan geser pada bidang dasar pondasi yang bersumber dari kohesi dan gesekan tanah [19]. Perlu dicatat bahwa besaran faktor keamanan terhadap guling bergantung pada cara peninjauan momen gaya vertikal akibat tekanan tanah aktif, sehingga posisi resultan gaya pada dasar pondasi umumnya menjadi indikator yang lebih konsisten dibandingkan nilai faktor keamanan guling itu sendiri [20]. Kegagalan daya dukung terjadi apabila tegangan kontak maksimum pada dasar pondasi melampaui kapasitas dukung ultimit tanah, yang nilainya dipengaruhi oleh eksentrisitas beban akibat momen tidak simetris pada dasar pondasi. Pada kondisi batas aktif, bidang gelincir di belakang dinding penahan turut menentukan besarnya tekanan tanah yang bekerja dan, dengan demikian, turut memengaruhi faktor keamanan geser yang dihitung [21]. Ketiga tinjauan tersebut saling berkaitan, di mana geometri dinding, khususnya perbandingan lebar dasar terhadap tinggi, serta parameter kuat geser tanah timbunan dan tanah dasar, menjadi variabel utama yang menentukan besar-kecilnya faktor keamanan pada masing-masing moda kegagalan [19]. Nilai faktor keamanan minimum yang umum disyaratkan berkisar 1,5 - 2,0 untuk guling dan geser, serta 2,0–3,0 untuk daya dukung, tergantung pada standar acuan yang digunakan.

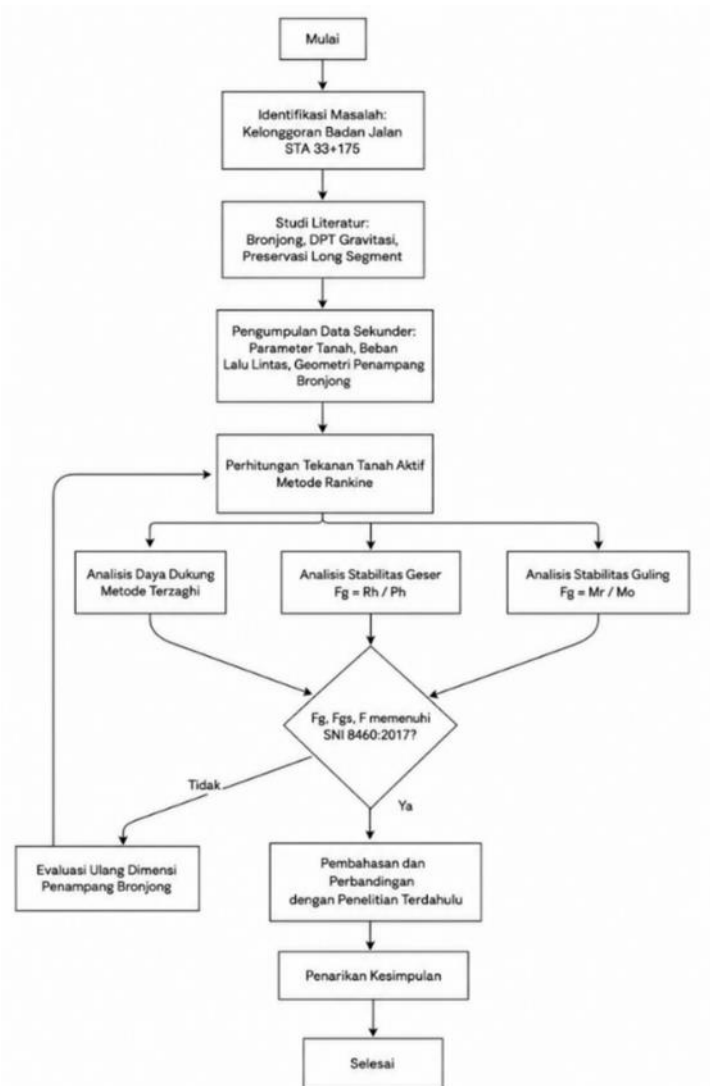
Preservasi Jalan Long Segment

Preservasi jalan secara *long segment* adalah pendekatan penanganan jalan dalam satu batasan panjang segmen yang menerus, dengan tujuan menghasilkan kondisi jalan yang seragam dan standar [5], [6]. Komponen preservasi meliputi rehabilitasi mayor, pemeliharaan rutin, rutin kondisi, *holding treatment*, dan pemeliharaan jembatan. Penanganan longsor dan perkuatan lereng merupakan bagian integral dari rehabilitasi mayor, terutama pada segmen jalan di kawasan perbukitan [9]. Berbeda dengan proyek jalan baru, pekerjaan dalam konteks preservasi sering kali memerlukan *addendum* item pekerjaan baru yang tidak tercakup dalam kontrak awal akibat kondisi lapangan yang berkembang, sebagaimana juga tercermin dalam berbagai praktik pelaksanaan proyek preservasi jalan skema long segment di wilayah lain di Indonesia [5].

METODE

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis melalui beberapa tahapan, mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan, sebagaimana disajikan pada gambar 1. Secara ringkas, penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan kelongsoran badan jalan pada lokasi studi, dilanjutkan dengan studi literatur dan pengumpulan data sekunder parameter tanah serta beban lalu lintas. Tahap inti penelitian adalah perhitungan tekanan tanah aktif menggunakan metode Rankine yang menjadi dasar bagi tiga analisis stabilitas, yaitu guling, geser, dan daya dukung. Apabila hasil analisis belum memenuhi faktor keamanan minimum sesuai SNI 8460:2017, dilakukan evaluasi ulang terhadap dimensi penampang bronjong sebelum analisis diulang kembali. Setelah seluruh kriteria keamanan terpenuhi, hasil analisis dibahas dan dibandingkan dengan penelitian terdahulu sebagai dasar penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Lokasi dan Data

Penelitian ini merupakan studi kasus pada longsor badan jalan di Ruas Bangko – Sungai Manau (N.034), STA 33+175, Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi. Ruas jalan tersebut termasuk jalan nasional Kelas I dengan beban muatan sumbu terberat 10 ton. Lokasi berada di kawasan perbukitan dengan kemiringan medan $> 25\%$ (kategori pegunungan). Data yang digunakan bersumber dari data sekunder proyek paket preservasi jalan yang dilaksanakan oleh PT. X dan disupervisi oleh PT. Y.

Parameter Analisis

Parameter tanah dan beban yang digunakan dalam analisis disajikan pada tabel 1.

Dimensi Penampang Bronjong

Penampang bronjong yang dianalisis merupakan susunan bertangga dengan dimensi total tinggi $H = 8$ m dan lebar dasar $B = 5$ m berdasarkan gambar 3. Susunan penampang terdiri atas 8 bagian (W1 – W8) dengan dimensi unit bronjong mengacu pada SNI 03-0090-1999 [16]. Bronjong dipasang pada kaki lereng badan jalan yang mengalami longsor, sehingga tanah di bagian belakang bronjong adalah tanah isian (*backfill*) dengan tanah asli (*base soil*) di bawah fondasi.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Parameter Tanah dan Beban

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tanah isian – sudut geser dalam	ϕ_1	35	derajat ($^{\circ}$)
Tanah isian – kohesi	c_1	0	kN/m ²
Tanah isian – berat volume	γ_1	18	kN/m ³
Tanah asli – sudut geser dalam	ϕ_2	30	derajat ($^{\circ}$)
Tanah asli – kohesi	c_2	60	kN/m ²
Tanah asli – berat volume	γ_2	17	kN/m ³
Beban lalu lintas (merata)	q	15	kN/m ²
Berat volume bronjong	γ_b	22	kN/m ³

Sumber: Data Diolah

Metode Analisis

Analisis stabilitas dilakukan secara analitik (manual) menggunakan tiga tinjauan yaitu Stabilitas terhadap Guling (*Overtuning*): $F_{gl} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} \geq 2,0$, Stabilitas terhadap Geser (*Sliding*): $SF_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{hl}} \geq 1,5$ dan Stabilitas terhadap Kapasitas Dukung (*Bearing Capacity*): $F = \frac{q_u}{q} \geq 3$. Tekanan tanah aktif dihitung berdasarkan teori Rankine, dengan koefisien $K_a = \frac{\sigma_p}{\sigma_v} = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$. Komponen tekanan tanah aktif meliputi: (1) Pa_1 akibat berat tanah isian, dan (2) Pa_2 akibat beban lalu lintas. Tahanan geser pondasi (R_h) memperhitungkan kohesi tanah asli ($c \cdot B$) dan gaya gesek ($W \cdot \tan \delta_b$) di bidang dasar pondasi. Kapasitas dukung dihitung berdasarkan persamaan Terzaghi untuk pondasi memanjang dengan mempertimbangkan eksentrisitas beban dan lebar efektif $B' = B - 2e$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tekanan Tanah Aktif

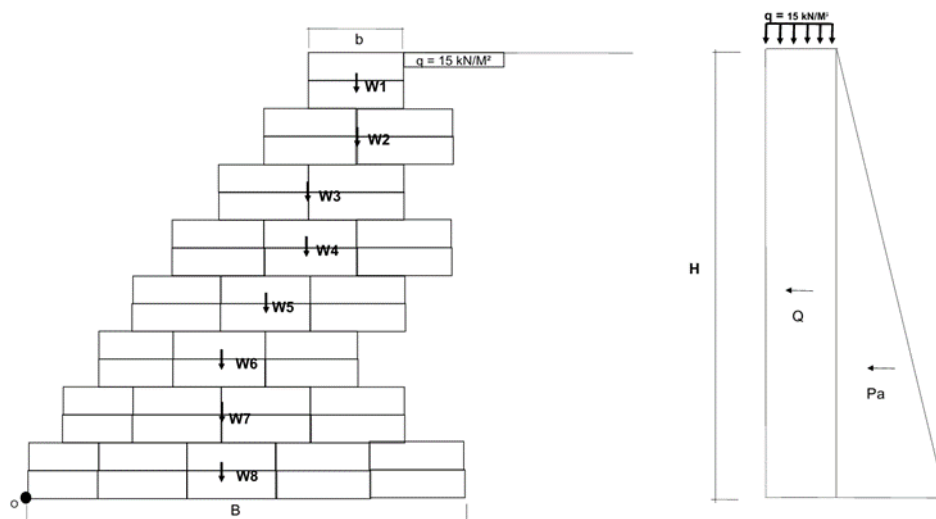
Hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap tekanan tanah aktif diperoleh hasil $K_a = 0,271$, Pa_1 (tekanan tanah aktif tanpa kohesi) = 156,090 kN/m dan $Pa_2 = 32,519$ kN/m, sedangkan untuk tekanan tanah pasif diperoleh $K_p = 3,0$.

Momen Penahan dan Momen Pengguling

Berat sendiri bronjong dan momen penahan hasil perhitungan disajikan pada tabel 2. Momen pengguling (M_o) dihitung terhadap titik tumpu depan pondasi, disajikan pada tabel 3.

Hasil Ringkasan Analisis Faktor Keamanan

Hasil analisis faktor keamanan, disajikan pada tabel 5.



Gambar 3. Penampang Bronjong

Tabel 2. Momen Penahan (M_r)

No	Volume (m ³)	Berat Sendiri (kN)	Lengan (m)	M_r (kN.m)
W1	1	22,00	4,00	88,00
W2	2	44,00	4,00	176,00
W3	2	44,00	3,50	154,00
W4	3	66,00	3,50	231,00
W5	3	66,00	3,00	198,00
W6	3	66,00	2,50	165,00
W7	4	88,00	2,50	220,00
W8	5	110,00	2,50	275,00
Total	$\Sigma W = 506,00$			$\Sigma M_r = 1507,00$

Sumber: Data Diolah

Tabel 3. Momen Pengguling (M_o)

No	Gaya Aktif Pa (kN/m)	Jarak Vertikal (m)	M_o (kN.m)
Pa1	156,09	2,67 (H/3)	416,24
Pa2	32,52	4,00 (H/2)	130,08
Total	$\Sigma Pa = 188,61$		$\Sigma M_o = 546,32$

Sumber: Data Diolah

Tabel 3. Hasil Perhitungan

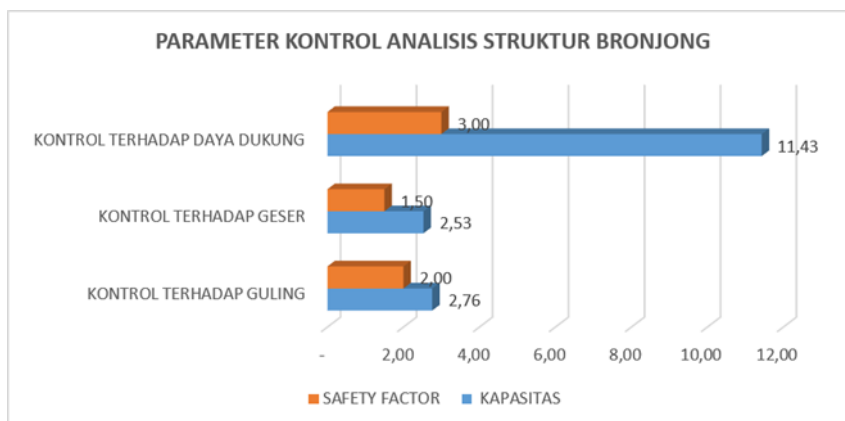
Analisis	Persamaan	Hasil Perhitungan	Syarat SNI/Desain	Keterangan
Kontrol terhadap Guling	$F_{gt} = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o} \geq 2.0$	(1507,00/546,32 = 2,76)	$\geq 2,0$	Aman (OK)
Kontrol terhadap Geser	$F_{gs} = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h} \geq 1.5$	(476,63/188,61 = 2,53)	$\geq 1,5$	Aman (OK)
Jarak Resultan (d)	$d = \frac{\Sigma M_r - \Sigma M_o}{\Sigma W}$	1,90 m	-	
Eksentrisitas (e)	$e = \frac{B}{2} - d$	0,60 m	($e < B/6 = 0,83$) m	Memenuhi
Tekanan Tanah Maksimum (q_{t1})	$q_{t1} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$	174,24 kN/m ²	-	
Tekanan Tanah Minimum (q_{t2})	$q_{t2} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$	28,16 kN/m ²	-	
Lebar Efektif (B')	$B' = B - 2e$	3,80 m	-	
Faktor Kapasitas Terzaghi	$N_c = 19,0; N_q = 8,3; N_\gamma = 5,70$	$\phi = 30^\circ$	-	
Tekanan Kerja (q')	$q' = \frac{V}{B'}$	133,26 kN/m ²	-	
Kapasitas Dukung Ultimit (q_{ult})	$q_{ult} = cN_c + D_f\gamma N_q + 0.5B\gamma N_\gamma$	1523,35 kN/m ²	-	
Kapasitas Dukung Izin (q_{all})	$q_{all} = \frac{q_{ult}}{FK}$	507,78 kN/m ²	FK = 3	
Kontrol Daya Dukung	$F = \frac{q_{ult}}{q'}$	(1523,35/133,26 = 11,43)	≥ 3	Aman (OK)

Sumber: Data Diolah

Tabel 5. Ringkasan Rekapitulasi Faktor Keamanan Struktur Bronjong

Tinjauan Stabilitas	Nilai Fk Hitung	Nilai Fk Izin berdasarkan SNI 8460:2017	Status
Guling (<i>Overturning</i>)	2,76	$\geq 2,0$	AMAN
Geser (<i>Sliding</i>)	2,53	$\geq 1,5$	AMAN
Kapasitas Dukung (<i>Bearing Capacity</i>)	11,43	$\geq 3,0$	AMAN

Sumber: Data Diolah



Gambar 4. Kontrol Analisis Struktur Bronjong

Kinerja Stabilitas Bronjong

Hasil analisis pada tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh faktor keamanan struktur bronjong memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017 [22]. Nilai Fk terhadap guling sebesar 2,76 berada 84% di atas persyaratan minimum (1,5), sedangkan Fk terhadap geser sebesar 2,53 berada 69% di atas persyaratan. Nilai Fk terhadap kapasitas dukung sebesar 11,43 menunjukkan margin keamanan yang sangat besar, yakni 281% di atas persyaratan minimum (3,0). Margin kapasitas dukung yang sangat besar ini disebabkan oleh karakteristik tanah asli yang berkoheisi tinggi ($c_2 = 60 \text{ kN/m}^2$) dan geser dalam yang cukup ($\phi_2 = 30^\circ$), sehingga kapasitas dukung ultimit q_u mencapai $1.523,35 \text{ kN/m}^2$ jauh melampaui tegangan yang bekerja.

Perbandingan hasil ini dengan penelitian terdahulu menunjukkan konsistensi yang baik. Fk guling = 11,44 dan Fk geser = 3,33 untuk bronjong miring di Sulawesi Tenggara, dengan perbedaan nilai yang wajar mengingat perbedaan geometri penampang dan karakteristik tanah [9]. Fk guling = 5,82 dan Fk geser = 4,34 untuk bronjong tebing sungai Pappa, dengan penampang yang lebih ramping ($H = 5 \text{ m}$) [10]. Merekomendasikan bronjong tipe 1 dengan Fk daya dukung = 4,59 untuk lereng Sungai Kuranji yang lebih rendah, tanpa beban lalu lintas [11]. Dalam penelitian ini, tinggi penampang yang lebih besar ($H = 8 \text{ m}$) dan adanya beban lalu lintas $q = 15 \text{ kN/m}^2$ memberikan tekanan tanah aktif yang lebih besar, namun kohesi tinggi tanah asli mampu mengimbangi hal tersebut.

Pengaruh Kondisi Tanah Kohesif

Keberadaan kohesi tanah asli ($c_2 = 60 \text{ kN/m}^2$) memberikan kontribusi signifikan pada tahanan geser. Komponen kohesif $R_h(c) = c \cdot B = 60 \times 5 = 300 \text{ kN/m}$ menyumbang sekitar

63% dari total tahanan geser (476,63 kN/m), sedangkan komponen friksi hanya menyumbang 37%. Hal ini berbeda dengan banyak penelitian bronjong sebelumnya yang dilakukan pada tanah granuler ($c \approx 0$) di tanah pasir *silty sand*, di mana seluruh tahanan geser bergantung pada gesekan [8]. Temuan ini mengindikasikan bahwa kondisi tanah kohesif pada lokasi penelitian (Jambi) memberikan keunggulan alami dalam hal tahanan geser, tetapi perlu diwaspadai terhadap potensi penurunan kohesi saat tanah dalam kondisi jenuh air [13]. Kekhawatiran ini beralasan secara teoretis, mengingat kajian pada tanah kohesif memperlihatkan bahwa nilai kohesi cenderung menurun seiring meningkatnya kadar air akibat infiltrasi hujan, sehingga tahanan geser pondasi yang saat ini didominasi oleh komponen kohesif berpotensi tereduksi cukup besar pada musim hujan [23]. Pengaruh muka air di belakang dinding juga tidak dapat diabaikan, sebab hasil pemodelan numerik pada dinding penahan tanah tipe gravitasi menunjukkan bahwa tekanan hidrostatik akibat kenaikan muka air dapat menurunkan faktor keamanan guling secara signifikan meskipun struktur pada kondisi kering telah memenuhi syarat [24].

Implikasi dalam Konteks Preservasi Jalan

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah diadakannya *addendum* pekerjaan untuk memasukkan item bronjong yang tidak direncanakan sejak awal dalam kontrak preservasi jalan. Kondisi ini mencerminkan tantangan nyata dalam pengelolaan infrastruktur jalan nasional di kawasan perbukitan tropis, di mana potensi longsor sering tidak sepenuhnya terprediksi pada tahap perencanaan awal. Bagi praktisi, hasil penelitian ini memberikan bukti bahwa penampang bronjong yang dikembangkan melalui mekanisme *addendum* dapat memenuhi persyaratan keamanan struktural, asalkan analisis stabilitas dilakukan secara cermat sesuai standar yang berlaku.

Penelitian ini juga mengonfirmasi bahwa meskipun bronjong di sisi sungai tidak secara langsung meningkatkan faktor keamanan lereng secara global, namun perannya sangat krusial dalam melindungi pondasi lereng dari gerusan [9]. Dalam konteks jalan nasional, pengendalian air permukaan dan drainase tetap menjadi komponen utama yang harus diintegrasikan dengan konstruksi bronjong.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis stabilitas struktur bronjong pada lokasi STA 33+175 ruas Bangko-Sungai Manau, Provinsi Jambi, dapat disimpulkan bahwa struktur bronjong dengan tinggi $H = 8$ m dan lebar dasar $B = 5$ m dinyatakan aman terhadap tiga moda kegagalan yang ditinjau, dengan faktor keamanan guling $F_{gl} = 2,76$ ($\geq 2,0$), faktor keamanan geser $F_{gs} = 2,53$ ($\geq 1,5$), dan faktor keamanan kapasitas dukung $F = 11,43$ ($\geq 3,0$). Karakteristik tanah asli yang berkohesi tinggi ($c_2 = 60$ kN/m²) memberikan kontribusi dominan pada tahanan geser pondasi bronjong, sehingga menghasilkan margin keamanan yang memadai meskipun penampang harus menahan beban lalu lintas jalan nasional Kelas I sebesar $q = 15$ kN/m². Penerapan bronjong melalui mekanisme *addendum* dalam paket preservasi jalan nasional *long segment* terbukti dapat memenuhi persyaratan SNI 8460:2017, memberikan bukti teknis yang dapat dijadikan acuan untuk

proyek-proyek sejenis di kawasan perbukitan tropis Indonesia. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian tanah lapangan langsung di lokasi longsor untuk memperoleh parameter tanah yang lebih akurat, analisis stabilitas lereng global menggunakan metode elemen hingga dan kajian pengaruh kondisi jenuh air terhadap stabilitas bronjong pada musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi, “Provinsi Jambi Dalam Angka 2022,” 2022.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Keputusan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 248/KPTS/M/2015 tentang penetapan ruas jalan dalam jaringan jalan primer menurut fungsinya sebagai jalan arteri (JAP) dan jalan kolektor-1 (JKP-1)*. 2015.
- [3] M. Sari, M. F. Toyfur, and F. Hadinata, “Indeks dan Tingkat Risiko Bahaya Longsor pada Ruas Jalan Nasional di Kabupaten Kerinci dan Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi,” *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 53–61, Jul. 2021, doi: 10.35139/cantilever.v10i1.97.
- [4] X. Linrong, A. B. Usman, A.-A. D. Bello, and L. Yongwei, “Rainfall-induced transportation embankment failure: A review,” *Open Geosciences*, vol. 15, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1515/geo-2022-0558.
- [5] R. W. Kiranasari, R. A. A. Soemitro, H. Suprayitno, and H. Budianto, “Penentuan Faktor bagi Analisis Faktor Keberhasilan Proyek Preservasi Jalan Skema Long Segment,” *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, vol. 4, no. 2, Apr. 2020, doi: 10.12962/j26151847.v4i2.6883.
- [6] Direktorat Preservasi Jalan, “Preservasi Jalan Secara Long Segment, PowerPoint presentation,” 2017.
- [7] B. Pereira and W. Fernandes, “Gabion Walls—A Remedial Measure for Slope Stabilization,” 2023, pp. 409–419. doi: 10.1007/978-981-19-7245-4_36.
- [8] E. Ngii and A. Minmahddun, “SAFETY Enhancement of Eroded Gabion Wall Using Optimized Mini-Piles,” *International Journal of GEOMATE*, vol. 29, no. 133, pp. 129–138, Sep. 2025, doi: 10.21660/2025.133.5047.
- [9] A. Minmahddun, “Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Bronjong Menggunakan Metode Keseimbangan Batas (Studi Kasus: Ruas Jalan Batas Kab. Muna-Kab. Buton Utara),” 2024.
- [10] A. Virलयani and A. Sulfanita, “Penerapan Bronjong sebagai Perkuatan Tebing Pada Sungai Pappa,” Oct. 2024. doi: <https://doi.org/10.24929/ft.v12i2.3092>.
- [11] H. Defitri, R. Mustika, O. S. Laurency, F. H. Masril, Z. Rahayu, and andriani Andriani, “Analisis Stabilitas Bronjong untuk Memperkuat Tebing Sungai Batang Kuranji, Kota Padang,” *Bulletin of Civil Engineering*, vol. 5, Aug. 2025, Accessed: May 10, 2026. [Online]. Available: <https://journal.umy.ac.id/index.php/bce/article/view/28684/12330>.

- [12] A. Luthfil Hakim and Siswoyo, “Analisis Perkuatan Tubuh Baan Jalan Kereta Api Menggunakan Gabion dan Geotextile pada KM 109+850 s/d 110+000 Antara Baron-Sukomoro Lintas Surabaya-Solo,” *axial, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 11, no. 1, Apr. 2023, Accessed: Aug. 01, 2026. [Online]. Available: <https://journal.uwks.ac.id/axial/article/view/2850>.
- [13] D. Rahmadania and D. Rusdiansyah, “CASE Study of The Causes of Failure of Combination of Gabion and Geotextile Construction to Handle Landslide on The Slope of Kariangau Substation, Balikpapan, East Borneo,” 2022. Accessed: Aug. 01, 2026. [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/crc/article/view/5788/3914>.
- [14] S. Velly Hattu, Hamkah, and E. Hukom, “Desain Teknis Bangunan Bronjong pada Ruas Jalan Ingei-Aruidas Kabupaten Kepulauan Tanimbar,” *JINU*, vol. 2, no. 1, pp. 730–743, Jan. 2025, doi: 10.61722/jinu.v2i1.4117.
- [15] H. Pandra, “Perencanaan Perkuatan Tebing dengan Bronjong pada Sungai Air Hitam Desa Pauh Angit Kecamatan Pangean Kabupaten Kuantan Singingi,” Jun. 2023. doi: <https://doi.org/10.36378/jupersatek.v6i1.3230>.
- [16] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 03-0090-1999 tentang Bronjong Kawat,” 1999.
- [17] Y. Lin, G. Yang, Y. Li, and L. Zhao, “Engineering behaviors of reinforced gabion retaining wall based on laboratory test,” *Journal of Central South University of Technology*, vol. 17, no. 6, pp. 1351–1356, Dec. 2010, doi: 10.1007/s11771-010-0641-y.
- [18] M. F. Zolkepli, M. F. Ishak, and M. S. I. Zaini, “Slope stability analysis using modified Fellenius’s and Bishop’s method,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 527, no. 1, p. 012004, May 2019, doi: 10.1088/1757-899X/527/1/012004.
- [19] U. C. Sari, M. N. Sholeh, and I. Hermanto, “The stability analysis study of conventional retaining walls variation design in vertical slope,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1444, no. 1, p. 012053, Jan. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1444/1/012053.
- [20] V. R. Greco, “Stability of Retaining Walls against Overturning,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 123, no. 8, pp. 778–780, Aug. 1997, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(1997)123:8(778).
- [21] Y. Zeng, W. Hu, M. Chen, Y. Zhang, X. Liu, and X. Zhu, “Study on the failure characteristics of sliding surface and stability analysis of inverted t-type retaining wall in active limit state,” *PLoS One*, vol. 19, no. 2, p. e0298337, Feb. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0298337.
- [22] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik,” 2017. Accessed: May 10, 2026. [Online]. Available: <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/546/sni-84602017-persyaratan-perancangan-geoteknik.pdf>.
- [23] S. Loku-Pathirage, J. Chen, and M. Fu, “Predicting Railway Slope Failure Under Heavy Rainfall Using the Soil Moisture Extended Cohesive Damage Element Method,” *GeoHazards*, vol. 6, no. 1, p. 14, Mar. 2025, doi: 10.3390/geohazards6010014.

- [24] A. K. Pour, A. Shirkhani, and E. Noroozinejad Farsangi, “Comprehensive Evaluation of Sliding and Overturning Failure in Mechanically Stabilized Earth (MSE) Retaining Walls Considering the Effect of Hydrostatic Pressure,” *GeoHazards*, vol. 6, no. 3, p. 35, Jul. 2025, doi: 10.3390/geohazards6030035.
- [25] J. Liu, C. Yang, J. Gan, Y. Liu, L. Wei, and Q. Xie, “Stability Analysis of Road Embankment Slope Subjected to Rainfall Considering Runoff-Unsaturated Seepage and Unsaturated Fluid–Solid Coupling,” *International Journal of Civil Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 865–876, Sep. 2017, doi: 10.1007/s40999-017-0194-7.