

## STUDI KONFIGURASI SUSUNAN & MATERIAL PENGISI PADA BAN BEKAS SEBAGAI SOLUSI ALTERNATIF DINDING PENAHAN TANAH

Michael Limanow<sup>1</sup>, dan Andryan Suhendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*michaellimanow@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*andryan@geosinindo.co.id*

Masuk: 01-02-2022, revisi: 07-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 08-03-2022

### ABSTRACT

*Recycling processed used tires and alternative solution of earth retaining materials that cost-effective, environment friendly, prompted the study of using waste tires as geotechnical structures' material. Studies show that the use of waste tires, either whole scrap tire, shredded to chips or flakes, granulated and powdered, are feasible as reinforcement material for retaining structure. This time, an idea arose to analyze the reuse of whole scrap tires for Retaining Wall as an alternate substitution to Gabion wall. The purpose of this analysis is to measure the behavior and the effectiveness of waste tire as a retaining wall with variety of stack configurations and types of tire filler. On the analysis, manual calculations were carried out with the help of Plaxis 2D program and literature studies to compare and complete the analysis of the retaining walls' behavior. The analysis shows that waste tire retaining wall is more effective and a proper alternative retaining wall compared to Gabion wall on silty clay soil and 6m height sand embankment.*

*Keywords: retaining wall, waste tire, gabion, behavior, sand embankment.*

### ABSTRAK

Pengolahan dan daur ulang limbah ban bekas serta solusi alternatif material perkuatan tanah yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan, menjadi landasan studi atas pemanfaatan limbah ban bekas sebagai material struktur geoteknik. Studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan ban bekas, baik secara utuh maupun didaur menjadi kepingan, butiran dan serpihan, adalah layak sebagai material perkuatan struktur bangunan penahan tanah. Pada kesempatan ini, timbul pemikiran untuk melakukan analisis tentang penggunaan kembali ban bekas utuh untuk bahan konstruksi penahan tanah sebagai alternatif bronjong. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku dan efektivitas ban bekas sebagai Dinding Penahan Tanah dengan konfigurasi susunan serta jenis tanah filler ban yang bervariasi. Pada analisis dilakukan perhitungan secara manual, dengan bantuan program Plaxis 2D dan studi literatur untuk melengkapi analisis perilaku dinding penahan tanah untuk dibandingkan. Hasil penelitian menunjukkan dinding penahan tanah susunan ban bekas lebih efektif dan layak sebagai alternatif dinding bronjong, pada tanah dasar lempung berlanau dengan timbunan pasir setinggi 6m.

Kata kunci: dinding penahan tanah, ban bekas, bronjong, perilaku, timbunan pasir.

## 1. PENDAHULUAN

Tingginya jumlah limbah ban (ban bekas) mulai mengancam keselamatan lingkungan. Jumlah pembuangan, daur ulang serta degradasi ban bekas tidak sebanding dengan jumlah produksinya yang jauh lebih tinggi. Hal tersebut tentunya menjadi masalah serius di banyak negara.

Indonesia sebagai penghasil karet terbesar kedua di dunia, juga memproduksi ban dengan jumlah yang cukup tinggi. Total produksi ban kendaraan bermotor diperkirakan mencapai 150,2 juta unit pada tahun 2019 (Arief, 2020). Dampak ban bekas pada lingkungan tetap mengkhawatirkan karena menyebabkan sejumlah gangguan seperti masalah pencemaran, kesehatan dan keamanan. Terdapat beberapa cara dalam mengatasi limbah ban bekas, namun sebagian besar metode yang digunakan untuk menanganinya membutuhkan tenaga, sumber daya, dan biaya yang besar. Solusi alternatif yang dapat dilakukan adalah meningkatkan jumlah penggunaan kembali limbah ban bekas disesuaikan dengan kebutuhan ataupun didaur ulang.

## Latar Belakang

Enjinir teknik sipil tentunya tertarik pada material yang kuat, ringan, terjangkau, dan tersedia dalam jumlah yang banyak. Tetapi sebagian besar material hanya memenuhi tiga dari empat syarat di atas. Limbah ban bekas memenuhi semua syarat di atas. Dalam bidang geoteknik, penggunaan ban bekas sebagai dinding penahan tanah merupakan solusi alternatif dari teknik konvensional seperti penggunaan dinding beton bertulang, turap ataupun bronjong sebagai dinding penahan tanah. Selain memerlukan biaya bahan baku yang lebih besar, teknik konvensional juga memerlukan lebih banyak peralatan, waktu dan juga tenaga. Oleh karena itu, dinding dengan material ban bekas cukup menjanjikan karena konstruksinya yang relatif lebih cepat dan sederhana.

Pemodelan susunan ban bekas sebagai dinding penahan tanah berdasarkan pada prinsip stabilisasi dinding dan tanah di belakangnya. Oleh karena itu, dinding susunan ban bekas memerlukan pemodelan layaknya lereng bertingkat dengan mempertimbangkan sudut kemiringan dan ketinggian elevasi.

Identifikasi masalah penelitian ini adalah analisis kelayakan dinding dari susunan ban bekas sebagai alternatif bronjong sebagai dinding penahan tanah, ditinjau dari keamanan stabilitas eksternal dan perilakunya, dengan variasi konfigurasi susunan dinding ban bekas dengan material pengisi ban. Penelitian dilakukan pada tanah dasar lempung berlanau (*silty clay*) dengan timbunan pasir (*sand*) setinggi 6m.

## Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas pada analisis ini adalah:

1. Data tanah yang digunakan berdasarkan hasil uji laboratorium dan lapangan proyek Turap, Cimanggis, Jawa Barat.
2. Analisis stabilitas yang ditinjau adalah stabilitas statis terhadap penggeseran, stabilitas guling dan kapasitas daya dukung tanah, yang dilakukan secara manual dan analisis stabilitas lereng terhadap kelongsoran dengan bantuan program Plaxis 2D.
3. Ban bekas yang digunakan adalah ban utuh berukuran standar 195/70 R14, dengan lebar 195mm dan panjang  $\pm 628,6$ mm.
4. Bahan yang digunakan sebagai pengikat antar ban bekas adalah *cable ties* (insulock) sebagai pengikat vertikal dan tali polipropilena (*polypropylene rope*) sebagai pengikat horizontal. Bahan pengikat diasumsikan tidak mempengaruhi analisa.
5. Diasumsikan tanah pengisi (*filler*) memenuhi bagian dalam ban.
6. Ukuran bronjong 2 x 1 x 0,5 m. Batuan pengisi bronjong adalah jenis batu kali. Kawat bronjong menggunakan anyaman yang umum digunakan, ukuran 80 x 100mm dengan  $\varnothing$  kawat anyaman 2,70mm, kawat sisi  $\varnothing$  3,40mm, kawat pengikat  $\varnothing$  2,00 mm (Badan Standardisasi Nasional, 1999).
7. Tidak terjadi kegagalan struktur akibat kegagalan fondasi dinding penahan tanah.
8. Pengaruh tekanan air tanah diabaikan.
9. Tidak diperhitungkan pengaruh getaran akibat gempa.

## Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas pada analisis ini adalah:

1. Efektivitas ban bekas sebagai alternatif bronjong sebagai dinding penahan tanah.
2. Perkuatan kelima konfigurasi dinding penahan tanah ban bekas untuk masing-masing jenis *filler*.
3. Perkuatan dinding bronjong.
4. Perbandingan perkuatan dinding penahan tanah ban bekas dengan dinding bronjong.

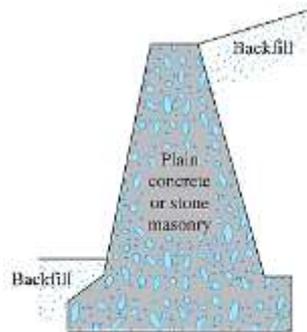
## Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui efektivitas ban bekas sebagai alternatif bronjong sebagai dinding penahan tanah.
2. Menganalisis perkuatan kelima konfigurasi dinding penahan tanah dari ban bekas untuk masing-masing jenis *filler*.
3. Menghitung perkuatan dinding bronjong.
4. Membandingkan hasil analisis perkuatan dinding penahan tanah ban bekas dengan dinding bronjong.

### Dinding Gravitasi (*Gravity Wall*)

Dinding gravitasi adalah jenis dinding penahan tanah yang meningkatkan stabilitas dengan mengandalkan berat struktur itu sendiri untuk menopang tanah di belakangnya (sebagai unsur perlawanan terhadap *bearing capacity*, resultan gaya guling/*overturning*, dan geser/*sliding*) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi  
(Sumber: Das & Sivakugan, 2018)

Konstruksi dinding ini dibangun dengan beton atau pasangan batu, oleh sebab itu jenis ini tidak ekonomis apabila digunakan pada konstruksi dinding tinggi. Dinding penahan tanah dari ban bekas dikategorikan sebagai *gravity wall* karena mengandalkan berat konstruksinya sendiri dalam menahan tekanan lateral.

### Bronjong (*Gabion Wall*)

Bronjong (Gabion) adalah konstruksi berbentuk silinder atau kubus yang diisi dengan tanah atau batuan, yang disusun sebagai dinding penahan tanah, dam ataupun tanggul seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Dinding Bronjong Penahan Tanah  
(Sumber: [www.dekoruma.com](http://www.dekoruma.com))

Bronjong digunakan sejak ribuan tahun yang lalu oleh bangsa Mesir kuno dan Tiongkok. Bronjong modern diperkenalkan pada tahun 1879 di Italia dengan menggunakan bahan kawat. Pada masa sekarang bronjong telah mengalami perkembangan pesat, baik bahan yang digunakan maupun aplikasi pemakaiannya (Peerdawood & Mawlood, 2010). Bronjong kawat umum digunakan pada tepi sungai ataupun pada tebing, terbuat dari anyaman kawat yang diisi dengan batu pecah atau batu-batuan yang berfungsi untuk mencegah erosi tanah dan juga longsor. Bronjong lemah terhadap korosi terutama bronjong yang terbuat dari bahan kawat yang tidak dilapisi galvanis atau selubung PVC. Bronjong tergolong dalam jenis dinding penahan tanah tipe gravitasi, dimana tingkat stabilitasnya tergantung pada berat struktur dinding serta jenis timbunan yang digunakan.

### Teori Tekanan Tanah Lateral

Menurut Hardiyatmo (Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian & Penanganan, 2006) analisis tekanan tanah lateral perlu dilakukan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Tanah dalam kedudukan keseimbangan plastis, yaitu sembarang elemen tanah dalam kondisi tepat akan runtuh.

2. Tanah urug tidak berkohesi ( $c = 0$ ).
3. Gesekan antara dinding penahan dan tanah urug diabaikan atau permukaan dinding dianggap licin sempurna ( $\delta = 0$ ).

Tekanan tanah aktif total untuk dinding penahan tanah setinggi  $H$ , dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a$$

dengan,

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = tg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Dengan  $P_a$  = tekanan tanah aktif total,  $\gamma$  = berat volume basah tanah,  $H$  = tinggi dinding penahan tanah,  $K_a$  = koefisien tekanan aktif dan  $\varphi$  = sudut geser dalam.

Tekanan tanah pasif total dan koefisien tanah pasif ( $K_p$ ) untuk dinding penahan tanah setinggi  $H$  dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p$$

Sedangkan untuk tanah urug horizontal koefisien tekanan tanah pasif ( $K_p$ ) dinyatakan dengan Persamaan berikut.

$$K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = tg^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$

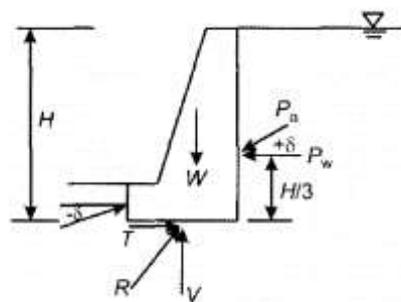
Dengan  $P_p$  = tekanan tanah pasif total,  $\gamma$  = berat volume basah tanah,  $H$  = tinggi dinding penahan tanah,  $K_p$  = koefisien tekanan pasif dan  $\varphi$  = sudut geser dalam.

### Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Menurut Hardiyatmo (Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian 1 Edisi ke-2, 2010), gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah meliputi:

1. Berat sendiri dinding penahan ( $W$ )
2. Gaya tekanan aktif total tanah urug ( $P_a$ )
3. Gaya tekanan tanah pasif total di depan dinding ( $P_p$ )
4. Tekanan air pori di dalam tanah ( $P_w$ )
5. Reaksi tanah dasar.

Jika dinding pada keadaan seimbang, jumlah vektor gaya-gaya akan sama dengan nol, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah (Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Analisis stabilitas dinding penahan tanah ditinjau terhadap hal-hal sebagai berikut:

1. Faktor aman terhadap geseran dan gulingan harus mencukupi.
2. Tekanan yang terjadi pada tanah dasar fondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin.
3. Stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat.
4. Selain itu, jika tanah dasar mudah mampat, penurunan tak seragam yang terjadi harus tidak boleh berlebihan.

#### Stabilitas Terhadap Geser (Sliding)

Akibat gaya-gaya lateral seperti tekanan tanah aktif ( $P_a$ ) yang bekerja pada dinding penahan tanah akan ditahan oleh:

1. Gaya gesek antara tanah dengan fondasi.
2. Tekanan tanah pasif ( $P_p$ ) bila di depan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran ( $FK_{gs}$ ), didefinisikan sebagai:

$$FK_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5$$

Untuk tanah granuler ( $c = 0$ ), dinyatakan sebagai berikut.

$$\sum R_h = Wf = W \operatorname{tg} \delta_b$$

Untuk tanah kohesif ( $\varphi = 0$ ), dinyatakan sebagai berikut.

$$\sum R_h = c_a B$$

Dengan  $\sum R_h$  = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran,  $W$  = berat total dinding penahan tanah dan tanah di atas pelat pondasi,  $\delta_b$  = sudut gesek antara tanah dan pondasi,  $c_a$  = adhesi antara tanah dasar dan dinding,  $c_d$  = faktor adhesi,  $c$  = kohesi tanah dasar,  $B$  = Lebar fondasi,  $\sum P_h$  = jumlah gaya-gaya horizontal.

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2017), faktor aman terhadap penggeseran dasar fondasi dinding penahan tanah ( $F_{gs}$ ) minimum, diambil 1,5.

#### Stabilitas Terhadap Guling (Overturning)

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan berpotensi menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan fondasi. Momen penggulingan ini dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas fondasi.

Faktor aman akibat terhadap penggulingan ( $FK_{gl}$ ), didefinisikan sebagai:

$$FK_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}}$$

dengan,

$$M_w = Wb_1$$
$$M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

Dengan  $\sum M_w$  = momen yang melawan penggulingan,  $\sum M_{gl}$  = momen yang mengakibatkan penggulingan,  $W$  = berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan,  $B$  = lebar kaki dinding penahan,  $\sum P_{ah}$  = jumlah gaya-gaya horizontal,  $\sum P_{av}$  = jumlah gaya-gaya vertical.

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2017), faktor aman terhadap penggulingan dinding penahan tanah ( $F_{gl}$ ) minimum, diambil 2.

#### Stabilitas Daya Dukung Tanah

Beberapa persamaan kapasitas dukung tanah telah digunakan untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah, seperti persamaan kapasitas dukung (Terzaghi & Peck, 1967), yang penggunaannya dianggap tidak tepat karena persamaannya yang hanya berlaku untuk fondasi yang dibebani secara vertikal dan sentris. Pada umumnya, resultan beban-beban pada dinding penahan tanah adalah miring dan eksentris. Karena itu, hitungan kapasitas dukung tanah

di bawah dinding penahan harus didasari pada kapasitas dukung dengan kondisi beban miring dan eksentris (Hardiyatmo, 2010).

Kapasitas dukung tanah ultimit untuk beban miring dan eksentris:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma$$

Dengan  $c$  = kohesi,  $D_f$  = kedalaman Fondasi,  $B$  = lebar dasar fondasi sebenarnya,  $\gamma$  = berat volume tanah,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  = faktor-faktor kapasitas dukung,  $d_c$ ,  $d_q$ ,  $d_\gamma$  = faktor kedalaman,  $i_c$ ,  $i_q$ ,  $i_\gamma$  = faktor kemiringan beban.

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$SF = \frac{q_u}{q_{maks}} \geq 3$$

Dengan  $q_u$  = kapasitas dukung ultimit dan  $q$  = tekanan (maksimum) akibat beban struktur.

Analisis kapasitas dukung (Meyerhof, 1963) mempertimbangkan faktor pengaruh kedalaman fondasi, dengan demikian kapasitas dukungnya lebih besar. Selain itu, Meyerhof menyarankan persamaan kapasitas dukung dengan mempertimbangkan bentuk fondasi, kemiringan beban, dan kuat geser tanah di atas fondasinya (Hardiyatmo, 2010).

#### Stabilitas Lereng Terhadap Kelongsoran Global

Dinding penahan tanah yang digunakan sebagai perkuatan pada lereng juga harus stabil dan aman terhadap keruntuhan lereng secara menyeluruh. Faktor keamanan terhadap stabilitas global minimum 1,5 ( $SF \geq 1,5$ ) (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

Untuk mengetahui potensi dari kemungkinan terjadinya kelongsoran maka dapat dilakukan analisis geoteknik melalui penggunaan beberapa formula yang diperkenalkan oleh beberapa ahli geoteknik seperti Bishop, Morgenstein, dan lain sebagainya serta dapat pula menggunakan piranti lunak komputer berbasis geoteknik (Suhendra, 2013).

#### **Penggunaan Ban Bekas**

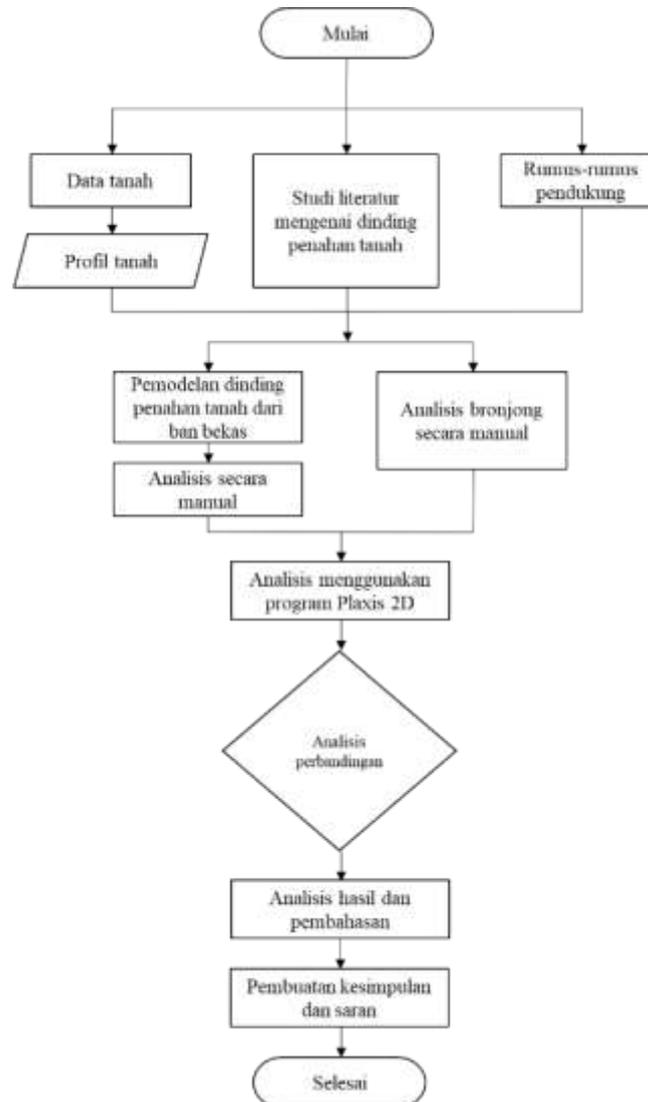
Ban bekas adalah ban yang telah dilepas dari kendaraan secara permanen, tanpa ada kemungkinan penggunaan kembali sebagai peranti roda kendaraan (Hylands & Shulman, 2003).

Ban bekas memenuhi semua kriteria yang dibutuhkan oleh suatu material untuk digunakan dalam bidang teknik sipil, yaitu kuat, fleksibel dan awet. Ban bekas juga bersifat ramah lingkungan dan tidak termasuk ke dalam material yang sifatnya berbahaya. Hasil laporan literatur-literatur menyampaikan bahwa penggunaan ban bekas dalam teknik sipil terbukti bersifat ramah lingkungan dengan jangka waktu yang lama, lebih efektif dan lebih hemat biaya.

Karakteristik penyusun ban bekas membuatnya tetap bermanfaat bahkan setelah melewati umur rencananya sebagai roda kendaraan dan digunakan dalam berbagai metode aplikasi. Bentuk, berat dan sifat elastis menjadikan ban sebagai bahan pilihan dalam banyak aplikasi – baik dalam bentuk utuh, kepingan dan butiran, bahkan dalam bentuk serpihan bubuk seperti dalam (Susilo, 2016). Pada umumnya, ban bekas pada konstruksi penahan tanah menggunakan ban utuh dan ban utuh yang dipotong agar seluruh bagian dalam ban bekas dapat dipenuhi *filler*, selanjutnya dilakukan kompaksi secara manual menggunakan alat pemadatan seperti *Vibratory Plate/ Compactor* dengan material tanah umumnya menggunakan galian lokal di sekitar *site*. Bagian ban yang dipotong dapat dijadikan karet pengikat antar ban maupun bahan campuran timbunan di belakang dinding penahan. Tahap pemotongan ban merupakan tahapan yang menghabiskan paling banyak biaya dan waktu dalam proses pengolahan, maka pengembangan mesin pemotongan ban yang efektif dan terjangkau sangat dinantikan.

## 2. METODE PENELITIAN

Alur atau tahapan dari penelitian ini tertera dalam bentuk diagram pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Diagram Alir

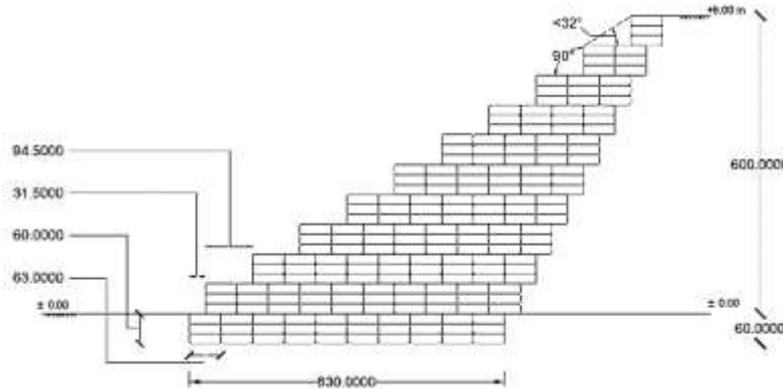
Penelitian ini dimulai dari penentuan topik yang akan dianalisis, dilanjutkan pada pengumpulan data. Data-data yang digunakan adalah data tanah seperti data pengujian *Standard Penetration Test*, sondir dan data laboratorium. Apabila terdapat data tanah yang kurang lengkap, maka dilakukan korelasi data dengan parameter-parameter yang ada. Selanjutnya dilakukan pengolahan dan interpretasi data tanah. Data perencanaan dinding penahan, meliputi jenis dinding, pemodelan dinding, tinggi elevasi dasar & elevasi atas, lebar dasar, tinggi dinding penahan serta sudut dan jarak pada dinding yang direncanakan, variasi konfigurasi yang dipilih digunakan sebagai pembandingan terhadap sudut dan kemiringan dinding. Kemudian dilakukan perhitungan tekanan tanah lateral dilanjutkan perhitungan stabilitas dinding penahan secara manual dan dengan bantuan program analisis geoteknik berbasis metode elemen hingga. Setelah itu dilakukan perbandingan hasil analisis dinding penahan susunan ban bekas terhadap dinding bronjong.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut dilampirkan hasil perhitungan dalam penelitian.

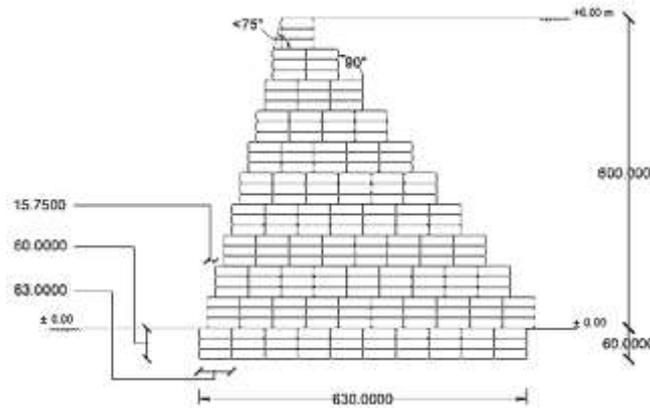
#### Konfigurasi Susunan Dinding Penahan Tanah

Terdapat 5 konfigurasi yang digunakan dalam penelitian. Variasi konfigurasi yang dipilih digunakan sebagai pembandingan terhadap sudut dan kemiringan dinding. Berikut adalah pemodelan konfigurasi 1 dengan sudut kemiringan  $32^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 5.



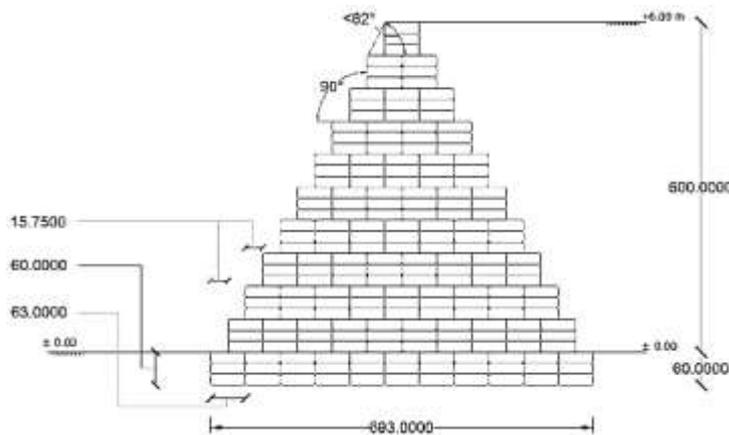
Gambar 5. Konfigurasi 1

Konfigurasi 2 dengan sudut kemiringan  $75^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 6.



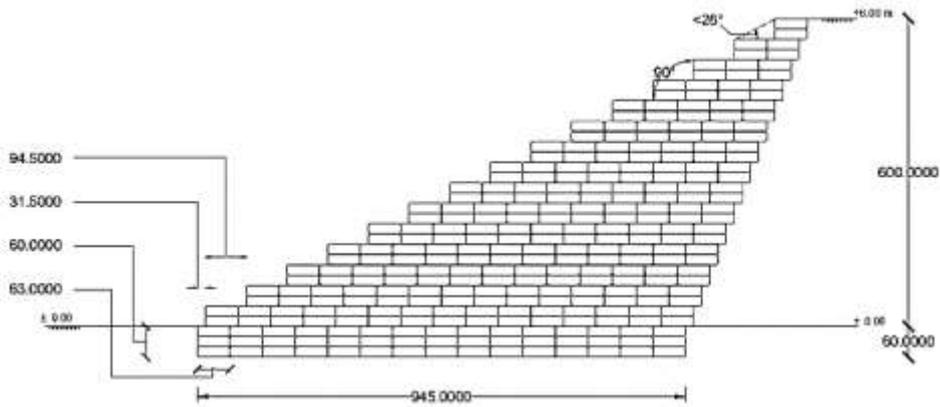
Gambar 6. Konfigurasi 2

Konfigurasi 3 dengan sudut kemiringan  $62^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 7.



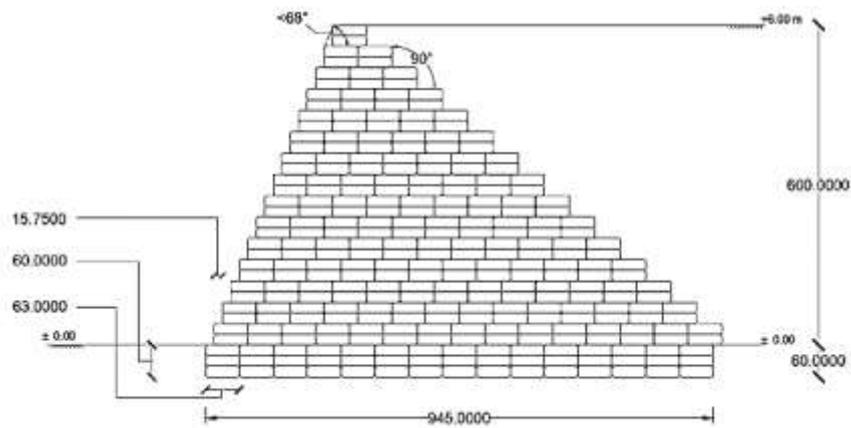
Gambar 7. Konfigurasi 3

Konfigurasi 4 dengan sudut kemiringan  $26^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 8.



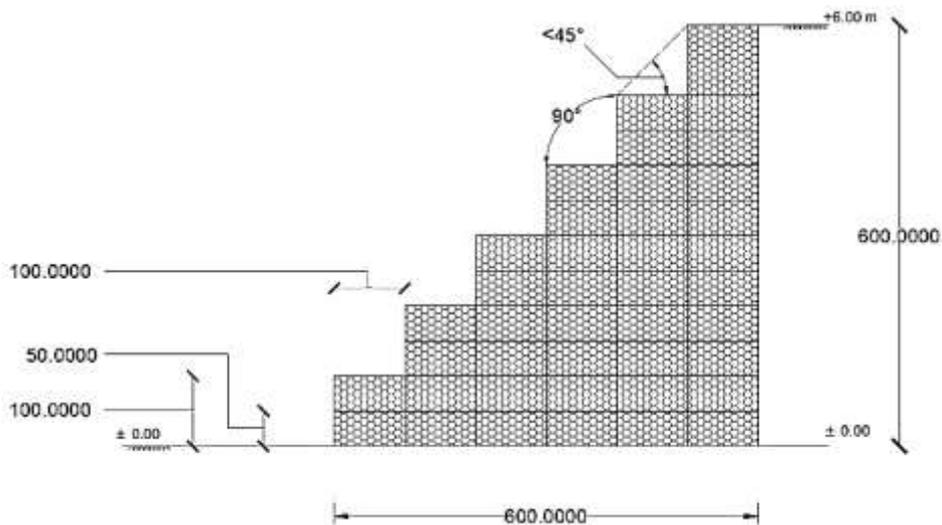
Gambar 8. Konfigurasi 4

Konfigurasi 5 dengan sudut kemiringan  $68^\circ$  seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Konfigurasi 5

Dengan konfigurasi Bronjong seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Konfigurasi Dinding Bronjong

### Parameter Tanah

Parameter tanah diperoleh dengan menggunakan nilai hasil uji laboratorium, tipikal parameter tanah dan mengkorelasikan data tanah dengan rumus korelasi yang ada, sehingga didapatkan data tanah dasar dan timbunan yang dilampirkan pada Tabel 1. Tabel 2 memuat data tanah pengisi (*filler*) ban bekas, yaitu pasir, kerikil dan campuran pasir-kerikil dengan perbandingan 50:50.

Tabel 1. *Soil Properties*

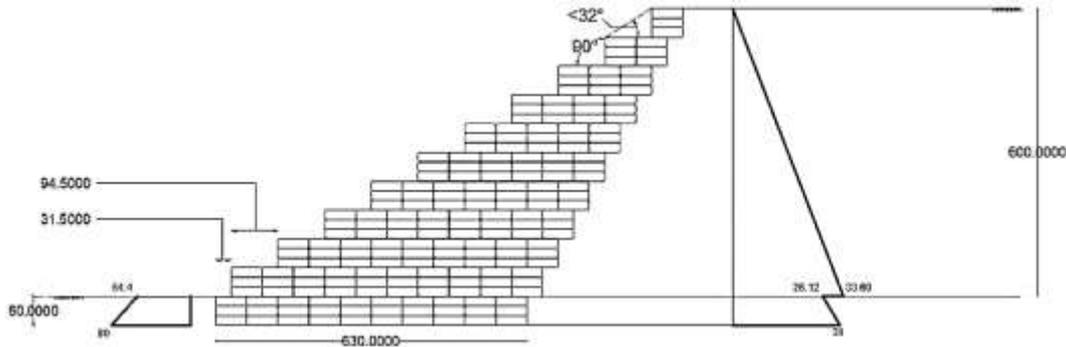
<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>Base Soil</i>	<i>Embankment</i>
<i>Consistency</i>	-	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
<i>Soil Type</i>	-	<i>Silty Clay</i>	<i>Sand</i>
<i>Material Model</i>	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
<i>Type</i>	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
<i>Wet Soil Weight (<math>\gamma_{wet}</math>)</i>	kN/m <sup>3</sup>	18,6	19
<i>Dry Soil Weight (<math>\gamma_{dry}</math>)</i>	kN/m <sup>3</sup>	14	16
<i>Hor. Permeability (<math>K_x</math>)</i>	m/day	1×10 <sup>-4</sup>	0,864
<i>Ver. Permeability (<math>K_y</math>)</i>	m/day	1×10 <sup>-4</sup>	0,864
<i>Young Modulus (<math>E</math>)</i>	MPa	20	35
<i>Poisson Ratio (<math>\nu</math>)</i>	-	0,35	0,3
<i>Cohesion (<math>c</math>)</i>	kN/m <sup>2</sup>	18	1
<i>Friction Angle (<math>\phi</math>)</i>	°	23	33
<i>Dilatancy Angle (<math>\phi</math>)</i>	°	-	3

Tabel 2. *Tire Filler's Soil Properties*

<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>Sand</i>	<i>Gravel</i>	<i>Sand-Gravel</i>	<i>Stone (Gabion)</i>
<i>Material Model</i>	-	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
<i>Soil Type</i>	-	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>
<i>Dry Soil Weight (<math>\gamma_{dry}</math>)</i>	kN/m <sup>3</sup>	18,8	20	19,4	12
<i>Wet Soil Weight (<math>\gamma_{wet}</math>)</i>	kN/m <sup>3</sup>	21	21	21	22
<i>Hor. Permeability (<math>K_x</math>)</i>	m/day	1	1	1	1
<i>Ver. Permeability (<math>K_y</math>)</i>	m/day	1	1	1	1
<i>Young Modulus (<math>E</math>)</i>	MPa	40	80	60	20
<i>Poisson Ratio (<math>\nu</math>)</i>	-	0,25	0,3	0,25	0,32
<i>Cohesion (<math>c</math>)</i>	kN/m <sup>2</sup>	5	5	5	10
<i>Friction Angle (<math>\phi</math>)</i>	°	35	40	38	48
<i>Dilatancy Angle (<math>\phi</math>)</i>	°	5	10	8	18

### Tegangan Lateral

Berikut hasil perhitungan tekanan tanah lateral pada dinding konfigurasi 1. Diagram tegangan lateral dapat dilihat pada Gambar 11. Besar nilai tekanan tanah aktif dilampirkan pada Tabel 3, sedangkan tekanan tanah pasif dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 11. Diagram Tegangan Lateral Dinding Konfigurasi 1

Tabel 3. Active Lateral Pressure

Force	Active Lateral Pressure kN/m <sup>2</sup>	Distance to point O m	Moment kN.m
Pa1	100,82	2,6	262,13
Pa2	15,67	0,3	4,70
Pa3	1,47	0,2	0,29
Σ	117,96	-	267,13

Tabel 4. Passive Lateral Pressure

Force	Passive Lateral Pressure kN/m <sup>2</sup>	Distance To point O m	Moment kN.m
Pp1	32,63	0,3	9,79
Pp2	7,64	0,2	1,53
Σ	40,28	-	11,32

### Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas yang ditinjau adalah stabilitas statis terhadap penggeseran, guling, kapasitas daya dukung tanah dan stabilitas lereng terhadap kelongsoran. Hasil perhitungan seperti yang dilampirkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Safety Factor of Retaining Wall

	SF <sub>gs</sub> ≥ 1,50	SF <sub>gl</sub> ≥ 2	SF <sub>kdt</sub> ≥ 3,0	SF <sub>slope</sub> ≥ 1,50
<i>Configuration 1</i>				
Sand	2,39 OK	5,71 OK	3,68 OK	2,117 OK
Gravel	2,39 OK	5,71 OK	3,68 OK	2,100 OK
Sand-Gravel	2,39 OK	5,71 OK	3,68 OK	2,109 OK
<i>Configuration 2</i>				
Sand	2,39 OK	3,30 OK	7,13 OK	1,942 OK

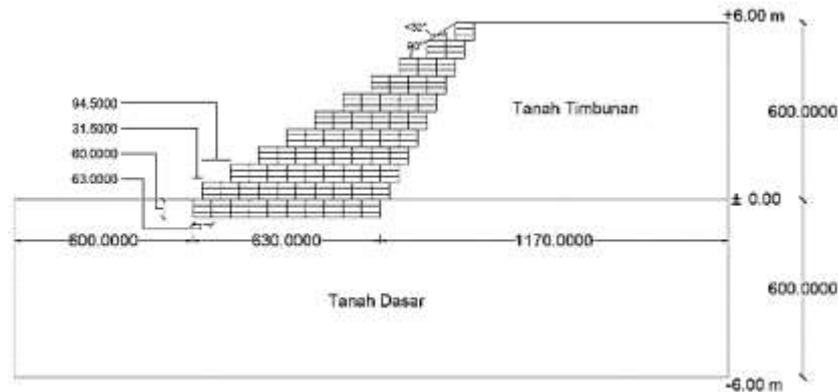
<i>Gravel</i>	2,39	OK	3,30	OK	7,13	OK	1,928	OK
<i>Sand-Gravel</i>	2,39	OK	3,30	OK	7,13	OK	1,935	OK
<i>Configuration 3</i>								
<i>Sand</i>	2,23	OK	4,02	OK	4,73	OK	2,045	OK
<i>Gravel</i>	2,23	OK	4,02	OK	4,73	OK	2,036	OK
<i>Sand-Gravel</i>	2,23	OK	4,02	OK	4,73	OK	2,039	OK
<i>Configuration 4</i>								
<i>Sand</i>	2,93	OK	9,35	OK	6,70	OK	2,394	OK
<i>Gravel</i>	2,93	OK	9,35	OK	6,70	OK	2,363	OK
<i>Sand-Gravel</i>	2,93	OK	9,35	OK	6,70	OK	2,379	OK
<i>Configuration 5</i>								
<i>Sand</i>	2,93	OK	6,50	OK	6,62	OK	2,278	OK
<i>Gravel</i>	2,93	OK	6,50	OK	6,62	OK	2,254	OK
<i>Sand-Gravel</i>	2,93	OK	6,50	OK	6,62	OK	2,265	OK
<i>Gabion</i>								
<i>Stone</i>	2,92	OK	6,64	OK	3,67	OK	1,905	OK

Keterangan:

- SFgs : Faktor Keamanan Terhadap Penggeseran
- SFgl : Faktor Keamanan Terhadap Penggulingan
- SFkdt : Faktor Keamanan Kapasitas Dukung Tanah
- SFslope : Faktor Keamanan Lereng Terhadap Kelongsoran

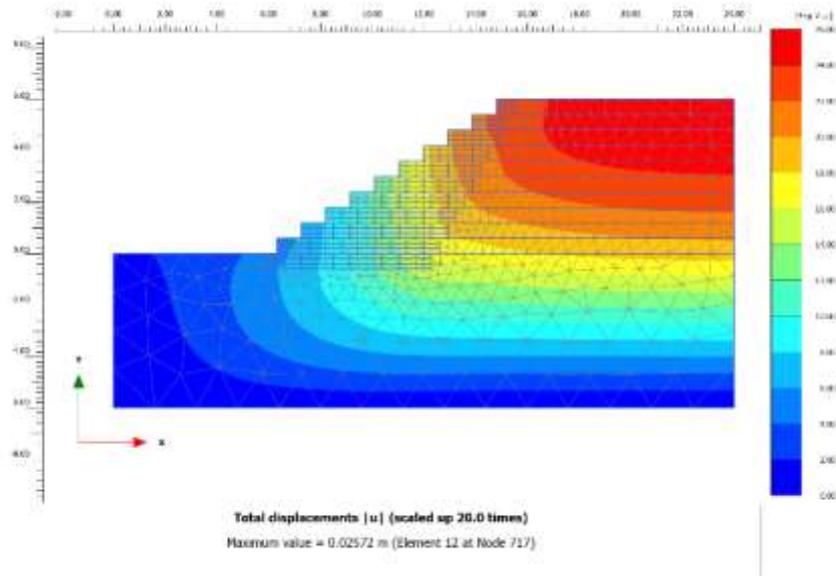
### Deformasi

Deformasi tanah terjadi akibat pembebanan baik beban hidup maupun beban mati. Deformasi yang besar dapat mengakibatkan ketidakstabilan pada struktur sehingga deformasi harus dibatasi. Berikut pada Gambar 12 dilampirkan pemodelan pada program Plaxis untuk menghitung deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah.



Gambar 12. Rincian Pemodelan Dinding Konfigurasi 1 Pada Program Plaxis 2D

Pada Gambar 13 adalah corak deformasi yang terjadi pada dinding konfigurasi 1 dengan *filler* pasir dihitung menggunakan program Plaxis 2D, dengan hasil perhitungan seperti yang dilampirkan pada Tabel 6.



Gambar 13. Deformasi Pada Dinding Konfigurasi 1 – Pasir

Tabel 6. Deformation of Retaining Wall

<i>Deformation</i>	<i>Total</i> (m)
<i>Configuration 1</i>	
<i>Sand</i>	0,02572
<i>Gravel</i>	0,02562
<i>Sand-Gravel</i>	0,02567
<i>Configuration 2</i>	
<i>Sand</i>	0,02595
<i>Gravel</i>	0,02565
<i>Sand-Gravel</i>	0,02572
<i>Configuration 3</i>	
<i>Sand</i>	0,02573
<i>Gravel</i>	0,02559
<i>Sand-Gravel</i>	0,02563
<i>Configuration 4</i>	
<i>Sand</i>	0,02595
<i>Gravel</i>	0,02580
<i>Sand-Gravel</i>	0,02587
<i>Configuration 5</i>	
<i>Sand</i>	0,02606
<i>Gravel</i>	0,02578
<i>Sand-Gravel</i>	0,02585
<i>Gabion</i>	
<i>Stone</i>	0,02580

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis stabilitas eksternal dinding penahan tanah dengan perhitungan manual baik dinding susunan ban bekas dan dinding bronjong memenuhi syarat aman terhadap keruntuhan geser, keruntuhan guling, serta kapasitas dukung tanah.
2. Dari perhitungan stabilitas eksternal didapatkan bahwa kapasitas daya dukung pada dinding penahan tanah susunan ban bekas, yaitu dinding konfigurasi 1, konfigurasi 2 dan konfigurasi 3 lebih aman dibanding dinding bronjong bila ditinjau dari angka keamanannya.  
Angka keamanan dinding konfigurasi 1 berkisar antara 3,68 – 4,20.  
Angka keamanan dinding konfigurasi 2 berkisar antara 6,86 – 7,13.  
Angka keamanan dinding konfigurasi 3 berkisar antara 4,54 – 4,73.  
Sedangkan angka keamanan dinding bronjong sebesar 3,67.
3. Hasil analisis deformasi dinding penahan tanah dengan program didapatkan rata-rata deformasi terbesar terjadi pada dinding konfigurasi 2 sebesar 0,026780 m, konfigurasi 3 sebesar 0,026432 m dan yang terkecil konfigurasi 1 sebesar 0,025798 m.
4. Hasil analisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap keruntuhan lereng dengan program didapatkan angka keamanan dinding konfigurasi 1 sebesar 2,100 – 2,105, dinding konfigurasi 2 sebesar 1,928 – 2,012 dan dinding konfigurasi 3 sebesar 2,036 – 2,074. Sedangkan angka keamanan dinding bronjong sebesar 1,905.
5. Dari perhitungan stabilitas eksternal didapatkan bahwa terjadi peningkatan angka keamanan pada dinding konfigurasi 4 terhadap konfigurasi 1 sebesar 0,51 (geser), 3,40 (guling), 3,10 (daya dukung tanah) dan 0,286 (kelongsoran).
6. Dari perhitungan stabilitas eksternal didapatkan bahwa terjadi peningkatan angka keamanan pada dinding konfigurasi 5 terhadap konfigurasi 2 sebesar 0,51 (geser), 3,0 (guling) dan 0,32 (kelongsoran). Sedangkan terjadi penurunan angka keamanan daya dukung tanah sebesar 0,344.
7. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa dinding penahan tanah susunan ban bekas dapat digunakan sebagai alternatif dinding penahan tanah konvensional. Perilaku dinding penahan tanah dari ban bekas lebih baik dan efektif dibanding dinding bronjong, dengan catatan semakin besar sudut kemiringan dinding ke arah timbunan, maka semakin baik juga perilaku dinding penahan tanah susunan ban bekas tersebut. Oleh karena itu, dinding penahan ban bekas dengan posisi ‘bersandar’ seperti dinding konfigurasi 1 & konfigurasi 4 sangat disarankan.

### Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang didapatkan, adapun beberapa saran untuk melengkapi kekurangan penelitian sebagai berikut:

1. Dilakukan percobaan di lapangan lalu dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis.
2. Jenis tanah timbunan di belakang dinding dan tanah dasar dapat divariasikan sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap keseluruhan stabilitas struktur penahan tanah.
3. Melakukan analisis dengan memperhitungkan penurunan konsolidasi untuk analisa jangka panjang.
4. Melakukan analisis dengan memperhitungkan tekanan air tanah dan efek curah hujan.
5. Melakukan analisis dengan memperhitungkan pengaruh getaran akibat gempa.
6. Melakukan analisis menggunakan campuran beton sebagai material pengisi ban, lalu dibandingkan dengan dinding beton konvensional.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M. A. (2020, Oktober 22). *Pasar Otomotif Terperosok, Produksi Ban 2020 Mengempis*. Retrieved from Ekonomi: <https://ekonomi.bisnis.com/read/20201022/257/1308379/pasar-otomotif-terperosok-produksi-ban-2020-mengempis>
- Badan Standardisasi Nasional. (1999). Spesifikasi Bronjong Kawat. *SNI 03-0090-1999*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik. *SNI 8460:2017*.
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principle Of Foundation Engineering. 9th Edition*. Stamford, USA: Cengage Learning, Inc.
- Dekoruma, K. (2018, January 23). Kupas Tuntas Bronjong, Dari Penahan Longsor Hingga Bagian Arsitektur Rumah. Retrieved from dekoruma: <https://www.dekoruma.com/artikel/62125/apa-itu-bronjong#kania>
- Hardiyatmo, H. C. (2006). *Tanah Longsor & Erosi: Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi (Bagian 1). Edisi ke-2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2019). *Mekanika Tanah 1, Edisi Tujuh*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hylands, K. N., & Shulman, V. (2003). *Civil Engineering Applications of Tyres*. Crowthorne, United Kingdom: Viridis Report VR5, Transport Research Laboratory.
- Peerdawood, C. T., & Mawlood, Y. I. (2010). *Analytical Study for Stability of Gabion Walls*. Hawler-Kurdistan Region: College of Engineering, University of Salahaddin.
- Suhendra, A. (2013, December 2). Aplikasi Produk Geosintetik Untuk Pekerjaan Reklamasi Pantai. *Binus University ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, pp. 764-775.
- Susilo, A. J. (2016). Enhancing The Strength Properties of Fly Ash By Adding Waste Products. *UKnowledge, University of Kentucky*, 39-42.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. USA: John Wiley and Sons, Inc, USA. 2nd Edition.

