

BAB V Pembahasan

V.1. Desain

V.1.1. Uraian Umum

Desain stabilitas untuk model perkuatan lereng dilakukan dengan bantuan aplikasi Plaxis V.8.2. Aplikasi Plaxis V.8.2 merupakan aplikasi berbasis metode elemen hingga untuk model berbentuk 2D (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016). Desain perkuatan yang digunakan untuk lereng ini ada 2 yaitu metode perkuatan lereng dengan menggunakan geosintetik, dan kombinasi antara bronjong dan geosintetik. Penggunaan material geosintetik di pilih karena material tersebut lebih ramah lingkungan dan lebih terlihat asri dengan kualitas kekuatan yang sama (Tijani, 2015). Dalam mendesain kedua metode perkuatan lereng, kriteria yang digunakan adalah untuk mencapai nilai faktor keamanan yang relatif sama. Metode perkuatan yang dipilih kemudian ditentukan berdasarkan perbandingan harga.

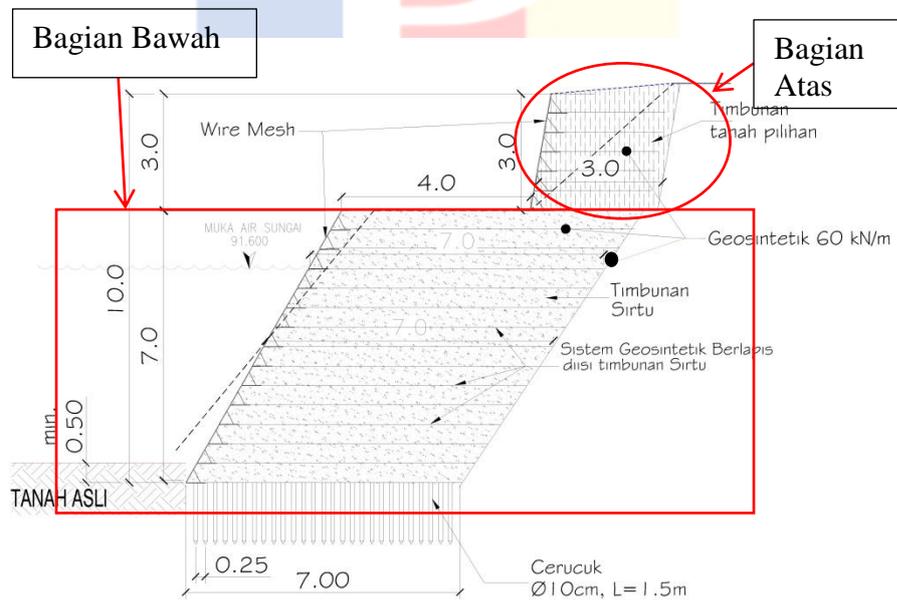
V.1.2. Desain Stabilitas Perkuatan Lereng Geosintetik

Desain stabilitas lereng dengan menggunakan material geosintetik dilakukan berdasarkan nilai properties material yang di dapat dari hasil uji sondir (S-02), data laboratorium material isi, dan data geosintetik yang diuraikan dalam Bab IV. Desain dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang relatif sama dengan perkuatan kombinasi bronjong dan geosintetik dengan minimum nilai faktor keamanan 1,5 (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Berikut adalah beberapa tahapan untuk menentukan nilai faktor kemanan pada lereng (langkah-langkah perkuatan lereng dengan aplikasi Plaxis V.8.2 yang lebih lengkap dapat melihat lampiran D).

1. Membuat pemodelan perkuatan lereng berdasarkan rencana perkuatan lereng. Menurut Departemen Pekerjaan Umum tentang perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik (2009) desain lereng yang diperkuat dapat memiliki kemiringan antara 70° - 90° . Tetapi dalam analisis perkuatan lereng, kemiringan lereng tidak terlalu berpengaruh terhadap

desain perkuatan lereng. Hal ini dikarenakan desain perkuatan dipengaruhi oleh material perkuatan yang digunakan (Chasanah, 2012).

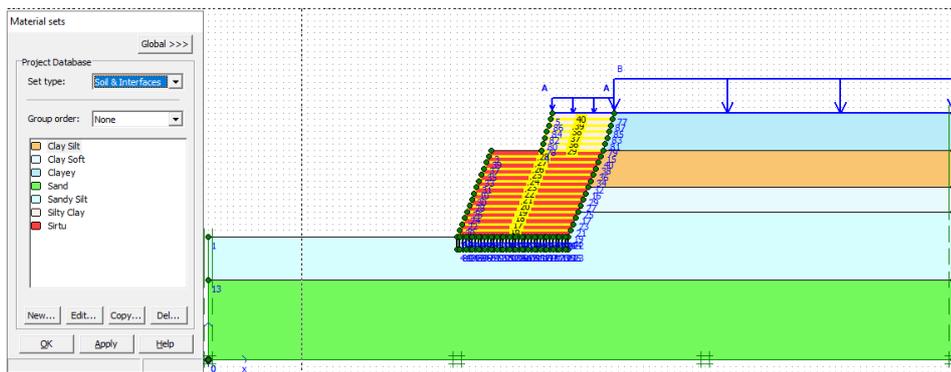
Gambar V.1 merupakan desain perkuatan lereng geosintetik yang terdiri dari dua bagian (bawah dan atas). Lereng bagian bawah memiliki ketinggian 7 meter dengan lebar 7 meter dan kemiringan lerengnya 80° . Pada dasar lereng bagian bawah terdapat cerucuk berdiameter 10cm dengan kedalaman 1,5m, jarak antar cerucuk 0,25 m. Material geosintetik yang digunakan memiliki kuat tarik 60 kN/m^2 dengan lebar 7 meter hingga menutupi permukaan dan belakang lereng dengan jarak vertikal antar geosintetik 0,5 m. Menurut Chasanah (2012) penggunaan material geosintetik secara optimum memiliki jarak vertikal antara 0,5-1 meter dan jarak horizontal 5-10 meter. Material timbunan sirtu (pasir batu) digunakan pada lereng bagian bawah. Hal ini dikarenakan lereng bagian bawah berperan sebagai penahan utama dalam kestabilan lereng (Kim, Kotwal, Cho, Wilde, & You, 2019).



Gambar V.1 Detail Perkuatan Lereng Geosintetik

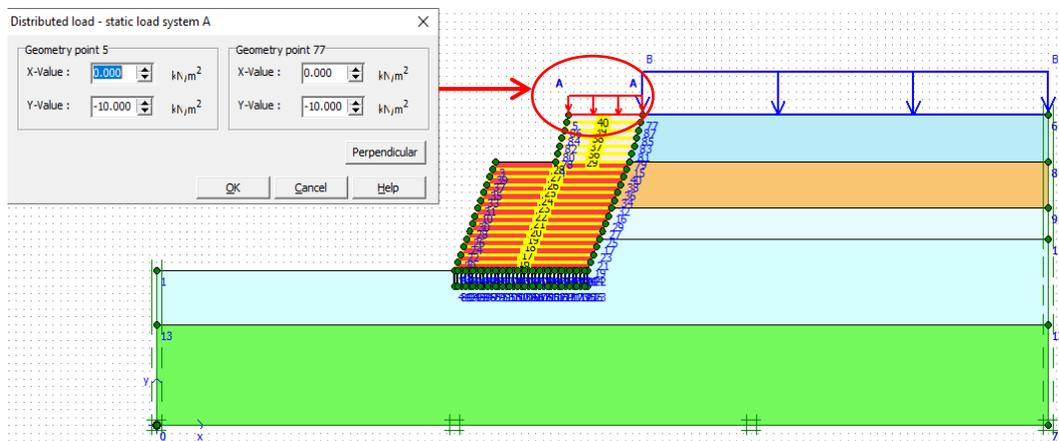
Pemodelan lereng bagian atas memiliki ketinggian 3 meter dengan lebar 3 meter dan kemiringan lerengnya sebesar 85° . Material geosintetik yang digunakan memiliki kuat tarik 60 kN/m^2 dengan lebar 3 meter hingga

menutupi permukaan lereng dengan jarak vertikal antar goesintetik 0,5 m. Material lempung lanau (*silty clay*) dipakai sebagai material timbunan pada lereng bagian atas. Permukaan lereng diberikan *wire mesh* agar dapat ditanami vegetasi (tumbuhan) untuk memperindah dan memperkuat lereng (Niroumand, Kassim, Ghafooripour, & Nazir, 2012). Berikut pemodelan perkuatan lereng menggunakan geosintetik (geoframe) pada aplikasi Plaxis V.8.2.

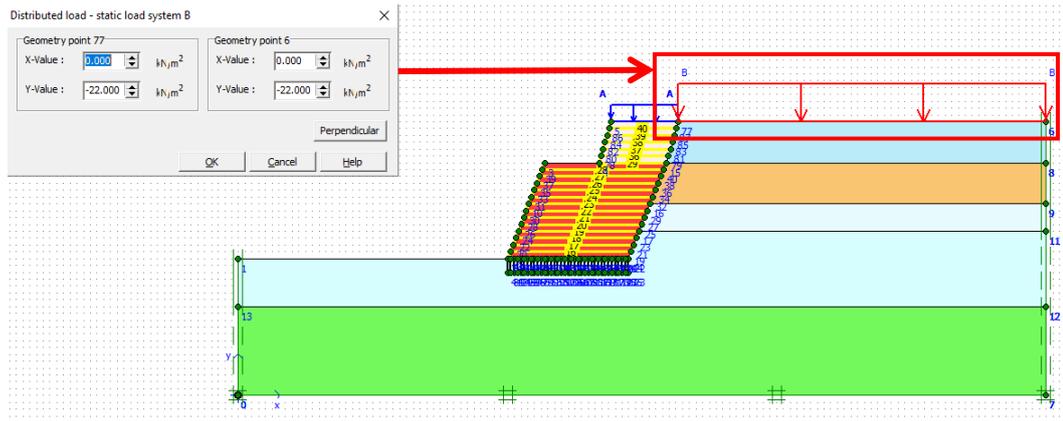


Gambar V.2 Material Info Analisis Stabilitas Lereng Geosintetik

2. Kondisi lereng yang berada di dekat sekolah serta jalan yang hanya dilalui kendaraan kecil, sehingga jalan tersebut termasuk dalam kategori II. Berdasarkan SNI SNI 8460:2017 Tabel 24, kondisi jalan yang termasuk golongan II. Gambar V.3 (a) merupakan distribusi gaya A sebesar 10 kPa sebagai beban kendaraan, dan Gambar V.3 (b) merupakan distribusi gaya B sebesar 22 kPa sebagai beban bangunan dan kendaraan.



(a) Beban Merata A dengan Kapasitas 10 kPa



(b) Beban Merata B dengan Kapasitas 22 kPa

Gambar V.3 Beban Merata yang Bekerja Pada Perkuatan Lereng Geosintetik

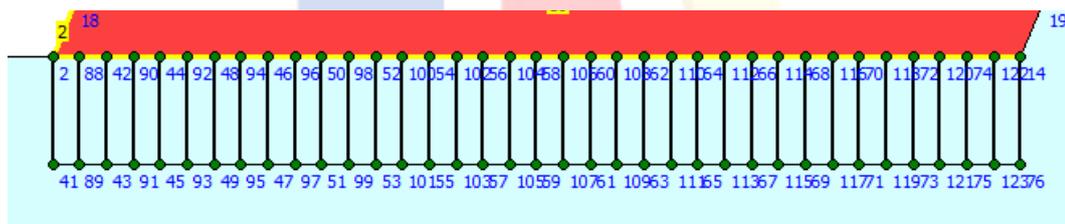
3. Berdasarkan hasil peninjauan lokasi secara langsung dan uji lapangan di dapatkan ketinggian air sungai setinggi 6 meter dari dasar sungai, dan muka air tanah sedalam 2 meter dari permukaan tanah. Selanjutnya ketinggian air dimasukkan ke dalam pemodelan aplikasi Plaxis V.8.2 seperti yang terlihat pada Gambar V.3.



Gambar V.4 Kondisi Air Sungai Eksisting

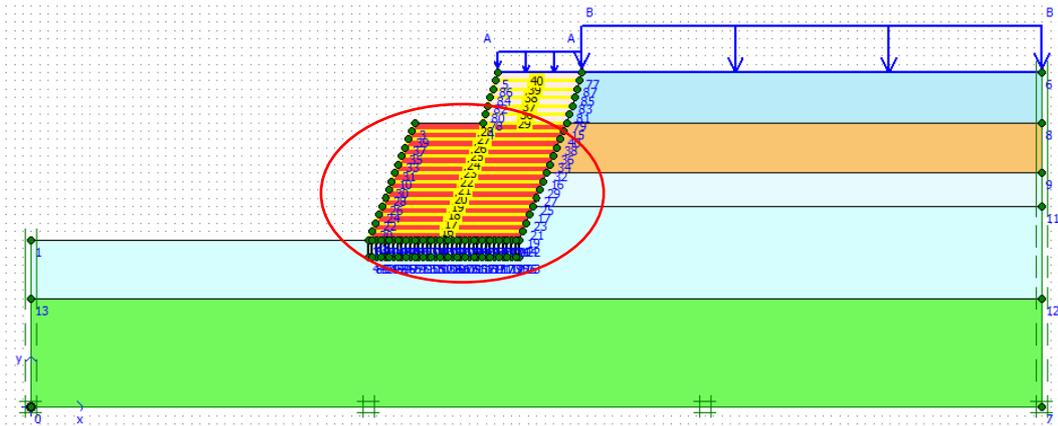
Analisis beban air dengan menggunakan Aplikasi Plaxis V.8.2 dilakukan dengan cara menonaktifkan perkuatan lereng tersebut. Hal ini bertujuan agar saat desain sesuai dengan kondisi aktual di lapangan (Budhu, 2011). Tetapi pada kenyataannya sungai tersebut di bendung saat fase konstruksi. Hal ini bertujuan agar air tidak membanjiri area konstruksi. Tetapi beban air masih dapat meresap dari pori-pori tanah, sehingga beban air tetap diperhitungkan seperti di atas saat melakukan desain.

4. Urutan Analisis Perkuatan Lereng Geosintetik pada Aplikasi Plaxis V.8.2. Menurut Wihardi, Murniwansyah, & Saleh (2018) urutan pemodelan Plaxis V.8.2 yang dilakukan adalah sebagai berikut:
 - Gravity Load merupakan beban tersendiri dari lereng tersebut sebelum diperkuat.
 - NILL Step merupakan proses lereng ketika melakukan fase konstruksi sebelum diberikan beban tambahan di atasnya (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016).
 - SF merupakan nilai faktor keamanan lereng sebelum memasuki tahap konstruksi.
 - Cerucuk Dolken Merupakan kayu yang berguna sebagai fondasi awal, untuk tahap ini menggunakan material kayu dolken. Biasanya di Aplikasi Plaxis di ibaratkan sebagai node to node anchor dengan jarak 0,25m atau sesuai dengan spesifikasi material pada subbab IV.3.2.



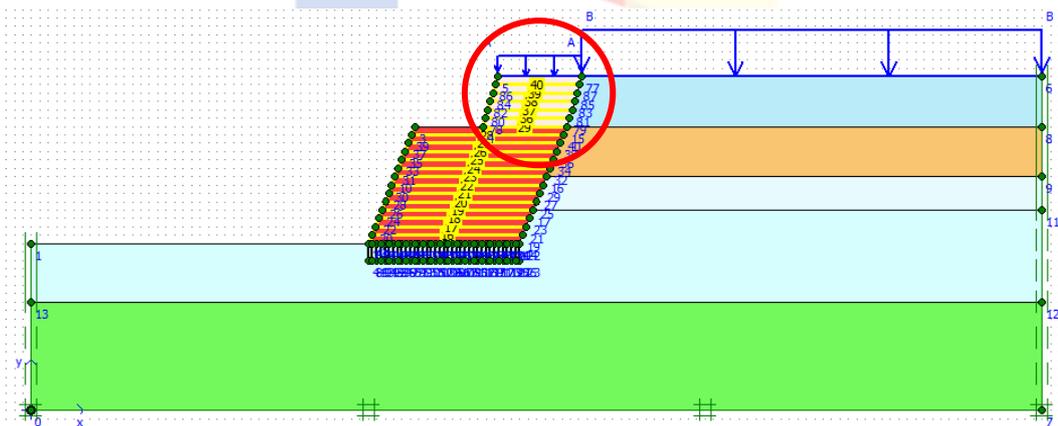
Gambar V.5 Pemodelan Cerucuk Dolken di Aplikasi Plaxis V.8.2.

- Angka 1-14 merupakan layer lereng pada bagian bawah. Hal ini bertujuan agar pemodelan yang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang mungkin terjadi, yaitu pengerjaannya dengan cara perlayer (Chasanah, 2012).



Gambar V.6 Pemodelan Layer Geosintetik Pada Lereng Bagian Bawah

- Huruf A-F merupakan layer lereng pada bagian atas. Hal ini bertujuan agar pemodelan yang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang mungkin terjadi, yaitu pengerjaannya dengan cara perlayer.



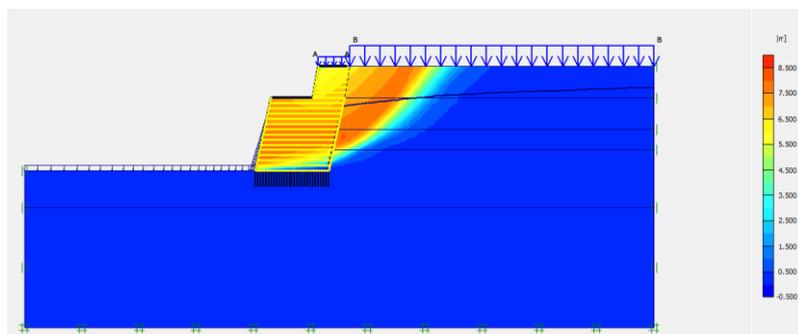
Gambar V.7 Pemodelan Layer Geosintetik Pada Lereng Bagian Atas

- SF merupakan nilai faktor keamanan lereng setelah diperkuat oleh material geosintetik sebelum diberikan beban.
- Load merupakan beban tamban pada atas lereng sesuai dengan subbab IV.2.2 point 2.
- SF load merupakan nilai faktor keamanan lereng setelah diperkuat dan diberikan beban secara menyeluruh.

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0
✓ Gravity Load	1	0	Plastic (UM+)	Total multipliers	0.00 ...	0
✓ NIL Step	2	1	Plastic (UM+)	Staged construction	0.00 ...	2
✓ SF	3	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	2
✓ Cerucuk Dolken	4	2	Consolidation (UM)	Staged Construction	0.00 ...	4
✓ 1	5	4	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	5
✓ 2	6	5	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	6
✓ 3	7	6	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	7
✓ 4	8	7	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	8
✓ 5	9	8	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	9
✓ 6	10	9	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	10
✓ 7	11	10	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	11
✓ 8	12	11	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	12
✓ 9	13	12	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	13
✓ 10	14	13	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	14
✓ 11	15	14	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	15
✓ 12	16	15	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	16
✓ 13	17	16	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	17
✓ 14	18	17	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	18
✓ A	19	18	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	19
✓ B	20	19	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	20
✓ C	21	20	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	21
✓ D	22	21	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	22
✓ E	23	22	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	23
✓ F	24	23	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	24
✓ SF	25	24	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	24
✓ LOAD	26	24	Plastic (UM+)	Staged construction	2.00 ...	26
✓ SF LOAD	27	26	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	26

Gambar V.8 Urutan Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Geosintetik

- Analisis stabilitas perkuatan lereng menggunakan material geosintetik dengan bantuan aplikasi Plaxis V.8.2 yang ditunjukkan oleh Gambar V.9 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar $1,514 \approx 1,51$. Menurut SNI 8460-2017 tabel 26, nilai faktor keamanan untuk perkuatan lereng permanen sebesar $\geq 1,5$. Sehingga lereng tersebut dinyatakan telah kuat permanen.



(a) Total Displacement Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Dengan Menggunakan Geosintetik

Calculation information

Multipliers | Additional Info | Step Info

Step Info			
Step	356 of 356	Extrapolation factor	1,000
PLASTIC STEP		Relative stiffness	0,000

	Incremental Multipliers		Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ -Mdisp:	1,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ -MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ -MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ -Mweight:	1,500
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ -Maccel:	0,000
Strenght reduction factor	Msf:	0,001	Σ -Msf:	1,514
Time	Increment:	0,000	End time:	22,437
Dynamic Time	Increment:	0,000	End time:	0,000

(b) Calculation Information Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Menggunakan Material Geosintetik

Gambar V.9 Nilai Faktor Keamanan Lereng Setelah Diperkuat Menggunakan Material Geosintetik

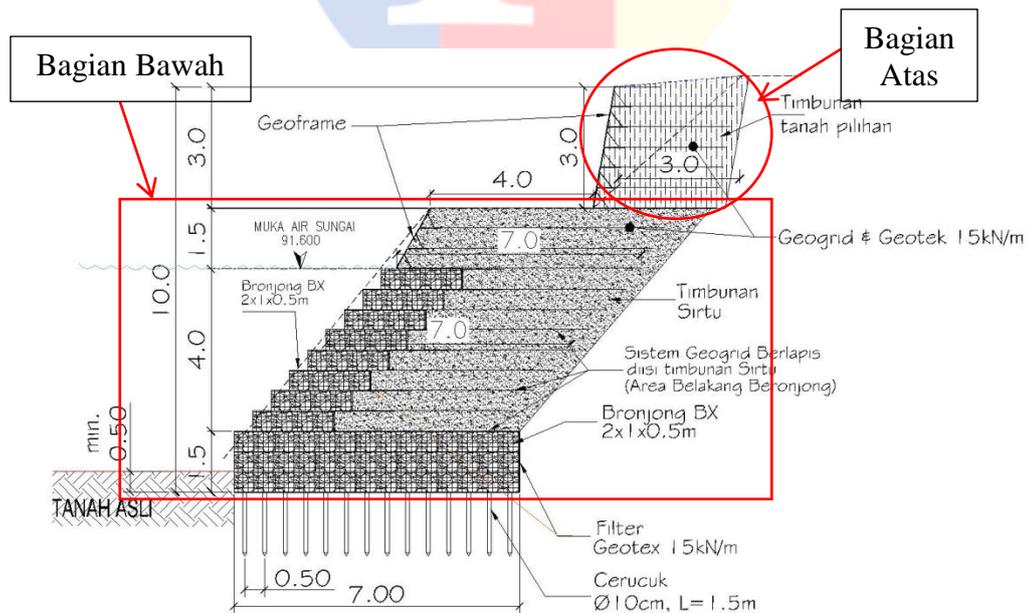
V.1.3. Desain Stabilitas Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Desain stabilitas lereng dengan menggunakan kombinasi material bronjong dan geosintetik dilakukan berdasarkan nilai properties material yang di dapat dari hasil uji sondir (S-02), data laboratorium material isi, dan data geosintetik yang diuraikan dalam Bab IV. Desain ini dilakukan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan perkuatan lereng dengan nilai relatif sama dengan perkuatan lereng menggunakan geosintetik dengan minimum nilai faktor keamanan 1,5 (Badan Standarisasi Nasional, 2017). Berikut adalah beberapa tahap untuk menentukan nilai faktor kemanan pada lereng (langkah-langkah perkuatan lereng dengan Aplikasi Plaxis yang lebih lengkap dapat melihat lampiran D).

1. Membuat pemodelan perkuatan lereng berdasarkan rencana perkuatan lereng. Menurut Departemen Pekerjaan Umum tentang perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik (2009) desain lereng yang

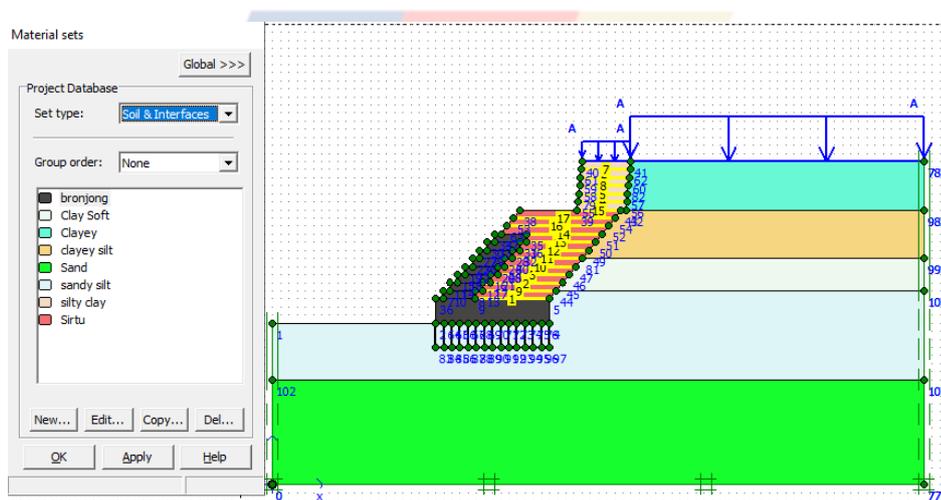
diperkuat dapat memiliki kemiringan antara 70°-90°. Tetapi dalam analisis perkuatan lereng, kemiringan lereng tidak terlalu berpengaruh terhadap desain perkuatan lereng. Hal ini dikarenakan desain perkuatan dipengaruhi oleh material perkuatan yang digunakan (Chasanah, 2012).

Gambar V.10 merupakan desain perkuatan lereng menggunakan kombinasi bronjong dan geosintetik terdapat dua bagian (bawah dan atas). Lereng bagian bawah memiliki ketinggian 7 meter dengan lebar mencapai 7 meter dan kemiringan lerengnya 80°. Di dasar lereng bagian bawah terdapat cerucuk berdiameter 10 cm dengan kedalaman 1,5 m, jarak antar cerucuk 0,5 m. Bronjong isi batu kali di desain pada ketinggian 0-1,5 meter dari dasar lereng bagian bawah, serta setiap 0,5 meter penambahan tinggi terdapat bronjong di depan permukaan lereng dengan lebar 1 meter dan material geosintetik yang memiliki kuat tarik 24 kN/m² dengan panjang 6 meter hingga ketinggian 5,5 meter dan panjang 7 meter di ketinggian 5,5-7m. Material timbunan sirtu (pasir batu) digunakan pada lereng bagian bawah. Hal ini dikarenakan lereng bagian bawah berperan sebagai penahan utama dalam kestabilan lereng (Kim, Kotwal, Cho, Wilde, & You, 2019).



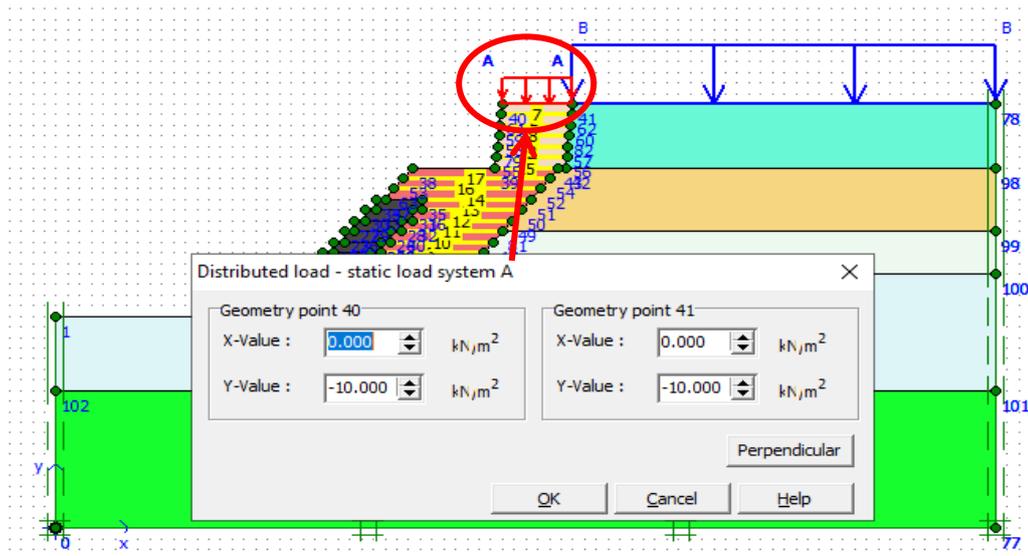
Gambar V.10 Detail Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Pemodelan lereng bagian atas memiliki ketinggian 3 meter dengan lebar 3 meter dan kemiringan lerengnya sebesar 85° . Material geosintetik yang digunakan memiliki kuat tarik 24 kN/m^2 dengan lebar 3 meter hingga menutupi permukaan lereng (Direktorat Bina Teknik, 2009) dengan jarak vertikal antar geosintetik sebesar 0,5 meter. Material lempung lanau (*silty clay*) dipakai sebagai material timbunan pada lereng bagian atas. Permukaan lereng diberikan *wire mesh* agar dapat ditanami vegetasi (tumbuhan) untuk memperindah dan memperkuat lereng (Niroumand, Kassim, Ghafooripour, & Nazir, 2012). Berikut pemodelan perkuatan lereng menggunakan geosintetik (geoframe) pada aplikasi Plaxis V.8.2.

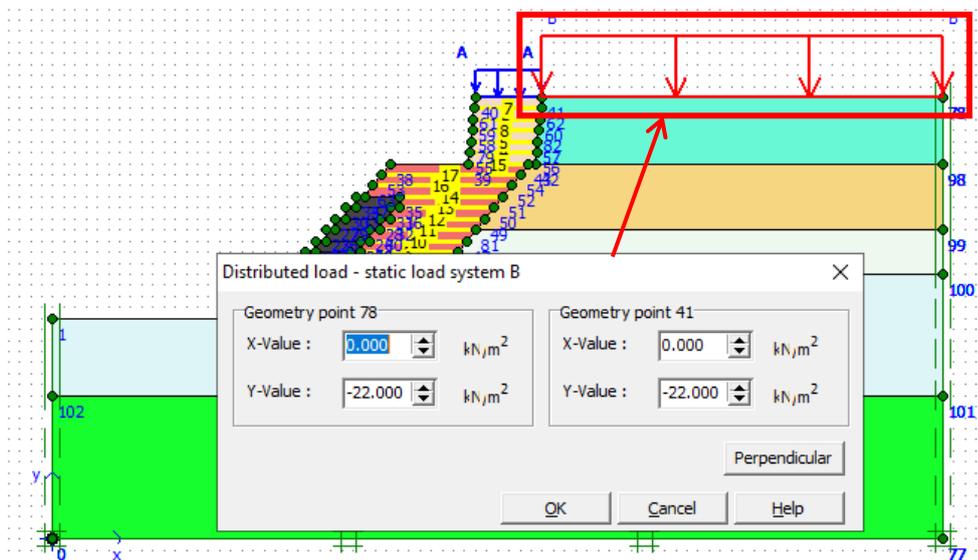


Gambar V.11 Material Info Analisis Stabilitas Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

2. Kondisi lereng yang berada di dekat sekolah serta jalan yang hanya dilalui kendaraan kecil, sehingga jalan tersebut termasuk dalam kategori II. Berdasarkan SNI SNI 8460:2017 Tabel 24, kondisi jalan yang termasuk golongan II. Gambar V.12 (a) merupakan distribusi gaya A sebesar 10 kPa sebagai beban kendaraan, dan Gambar V.3 (b) merupakan distribusi gaya B sebesar 22 kPa sebagai beban bangunan dan kendaraan.



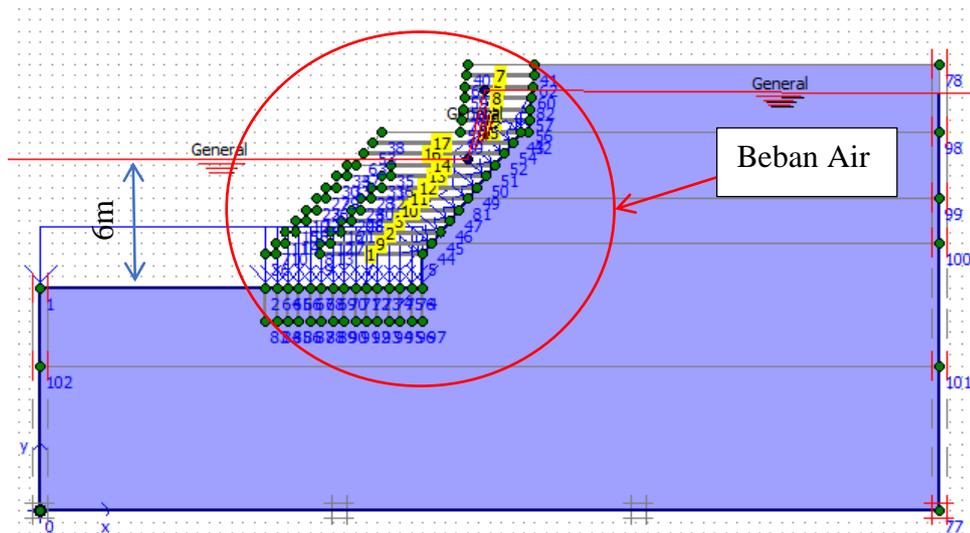
(a) Beban Merata A dengan Kapasitas 10 kPa



(b) Beban Merata B dengan Kapasitas 22 kPa

Gambar V.12 Beban Merata yang Bekerja Pada Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

3. Berdasarkan hasil peninjauan lokasi secara langsung dan uji lapangan di dapatkan ketinggian air sungai setinggi 6 meter dari dasar sungai, dan muka air tanah sedalam 2 meter dari permukaan tanah. Selanjutnya ketinggian air dimasukkan ke dalam pemodelan aplikasi Plaxis V.8.2 seperti yang terlihat pada Gambar V.11.

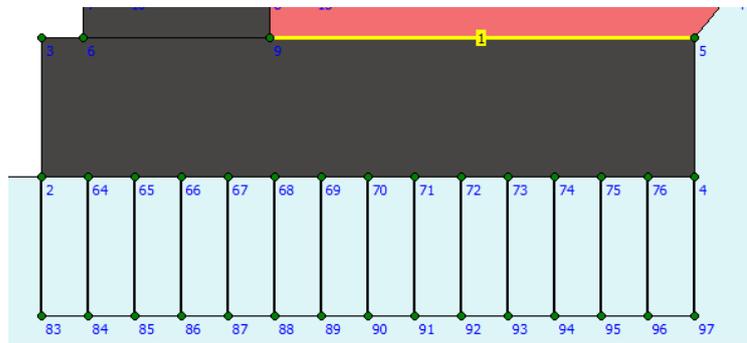


Gambar V.13 Kondisi Air Sungai Eksisting

Analisis beban air dengan menggunakan aplikasi Plaxis V.8.2 dilakukan dengan cara menonaktifkan perkuatan lereng tersebut. Hal ini bertujuan agar saat desain sesuai dengan kondisi aktual di lapangan (Budhu, 2011). Tetapi pada kenyataannya sungai tersebut di bendung saat fase konstruksi. Hal ini bertujuan agar air tidak membanjiri area konstruksi. Tetapi beban air masih dapat meresap dari pori-pori tanah, sehingga beban air tetap diperhitungkan seperti di atas saat melakukan desain.

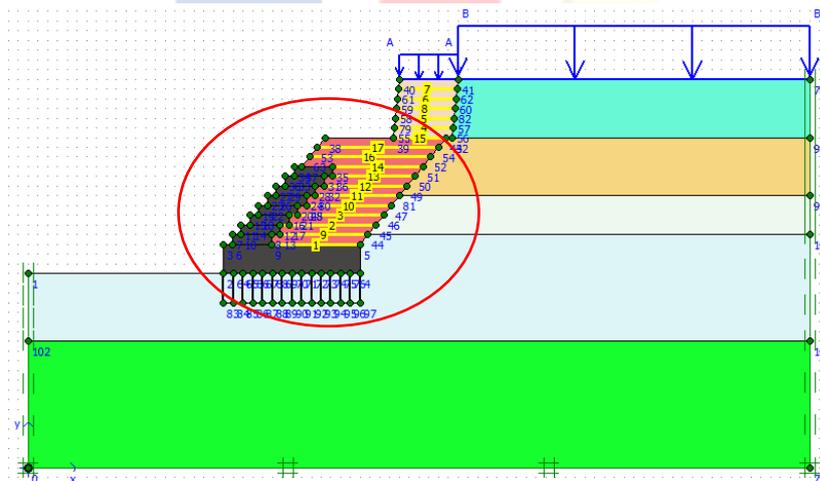
4. Urutan Analisis Perkuatan Lereng pada Aplikasi Plaxis V.8.2.
Menurut Wihardi, Murniwansyah, & Saleh (2018) urutan pemodelan Plaxis V.8.2 yang dilakukan adalah sebagai berikut
 - Gravity Load merupakan beban tersendiri dari lereng tersebut sebelum diperkuat.
 - NILL Step merupakan proses lereng ketika melakukan fase konstruksi sebelum diberikan beban tambahan di atasnya (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016).
 - SF merupakan nilai faktor keamanan lereng sebelum memasuki tahap konstruksi.
 - Cerucuk Dolken Merupakan kayu yang berguna sebagai fondasi awal, untuk tahap ini menggunakan material kayu dolken. Biasanya di

Aplikasi Plaxis di ibaratkan sebagai node to node anchor dengan jarak 0,5m atau sesuai dengan spesifikasi material pada subbab IV.3.2.



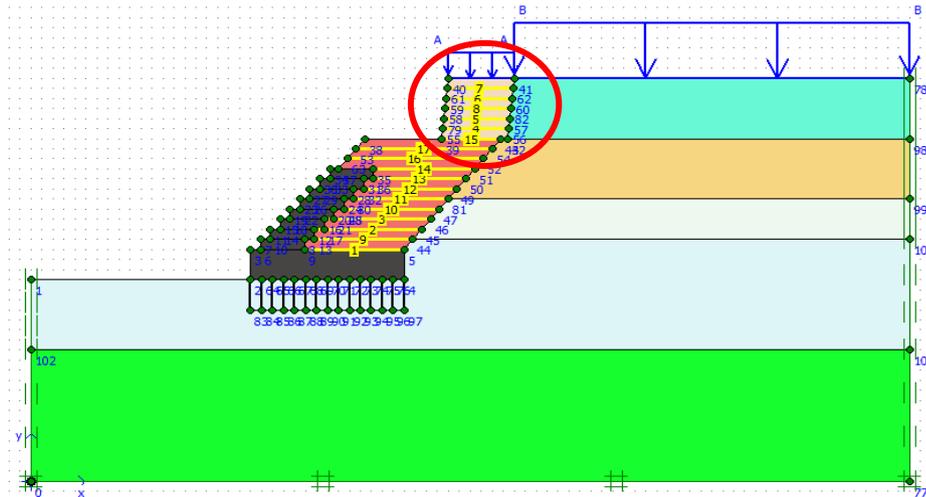
Gambar V.14 Pemodelan Cerucuk Dolken di Aplikasi Plaxis V.8.2.

- Angka 1-12 merupakan layer lereng pada bagian bawah (tipe 1). Hal ini bertujuan agar pemodelan yang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang mungkin terjadi, yaitu pengerjaannya dengan cara perlayer (Chasanah, 2012).



Gambar V.15 Pemodelan Layer Bronjong & Geosintetik Pada Lereng Bagian Bawah

- Huruf A-F merupakan layer lereng pada bagian atas (tipe 2). Hal ini bertujuan agar pemodelan yang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang mungkin terjadi, yaitu pengerjaannya dengan cara perlayer.



Gambar V.16 Pemodelan Layer Bronjong & Geosintetik Pada Lereng Bagian Atas

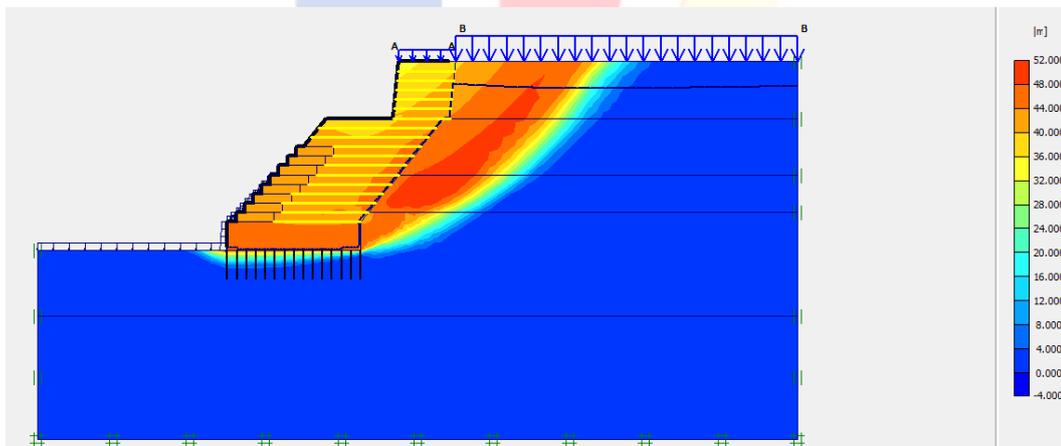
- SF merupakan nilai faktor keamanan lereng setelah diperkuat oleh kombinasi bronjong dan geosintetik sebelum diberikan beban.
- Load merupakan beban tamban pada atas lereng sesuai dengan subbab IV.2.3 point 2.
- SF load merupakan nilai faktor keamanan lereng setelah diperkuat dan diberikan beban secara menyeluruh.

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0
✓ gravity load	1	0	Plastic (UM+)	Total multipliers	0.00 ...	0
✓ NILL Step	2	1	Plastic (UM+)	Staged construction	0.00 ...	2
✓ SF	9	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	2
✓ cerucuk dolken	3	2	Consolidation (UM)	Staged Construction	0.00 ...	3
✓ 1	10	3	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	10
✓ 2	11	10	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	11
✓ 3	12	11	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	12
✓ 4	13	12	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	13
✓ 5	14	13	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	14
✓ 6	15	14	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	15
✓ 7	16	15	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	16
✓ 8	17	16	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	17
✓ 9	18	17	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	18
✓ 10	19	18	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	19

✓ 11	20	19	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	20
✓ 12	21	20	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	21
✓ A	22	21	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	22
✓ B	23	22	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	23
✓ C	24	23	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	24
✓ D	25	24	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	25
✓ E	26	25	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	26
✓ F	27	26	Consolidation (UM)	Staged Construction	1.00 ...	27
✓ SF	28	27	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	27
✓ LOAD	29	27	Plastic (UM+)	Staged construction	1.00 ...	29
✓ SF LOAD	30	29	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	29

Gambar V.17 Urutan Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

- Analisis stabilitas perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik dengan bantuan aplikasi Plaxis V.8.2 yang ditunjukkan oleh Gambar V.18 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar $1,512 \approx 1,51$. Menurut SNI 8460-2017 tabel 26, nilai faktor keamanan untuk perkuatan lereng permanen sebesar $\geq 1,5$. Sehingga lereng tersebut dinyatakan telah kuat permanen.



(a) Total Displacement Analysis Stabilitas Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Calculation information

Multipliers | Additional Info | Step Info

Step Info			
Step	567 of 567	Extrapolation factor	1,000
PLASTIC STEP		Relative stiffness	0,000

Multipliers				
	Incremental Multipliers		Total Multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0,000	Σ -Mdisp:	1,000
Load system A	MloadA:	0,000	Σ -MloadA:	1,000
Load system B	MloadB:	0,000	Σ -MloadB:	1,000
Soil weight	Mweight:	0,000	Σ -Mweight:	1,500
Acceleration	Maccel:	0,000	Σ -Maccel:	0,000
Strenght reduction factor	Msf:	0,000	Σ -Msf:	1,512
Time	Increment:	0,000	End time:	21,000
Dynamic Time	Increment:	0,000	End time:	0,000

(b) *Calculation Information* Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Gambar V.18 Nilai Faktor Keamanan Lereng Setelah Diperkuat Menggunakan Material Bronjong dan Geosintetik

V.2. Analisis Biaya Perkuatan Lereng

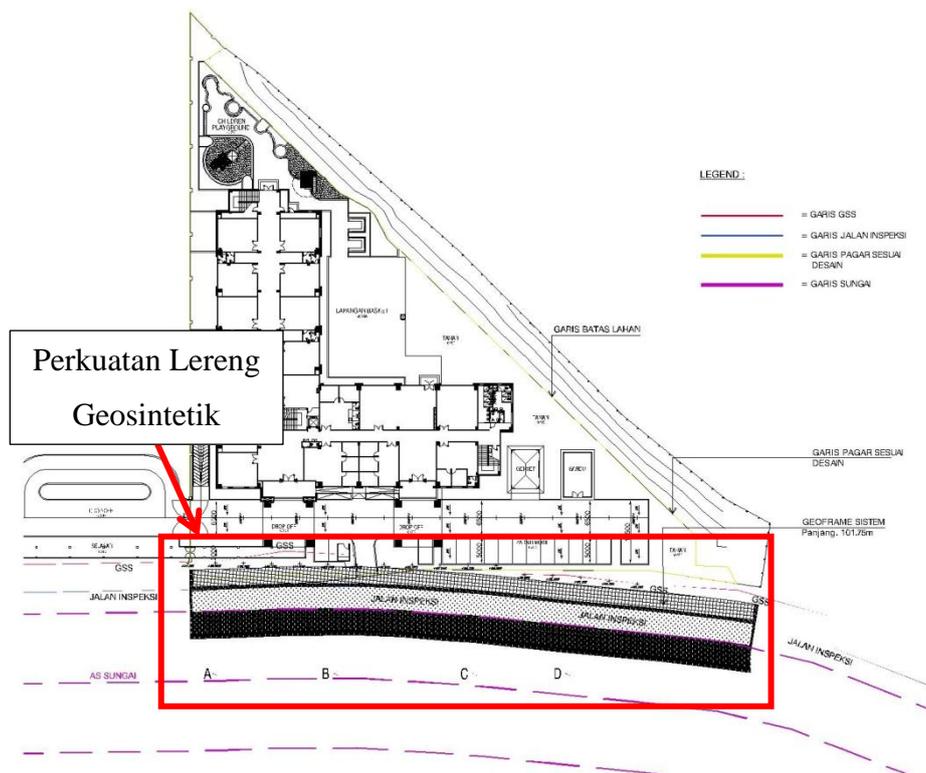
Perhitungan biaya dilakukan pada kedua jenis perkuatan lereng, hal ini bertujuan untuk mencari perbandingan harga termurah diantara kedua desain tersebut. Perencanaan anggaran biaya yang dilakukan berdasarkan perhitungan volume dari desain perkuatan dan analisis harga satuan yang telah dibuat (Husen, 2011).

V.2.1. Analisis Biaya Perkuatan Lereng Menggunakan Material Geosintetik

Analisis biaya perkuatan lereng menggunakan material geosintetik dilakukan dengan menghitung volume pekerjaan yang dilanjutkan dengan analisis harga satuan dari setiap item pekerjaan. Biaya yang didapatkan merupakan total biaya material, sumber daya manusia, dan alat untuk pekerjaan perkuatan lereng menggunakan material geosintetik.

V.2.1.1. Perhitungan Volume Pekerjaan Perkuatan Lereng Menggunakan Material Geosintetik

Perhitungan volume pekerjaan merupakan langkah pertama analisis biaya. Perhitungan volume pekerjaan harus sesuai dengan gambar atau desain yang dibuat. Untuk pekerjaan perkuatan lereng menggunakan material geosintetik, volume pekerjaan dihitung berdasarkan Gambar V.19 hingga Gambar V.21. Gambar V.19 merupakan denah pekerjaan perkuatan lereng yang akan dilakukan. Perhitungan hanya mencakup area perkuatan lereng. Gambar dibuat lebih rinci untuk kemudahan perhitungan. Tampak depan (Gambar V.20) memperlihatkan panjang dan tinggi perkuatan lereng sebesar masing-masing 100 meter dan 10 meter secara berurutan. Lebar lereng dihitung berdasarkan tampak samping desain seperti pada Gambar V.21. Gambar V.21 (a) merupakan tampak samping secara keseluruhan; sementara Gambar V.21 (b) merupakan detail dari perkuatan lereng.



Gambar V.19 Denah Perkuatan Lereng Geosintetik

Berdasarkan Gambar V.20 dan Gambar V.21 bentuk lereng terdiri dari dua bagian lereng (bawah dan atas). Setiap bagian lereng tersebut terdapat beberapa item dan volume pekerjaan sebagai berikut:

A. Perkuatan lereng bagian bawah

1. Pekerjaan cerucuk dolken

Pekerjaan cerucuk dilakukan pada bagian dasar lereng hingga kedalaman 1,5 m. Material cerucuk yang digunakan berdiameter 10 cm dengan jarak spasi 0,25 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah buah atau unit. Berikut rincian jumlah cerucuk dolken yang digunakan.

$$V = \frac{\text{Panjang Lereng}}{0,25} \times \frac{\text{Lebar Lereng}}{0,25} = \frac{100 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} \times \frac{7}{0,25 \text{ m}}$$

$$V = 11.200 \text{ buah}$$

2. Pekerjaan geosintetik

Pekerjaan geosintetik dilakukan pada bagian lereng dengan lebar 7 meter yang dipasang secara lembaran atau perlayer dengan jarak perlayer 0,5 meter. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m² (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar geosintetik} \times \text{Banyaknya layer}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 14 \text{ layer} = 9.800 \text{ m}^2$$

3. Pekerjaan geosintetik bagian belakang

Material geosintetik dipasang pada bagian belakang lereng yang memiliki ketinggian 7 meter dan panjang 100 meter. Hal ini sesuai dengan desain yang dilakukan pada aplikasi Plaxis V.8.2. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m² (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Tinggi geosintetik}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 700 \text{ m}^2$$

4. Timbunan Material Sirtu 0-7m

Timbunan dilakukan pada seluruh lereng dengan memberikan tambahan ketinggian tanah sebesar 0,2m. Hal ini bertujuan agar ketika melakukan pemadatan tanah, material timbunan memiliki ketinggian yang sesuai dengan elevasi rencana. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar timbunan} \times \text{Tinggi timbunan}$$

$$V = 100m \times 7m \times 7,2m = 5.040m^3$$

5. Pemadatan tanah ketinggian 7m

Pemadatan tanah yang dilakukan dengan ketebalan tanah mencapai 0,2m dengan ketinggian 7m sepanjang lereng. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar pemadatan} \times \text{Ketebalan Pemadatan}$$

$$V = 100 m \times 7 m \times 0,2 m = 140 m^3$$

6. Pekerjaan *wire mesh*

Pemasangan *wire mesh* dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian bawah dengan cara perlayer (0,5 m) dan diperpanjang 0,5m kedalam timbunan lereng. Sehingga panjang *wire mesh* yang digunakan sepanjang 1 meter untuk setiap layer. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Panjang Wire Mesh} \times \text{Banyaknya layer}$$

$$V = 100 m \times 7 m \times 14 \text{ layer} = 1.400 m^2$$

B. Perkuatan lereng bagian atas

1. Pekerjaan geosintetik

Pekerjaan geosintetik dilakukan pada bagian lereng dengan lebar 3 meter yang dipasang secara lembaran atau perlayer dengan jarak perlayer 0,5

meter. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar geosintetik} \times \text{Banyaknya layer}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 6 \text{ layer} = 1.080 \text{ m}^2$$

2. Timbunan Material *Silty Clay*

Timbunan dilakukan pada seluruh lereng dengan memberikan tambahan ketinggian tanah sebesar 0,2m. Hal ini bertujuan agar ketika melakukan pemadatan tanah, material timbunan memiliki ketinggian yang sesuai dengan elevasi rencana. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar timbunan} \times \text{Tinggi timbunan}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 960 \text{ m}^3$$

3. Pemadatan Tanah Ketinggian 10 m

Pemadatan tanah yang dilakukan dengan ketebalan tanah mencapai 0,2m dengan ketinggian 10m sepanjang lereng. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar pemadatan} \times \text{Ketebalan pemadatan}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 60 \text{ m}^3$$

4. Pekerjaan *wire mesh*

Pemasangan *wire mesh* dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian atas dengan cara perlayer (0,5m) dan diperpanjang 0,5m kedalam timbunan lereng. Sehingga panjang *wire mesh* yang digunakan sepanjang 1 meter untuk setiap layer. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Panjang Wire Mesh} \times \text{Banyaknya layer}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 6 \text{ layer} = 600 \text{ m}^2$$

5. Pekerjaan vegetasi (tumbuhan)

Pemasangan vegetasi (tumbuhan) dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian atas setinggi 3 meter dengan panjang 100 meter. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m² (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Tinggi vegetasi (tumbuhan)}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 300 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan volume pekerjaan perkuatan lereng geosintetik di atas, dibuatlah Tabel V.1 sebagai rekapitulasi volume pekerjaan. hal ini bertujuan agar mempermudah dalam proses perhitungan.

Tabel V.1 Rekapitulasi Volume Pekerjaan Perkuatan Lereng Geosintetik

No.	Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan
Lereng Bagian Bawah			
1	Pek. Cerucuk	11200	buah (bh)
2	Pek. Geosintetik	9800	m ²
3	Pek. Geosintetik Lereng Belakang	700	m ²
4	Timbunan Material Sirtu	5040	m ³
5	Pemadatan tanah ketinggian 7m	140	m ³
6	Pek. Wire Mesh	1400	m ²
Lereng Bagian Atas			
1	Pek. Geosintetik	1800	m ²
2	Timbunan Material Silty Clay	960	m ³
3	Pemadatan tanah ketinggian 10m	60	m ³
4	Pek. Wire Mesh	600	m ²
5	Vegetasi	300	m ²

V.2.1.2. Analisis Harga Satuan Perkuatan Lereng Geosintetik

Setelah mendapatkan volume pekerjaan untuk setiap masing-masing item pekerjaan, selanjutnya menghitung analisis harga satuan untuk masing-masing

item pekerjaan. AHS Pek. Geosintetik merupakan salah satu dari sebelas item pekerjaan yang dilakukan pada perkuatan lereng geosintetik (lebih lengkapnya lihat lampiran E)

Tabel V.2 merupakan AHS untuk pekerjaan geosintetik. Nilai koefisien pekerja dan mandor didapatkan dari produktivitas pekerja dan mandor dalam melakukan pemasangan material geosintetik. Atau secara garis besar 1 orang pekerja dapat memasang material geosintetik seluas 8,5 m² dan 1 orang mandor mampu mengerjakan pemasangan geosintetik seluas 25 m². Selain itu setiap 1 m² material geosintetik yang digunakan membutuhkan 1,2 m², kelebihan material dilakukan agar ketika fase konstruksi material geosintetik memiliki ukuran yang tepat sesuai rencana desain (Haq, 2017). Selanjutnya alat bantu yang digunakan mampu memasang geosintetik seluas 50m² sehingga mendapatkan koefisien sebesar 0,02.

Harga satuan berdasarkan buku harga jurnal satuan untuk item tenaga kerja dan alat bantu, sementara untuk material geosintetik didapatkan dari harga jual PT. Geoforce Indonesia. Selanjutnya nilai koefisien dikalikan dengan harga satuan pekerjaan lalu dijumlahkan dan di *mark up* 15% untuk profit (Haq, 2017) sehingga didapatkan analisis harga satuan pekerjaan untuk item pekerjaan geosintetik 60kN/m.

Tabel V.2 Analisis Harga Satuan Pemasangan Geosintetik 60 kN/m

Pemasangan Geosintetik 60 kN/m (m ²)					
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah
A		Tenaga Kerja			
1	Mandor	OH	0,0400	Rp118.000,00	Rp4.720,00
2	Pekerja	OH	0,1176	Rp184.000,00	Rp21.638,40
Jumlah Harga Tenaga Kerja(a)					Rp26.358,40
B		Bahan			
1	Geosintetik 60 kN/m	m ²	1,2000	Rp100.000,00	Rp120.000,00
Jumlah Harga Bahan(b)					Rp120.000,00

Tabel V.2 Analisis Harga Satuan Pemasangan Geosintetik 60 kN/m
(Lanjutan)

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah
C	Peralatan				
1	Alat Bantu	Ls	0,0200	Rp170.000,00	Rp3.400,00
Jumlah Harga Peralatan(c)					Rp3.400,00
D	Jumlah Harga(a)+(b)+(c)				Rp149.758,40
E	Profit (15%)		15%	x D	Rp22.463,76
F	Harga Satuan Pekerjaan				Rp172.222,16

V.2.1.3. Perencanaan Biaya Perkuatan Lereng Menggunakan Material Geosintetik

Berdasarkan perhitungan volume yang dilakukan pada subbab IV.2.1.1 dan analisis harga satuan pada subbab IV.2.1.2 didapatkan total biaya perkuatan lereng geosintetik yang terdapat pada Tabel V.3.

Tabel V.3 Total Biaya Perkuatan Lereng dengan Menggunakan Material Geosintetik

NO	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total
PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN ATAS					
1	Pek. Cerucuk	bh	11.200,00	Rp 30.173,70	Rp 337.945.440,00
2	Pek. Geosintetik 60kN/m	m2	9.800,00	Rp 172.222,16	Rp 1.687.777.168,00
3	Pek. Geosintetik 60kNm Lereng Belakang	m2	700,00	Rp 172.222,16	Rp 120.555.512,00

Tabel V.3 Total Biaya Perkuatan Lereng dengan Menggunakan Material Geosintetik (Lanjutan)

NO	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Total
4	Timbunan Material Sirtu 0-7m	m3	5.040,00	Rp 592.450,70	Rp 2.985.951.530,80
5	Pemadatan tanah ketinggian 7m	m3	140,00	Rp 85.056,07	Rp 11.907.849,80
6	Pek. Wire Mesh	m2	1.400,00	Rp 76.241,32	Rp 106.737.848,00
TOTAL					Rp 5.250.875.348,60
PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN ATAS					
1	Pek. Geosintetik 60kN/m	m2	1.800,00	Rp 172.222,16	Rp 309.999.888,00
2	Timbunan Material Silty Clay	m3	960,00	Rp 111.750,70	Rp 107.280.672,53
3	Pemadatan tanah (20 cm)	m3	60,00	Rp 85.056,07	Rp 5.103.364,20
4	Pek. Wire Mesh 7-10m	m2	600,00	Rp 76.241,32	Rp 45.744.792,00
5	Penanaman Vegetasi di Geosintetik	m2	300,00	Rp 44.985,70	Rp 13.495.710,00
TOTAL					Rp 481.624.426,73

Tabel V.4 merupakan rekapitulasi total biaya perkuatan lereng menggunakan material geosintetik berdasarkan Tabel V.3.

Tabel V.4 Rekapitulasi Total Biaya Perkuatan Lereng Geosintetik

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA (Rp)
A	PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN BAWAH	5.250.875.348,60
B	PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN ATAS	481.624.426,73
TOTAL BIAYA LANGSUNG		5.732.499.775,33
PAJAK PENGHASILAN (PPH 5%)		286.624.988,77
JUMLAH TOTAL		6.019.124.764,10
PEMBULATAN		6.019.125.000,00

Berdasarkan Tabel V.4, untuk pembuatan perkuatan lereng menggunakan material geosintetik sebesar Rp 6.019.625.000,00 (enam milyar sembilan belas juta enam ratus dua puluh lima ribu rupiah). Biaya tersebut sudah di mark up sebesar 5% untuk pajak.

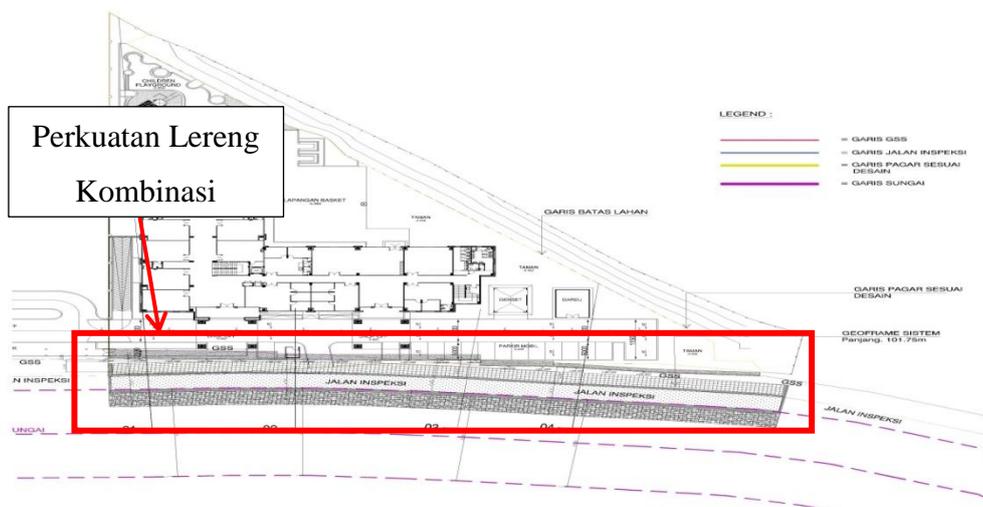
V.2.2. Analisis Biaya Perkuatan Lereng Menggunakan Material Bronjong dan Geosintetik

Analisis biaya perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik dilakukan dengan menghitung volume pekerjaan yang dilanjutkan dengan analisis harga satuan dari setiap item pekerjaan. Biaya yang didapatkan merupakan total biaya material, sumber daya manusia, dan alat untuk pekerjaan perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik.

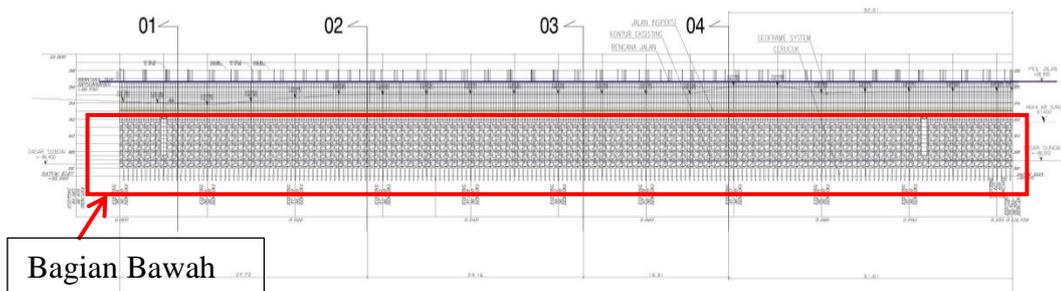
V.2.2.1. Perhitungan Volume Pekerjaan Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Perhitungan volume pekerjaan merupakan langkah pertama analisis biaya. Perhitungan volume pekerjaan harus sesuai dengan gambar atau desain yang dibuat. Untuk pekerjaan perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik,

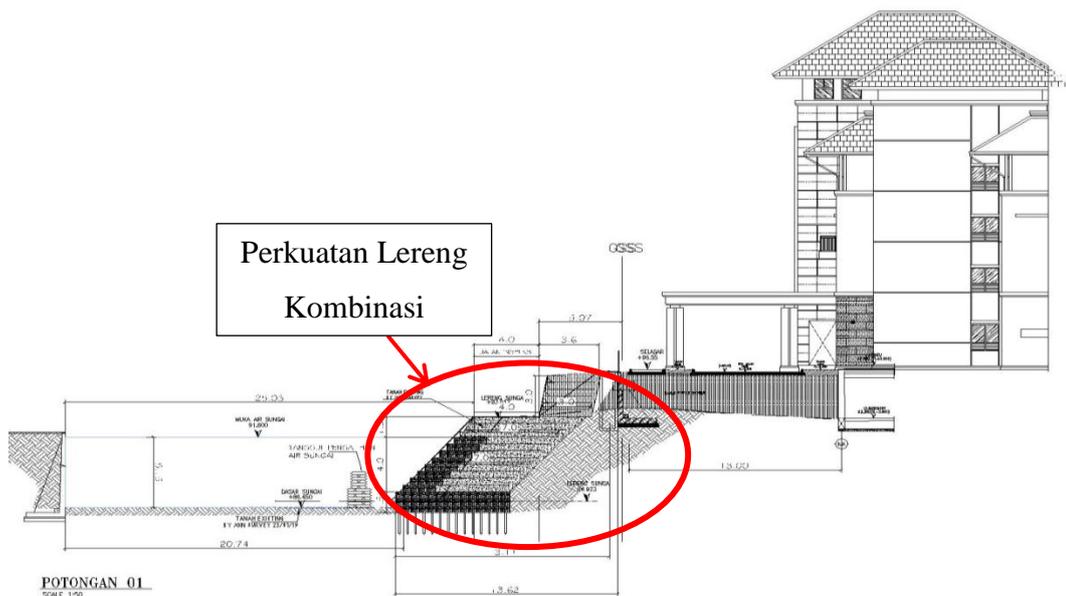
volume pekerjaan dihitung berdasarkan Gambar V.22 hingga Gambar V.24. Gambar V.22 merupakan denah pekerjaan perkuatan lereng yang akan dilakukan. Perhitungan hanya mencakup area perkuatan lereng. Gambar dibuat lebih rinci untuk kemudahan perhitungan. Tampak depan (Gambar V.20) memperlihatkan panjang dan tinggi perkuatan lereng sebesar masing-masing 100 meter dan 10 meter secara berurutan. Lebar lereng dihitung berdasarkan tampak samping desain seperti pada Gambar V.21. Gambar V.21 (a) merupakan tampak samping secara keseluruhan; sementara Gambar V.21 (b) merupakan detail dari perkuatan lereng.



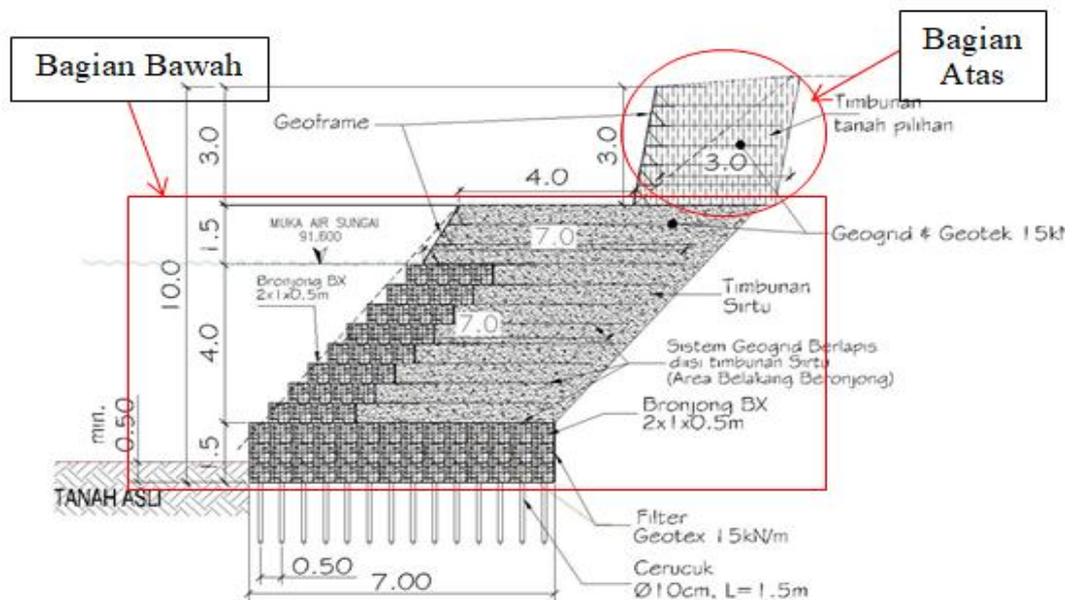
Gambar V.22 Denah Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik



Gambar V.23 Tampak Depan Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik



(a) Tampak Samping Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik



(b) Detail Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Gambar V.24 Detail Gambar Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Berdasarkan Gambar V.23 dan Gambar V.24 bentuk lereng terdiri dari dua bagian lereng (bawah dan atas). Setiap bagian lereng tersebut terdapat beberapa item dan volume pekerjaan sebagai berikut:

A. Pekerjaan Persiapan

1. Pekerjaan perakitan bronjong (2×1×0,5) m

Pekerjaan perakitan bronjong berdasarkan penggunaan material bronjong yang digunakan pada pekerjaan bronjong ukuran $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ketinggian 0-1,5 m dan 1,5-5,5 m dari dasar lereng.

$$V = V \text{ Pek. Bronjong } 0 - 1,5\text{m} + V \text{ Pek. Bronjong } 1,5 - 5,5$$

$$V = 1.050 \text{ m}^3 + 400 \text{ m}^3 = 1.450 \text{ m}^3$$

B. Perkuatan lereng bagian bawah

1. Pekerjaan cerucuk dolken

Pekerjaan cerucuk dilakukan pada bagian dasar lereng hingga kedalaman 1,5 m. Material cerucuk yang digunakan berdiameter 10 cm dengan jarak spasi 0,25 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah buah atau unit. Berikut rincian jumlah cerucuk dolken yang digunakan.

$$V = \frac{\text{Panjang Lereng}}{0,5} \times \frac{\text{Lebar Lereng}}{0,5} = \frac{100 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} \times \frac{7}{0,5 \text{ m}}$$

$$V = 2.800 \text{ buah}$$

2. Pekerjaan bronjong ($2 \times 1 \times 0,5$) m 0-1,5 m

Pekerjaan bronjong ukuran $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ dilakukan pada lereng bagian bawah dengan ketinggian 0 - 1,5 m, lebar 7 m dan panjang 100 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian volume bronjong ukuran $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ketinggian 0 - 1,5 m lereng yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Tinggi Bronjong}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 1.050 \text{ m}^3$$

3. Pekerjaan bronjong ($2 \times 1 \times 0,5$) m 1,5 - 5,5 m

Pekerjaan bronjong ukuran $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ dilakukan pada lereng dengan ketinggian 1,5 - 5,5 m dan panjang 100 m. Bronjong hanya digunakan pada bagian depan lereng bagian bawah selebar 1 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian volume bronjong ukuran $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ketinggian 1,5 - 5,5 m yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Tinggi Bronjong}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 400 \text{ m}^3$$

4. Pekerjaan geosintetik 15 kN/m 1,5 - 5,5 m

Pekerjaan geosintetik dilakukan pada bagian bawah lereng yang terdapat bronjong di bagian depan. Geosintetik dipasang secara lembaran atau perlayer dengan jarak perlayer 0,5 meter dari ketinggian 1,5 - 5,5 m dengan lebar 6 m sepanjang 100 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Geosintetik} \times \text{Banyaknya layer}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 8 \text{ layer} = 4.800 \text{ m}^2$$

5. Timbunan Material Sirtu 1,5 - 5,5 m

Timbunan dilakukan pada pada ketinggian 1,5-5,5 m selebar 6 m dengan panjang 100 m. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar timbunan} \times \text{Tinggi timbunan}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 2.400 \text{ m}^3$$

6. Pekerjaan geosintetik 15 kN/m 5,5 - 7 m

Pekerjaan geosintetik dilakukan pada bagian lereng lebar 7 meter yang dipasang secara lembaran atau perlayer dengan jarak perlayer 0,5 meter. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar geosintetik} \times \text{Banyaknya layer}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 3 \text{ layer} = 2.100 \text{ m}^2$$

7. Timbunan Material Sirtu 5,5 -7 m

Timbunan dilakukan pada pada ketinggian 5,5 - 7 m dengan memberikan tambahan ketinggian tanah sebesar 0,2 m selebar 7 m dengan panjang 100 m. Hal ini bertujuan agar ketika melakukan pemadatan tanah, material

timbunan memiliki ketinggian yang sesuai dengan elevasi rencana. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar timbunan} \times \text{Tinggi timbunan}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 1,7 \text{ m} = 1.190 \text{ m}^3$$

8. Pemasangan tanah ketinggian 7 m

Pemasangan tanah yang dilakukan dengan ketebalan tanah mencapai 0,2 m dengan ketinggian 7 m sepanjang lereng. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Ketebalan Pemasangan}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 140 \text{ m}^3$$

9. Pekerjaan *wire mesh*

Pemasangan *wire mesh* dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian bawah yang terdapat geosintetik selebar 7 m dengan cara perlayer (0,5 m) dan diperpanjang 0,5 m kedalam timbunan lereng. Sehingga panjang *wire mesh* yang digunakan sepanjang 1 meter untuk setiap layer. satuan volume yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Panjang wire mesh} \times \text{Banyaknya layer}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 3 \text{ layer} = 300 \text{ m}^2$$

C. Perkuatan lereng bagian atas

1. Pekerjaan geosintetik

Pekerjaan geosintetik dilakukan pada bagian lereng dengan lebar 3 meter yang dipasang secara lembaran atau perlayer dengan jarak perlayer 0,5 meter. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Banyaknya layer}$$
$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 6 \text{ layer} = 1.080 \text{ m}^2$$

2. Timbunan Material *Silty Clay*

Timbunan dilakukan pada seluruh lereng bagian atas dengan memberikan tambahan ketinggian tanah sebesar 0,2 m. Hal ini bertujuan agar ketika melakukan pemadatan tanah, material timbunan memiliki ketinggian yang sesuai dengan elevasi rencana. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Tinggi Lereng}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 960 \text{ m}^3$$

3. Pemadatan Tanah Ketinggian 10 m

Pemadatan tanah yang dilakukan dengan ketebalan tanah mencapai 0,2 m dengan ketinggian 10 m sepanjang lereng. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^3 (volume). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Lebar Lereng} \times \text{Ketebalan Pemadatan}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 60 \text{ m}^3$$

4. Pekerjaan *wire mesh*

Pemasangan *wire mesh* dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian atas dengan cara perlayer (0,5 m) dan diperpanjang 0,5 m kedalam timbunan lereng. Hal ini membuat panjang *wire mesh* yang digunakan sepanjang 1 meter untuk setiap layer. Sehingga dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas). Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Panjang Wire Mesh} \times \text{Banyaknya layer}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 6 \text{ layer} = 600 \text{ m}^2$$

5. Pekerjaan vegetasi (tumbuhan)

Pemasangan vegetasi (tumbuhan) dilakukan untuk menutupi permukaan lereng bagian atas setinggi 3 meter dengan panjang 100 meter. Sehingga

dalam perhitungan volume, satuan yang digunakan adalah m^2 (luas).
Berikut rincian luas geosintetik yang digunakan.

$$V = \text{Panjang lereng} \times \text{Tinggi lereng}$$

$$V = 100 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 300 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan volume pekerjaan perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik di atas, dibuatlah Tabel V.5 sebagai rekapitulasi volume pekerjaan. hal ini bertujuan agar mempermudah dalam proses perhitungan.

Tabel V.5 Rekapitulasi Volume Pekerjaan Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

No	Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan
Persiapan			
1	Pek. Perakitan Bronjong (2×1×0,5) m	1450	m3
Lereng Bagian Bawah			
1	Pek. Cerucuk	2800	buah (bh)
2	Pek. Bronjong (2×1×0,5)m 0-1,5 m	1050	m3
3	Pek. Bronjong (2×1×0,5)m 1,5-5,5 m	400	m3
4	Pek. Geosintetik 15kN/m 1,5-5,5 m	4800	m2
5	Timbunan Material Sirtu 1,5-5,5 m	2400	m3
6	Pek. Geosintetik 15kN/m 5,5-7 m	2100	m2
7	Timbunan Material Sirtu 5,5-7 m	1190	m3
8	Pek. Wire Mesh	300	m2
9	Pemadatan tanah ketinggian 7 m	140	m3
Lereng Bagian Atas			
1	Pek. Geosintetik	1800	m2
2	Timbunan Silty Clay	960	m3
3	Pemadatan tanah ketinggian 10 m	60	m3
4	Pek. Wire Mesh	600	m2
5	Vegetasi (Tumbuhan)	300	m2

V.2.2.2. Analisis Harga Satuan Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Setelah mendapatkan volume pekerjaan untuk setiap masing-masing item pekerjaan, selanjutnya menghitung analisis harga satuan untuk masing-masing item pekerjaan. AHS Pek. Geosintetik 15 kN/m pada lereng bagian atas merupakan salah satu dari lima belas item pekerjaan yang dilakukan pada perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik (lebih lengkapnya lihat lampiran F)

Tabel V.6 merupakan AHS untuk pekerjaan geosintetik 15 kN/m pada lereng bagian atas. Nilai koefisien pekerja dan mandor didapatkan dari produktivitas pekerja dan mandor dalam melakukan pemasangan material geosintetik. Atau secara garis besar 1 orang pekerja dapat memasang material geosintetik seluas 8,5m² dan 1 orang mandor mampu mengerjakan pemasangan geosintetik seluas 25m². Selain itu setiap 1m² material geosintetik yang digunakan membutuhkan 1,2m², kelebihan material dilakukan agar ketika fase konstruksi material geosintetik memiliki ukuran yang tepat sesuai rencana desain (Haq, 2017). Selanjutnya alat bantu yang digunakan mampu memasang geosintetik seluas 50m² sehingga mendapatkan koefisien sebesar 0,02.

Harga satuan berdasarkan buku harga jurnal satuan untuk item tenaga kerja dan alat bantu, sementara untuk material geosintetik didapatkan dari harga jual PT. Geoforce Indonesia. Selanjutnya nilai koefisien dikalikan dengan harga satuan pekerjaan lalu dijumlahkan dan di *mark up* 15% untuk profit (Haq, 2017) sehingga didapatkan analisis harga satuan pekerjaan untuk item pekerjaan geosintetik 15 kN/m.

Tabel V.6 Analisis Harga Satuan Pemasangan Geosintetik 15 kN/m Bagian Atas

Pemasangan Geosintetik 15 kN/m (m ²)					
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah
A	Tenaga Kerja				
1	Mandor	OH	0,0063	Rp118.000,00	Rp743,40

Tabel V.6 Analisis Harga Satuan Pemasangan Geosintetik 15 kN/m Bagian Atas (Lanjutan)

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah
2	Pekerja	OH	0,1170	Rp184.000,00	Rp21.528,00
Jumlah Harga Tenaga Kerja(a)					Rp22.271,40
B	Bahan				
1	Geosintetik 15 kN/m	m ²	1,2000	Rp30.000,00	Rp36.000,00
Jumlah Harga Bahan(b)					Rp36.000,00
C	Peralatan				
1	Alat Bantu	Ls	0,0500	Rp170.000,00	Rp8.500,00
Jumlah Harga Peralatan(c)					Rp8.500,00
D	Jumlah Harga(a)+(b)+(c)				Rp66.771,40
E	Profit (15%)		15%	x D	Rp10.015,71
F	Harga Satuan Pekerjaan				Rp76.787,11

V.2.2.3. Perencanaan Biaya Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

Berdasarkan perhitungan volume yang dilakukan pada subbab IV.2.2.1 dan analisis harga satuan pada subbab IV.2.2.2 didapatkan total biaya perkuatan lereng geosintetik yang terdapat pada Tabel V.7.

Tabel V.7 Total Biaya Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

NO	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume Pekerjaan	Harga Satuan	Total
PEK. PERSIAPAN					
1	Perakitan Bronjong	m ³	1.450	Rp 510.292,72	Rp 739.924.444,00
TOTAL					Rp 739.924.444,00
PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN BAWAH					
1	Pemasangan Cerucuk	bh	2.800	Rp 30.173,70	Rp 84.486.360,00

Tabel V.7 Total Biaya Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik (Lanjutan)

NO	Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume Pekerjaan	Harga Satuan	Total
2	Pemasangan Bronjong bawah	m3	1.050	Rp 419.711,59	Rp 440.697.169,50
3	Pemasangan Bronjong atas	m3	400	Rp 419.711,59	Rp 167.884.636,00
4	Pemasangan Geosintetik	m2	4.800	Rp 76.787,11	Rp 368.578.128,00
5	Timbunan Material Sirtu 1,5-5,5m	m3	2.400	Rp 592.450,70	Rp 1.421.881.681,33
6	Pek. Geosintetik 5,5-7m	m2	2.100	Rp 76.787,11	Rp 161.252.931,00
7	Timbunan Material Sirtu 5,5-7m	m3	1.190	Rp 592.450,70	Rp 705.016.333,66
8	Pek. Wire Mesh	m2	300	Rp 76.241,32	Rp 22.872.396,00
9	Pemadatan tanah ketinggian 7m	m3	140	Rp 85.056,07	Rp 11.907.849,80
TOTAL					Rp 3.384.577.485,29
PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN ATAS					
1	Pemasangan Geosintetik	m2	1.800	Rp 76.787,11	Rp 138.216.798,00
2	Pek. Wire Mesh	m2	300	Rp 76.241,32	Rp 22.872.396,00
3	Timbunan	m3	960	Rp 111.750,70	Rp 107.280.672,53
4	Pemadatan tanah ketinggian 10m	m3	60	Rp 85.056,07	Rp 5.103.364,20
5	Vegetasi (Tumbuhan)	m2	300	Rp 44.985,70	Rp 13.495.710,00
TOTAL					Rp 286.968.940,73

Tabel V.8 merupakan rekapitulasi total biaya konstruksi perkuatan lereng menggunakan material geosintetik berdasarkan Tabel V.7.

Tabel V.8 Rekapitulasi Total Biaya Konstruksi Perkuatan Lereng Kombinasi Bronjong dan Geosintetik

NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA (Rp)
A	PEK. PERSIAPAN	739.924.444,00
B	PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN BAWAH	3.384.577.485,29
C	PEK. PERKUATAN TEBING BAGIAN ATAS	286.968.940,73
TOTAL BIAYA LANGSUNG		4.411.470.870,03
PAJAK PENGHASILAN (PPH 5%)		220.573.543,50
JUMLAH TOTAL		4.632.044.413,53
PEMBULATAN		4.632.045.000,00

Berdasarkan Tabel V.8 untuk pembuatan perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik sebesar Rp 4.632.045.000,00 (empat milyar enam ratus tiga puluh dua juta empat puluh lima ribu rupiah). Biaya tersebut sudah di mark up sebesar 5% untuk pajak.

V.3. Pembahasan

Hasil analisis yang dilakukan pada perkuatan lereng dengan menggunakan material geosintetik didapatkan nilai faktor keamanan sebesar $1,514 \approx 1,51$ dengan total biaya konstruksi perkuatan geosintetik sebesar Rp 6.019.625.000,00 (enam milyar sembilan belas juta enam ratus dua puluh lima ribu rupiah). Sementara perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik memiliki nilai faktor keamanan sebesar $1,512 \approx 1,51$ dengan total biaya konstruksi Rp 4.632.045.000,00 (empat milyar enam ratus tiga puluh dua juta empat puluh lima ribu rupiah). Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan faktor keamanan dan biaya dapat melihat Tabel V.9.

Tabel V.9 Perbandingan Faktor Keamanan dan Biaya Kedua Perkuatan Lereng

Metode Perkuatan	Faktor Keamanan	Biaya
Geosintetik	1,514	Rp 6.019.625.000,00
Bronjong dan Geosintetik	1,512	Rp 4.632.045.000,00

Kedua perkuatan lereng tersebut memiliki nilai faktor keamanan yang relatif sama sebesar 1,51 hal ini sudah sesuai dengan SNI 8460:2017 mengenai persyaratan minimum perkuatan lereng permanen. Nilai faktor keamanan kedua lereng yang relatif sama, pemilihan metode perkuatan yang digunakan berdasarkan analisis penelitian terdahulu dan biaya konstruksi.

Perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik lebih murah Rp 1.387.580.000,00 dibandingkan perkuatan lereng geosintetik. Menurut Departemen Pekerjaan Umum tentang perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik (2009) pemilihan jenis perkuatan didasarkan atas analisis biaya yang lebih rendah dengan kemungkinan pelaksanaan konstruksinya.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum tentang perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik (2009) Tabel 4.6 permukaan lereng yang memilih kemiringan $>50^\circ$ dengan perbandingan $>0,9H:1V$ untuk semua jenis tanah di haruskan memakai material bronjong jika tidak di tanami rumput selimut erosi permanen. Penggunaan material bronjong pada perkuatan lereng dapat meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dibandingkan dengan lereng tanpa menggunakan bronjong (Murri, Surjandari, & Asad, 2014). Selain itu jika ada saluran air pada fase konstruksi geosintetik bisa membahayakan bagi desain geosintetik itu sendiri (Soehardi, Hakam, & Thamrin, 2018). Menurut Kim, Kotwal, Cho, Wilde & You (2019) perkuatan lereng yang hanya menggunakan material geosintetik saja dapat mengakibatkan keruntuhan akibat beban air internal atau eksternal sebesar 58% dan hanya bertahan selama 4 tahun.

Berdasarkan total biaya konstruksi dan penelitian terdahulu mengenai perkuatan lereng menggunakan material geosintetik dan bronjong. Didapatkan metode perkuatan lereng yang digunakan adalah metode perkuatan lereng kombinasi bronjong dan geosintetik.

