

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Air Terhadap Karakteristik Tanah

Tanah terdiri dari tiga komponen penyusun, yaitu butiran, udara, dan air. Pada rongga yang terdapat diantara butiran akan diisi oleh air dan udara. Peran air didalam tanah sangat penting, karena air dapat mempengaruhi sifat-sifat tanah dan mengakibatkan kuat geser pada tanah menurun. Apabila seluruh rongga terisi oleh air, maka tanah tersebut dalam kondisi jenuh (*saturated soil*). Sedangkan apabila rongga terisi oleh udara dan air, maka tanah tersebut dalam kondisi jenuh sebagian (*unsaturated soil*). Apabila tanah hampir tidak mengandung air atau nilai kadar airnya mendekati nol, maka tanah tersebut dalam kondisi kering.

Pada kedalaman tanah tertentu, rongga pada tanah akan mulai terisi oleh air dan menjadi jenuh. Batas antara lapisan jenuh air dan tidak jenuh disebut dengan muka air tanah (*ground water table*). Air tanah merupakan air yang terdapat di dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Air tanah dapat bergerak melalui rongga tanah pada setiap lapisan. Aliran air tanah dapat menurunkan kuat geser tanah sehingga dapat membahayakan, terutama pada kondisi tanah di lereng. Aliran air dapat menurunkan kestabilan lereng sehingga dapat memperbesar gerakan tanah dan menyebabkan kelongsoran.

2.2 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang memiliki kemiringan dan sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng terbagi menjadi dua jenis, yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami adalah lereng yang terbentuk secara alami akibat kejadian alam, sedangkan lereng buatan adalah lereng yang dibuat oleh manusia yang dapat berupa pemotongan tebing dan pembangunan lereng. Lereng alami dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut ini.



Gambar 2.1 Lereng alami

(sumber : www.republika.co.id)

Lereng yang tidak stabil dapat berpotensi longsor. Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, atau tanah yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Tanah longsor dapat terjadi jika air meresap ke dalam tanah, sehingga berat tanah tersebut bertambah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng.

2.3 Jenis-jenis Tanah Longsor

Terdapat enam buah jenis tanah longsor sebagai berikut :

1. Longsoran Translasi

Longsoran translasi adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai seperti pada

Gambar 2.2 Berikut ini

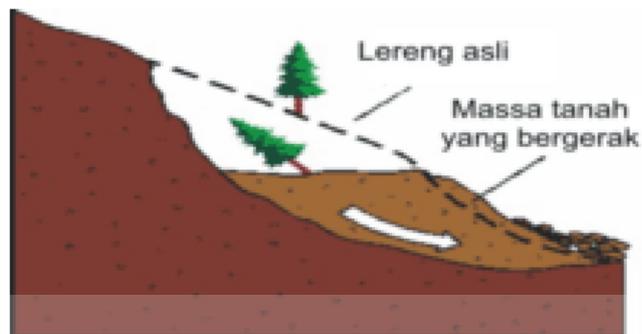


Gambar 2.2 Longsoran Translasi

(sumber : www.esdm.go.id)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran rotasi adalah bergeraknyanya massa tanah dan batuan pada bidang gelincirnya yang berbentuk cekung. Jenis longsoran rotasi dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut ini.

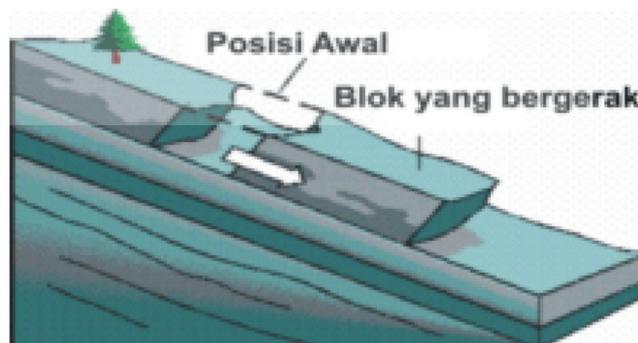


Gambar 2.3 Longsoran Rotasi

(sumber : www.esdm.go.id)

3. Pergerakan Blok

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir yang berbentuk rata. Longsoran pergerakan blok dapat dilihat pada **Gambar 2.4** berikut ini.



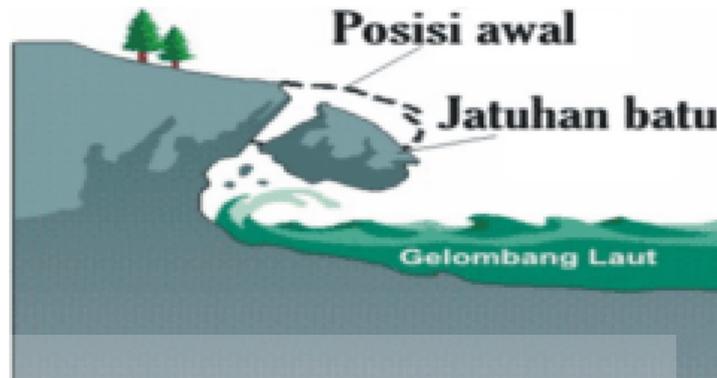
Gambar 2.4 Longsoran Pergerakan Blok

(sumber : www.esdm.go.id)

4. Runtuhan Batu

Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Runtuhan batu sering

terjadi pada lereng yang terjal atau lereng yang menggantung. Jenis longsoran runtuh batu dapat dilihat pada **Gambar 2.5** berikut ini.

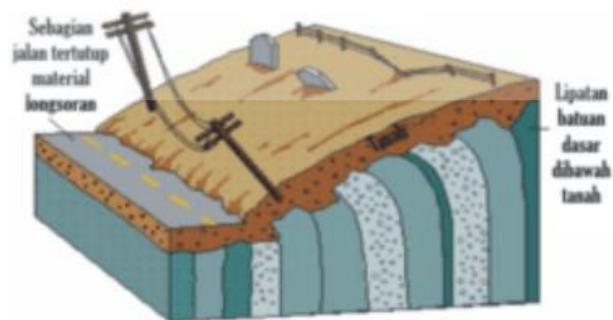


Gambar 2.5 Longsoran Runtuhan Batu

(sumber : www.esdm.go.id)

5. Rayapan Tanah.

Rayapan tanah adalah jenis tanah longsor yang cenderung bergerak secara lambat. Jenis tanah yang dapat mengalami jenis longsor ini adalah tanah berbutir kasar dan halus. Jenis longsor rayapan tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.6** berikut ini.



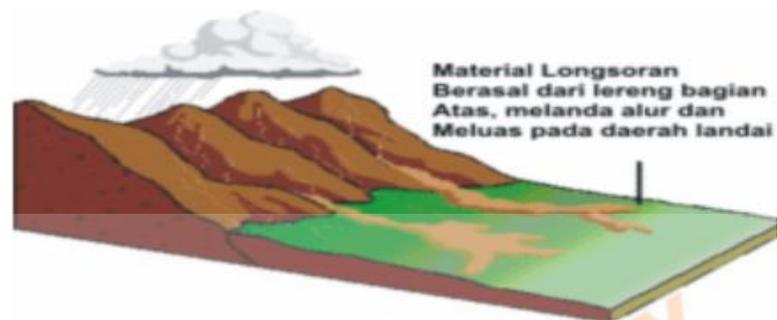
Gambar 2.6 Longsoran Rayapan Tanah

(sumber : www.esdm.go.id)

6. Aliran Bahan Rombakan

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Air yang berasal dari hujan akan terdispersi ke dalam tanah

sehingga menambah massa tanah. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, jenis tanah, dan tekanan air. Longsoran jenis ini mampu bergerak sepanjang lembah dan mampu mencapai jarak hingga ratusan meter. Jenis longsor aliran bahan rombakan dapat dilihat pada **Gambar 2.7** berikut ini.

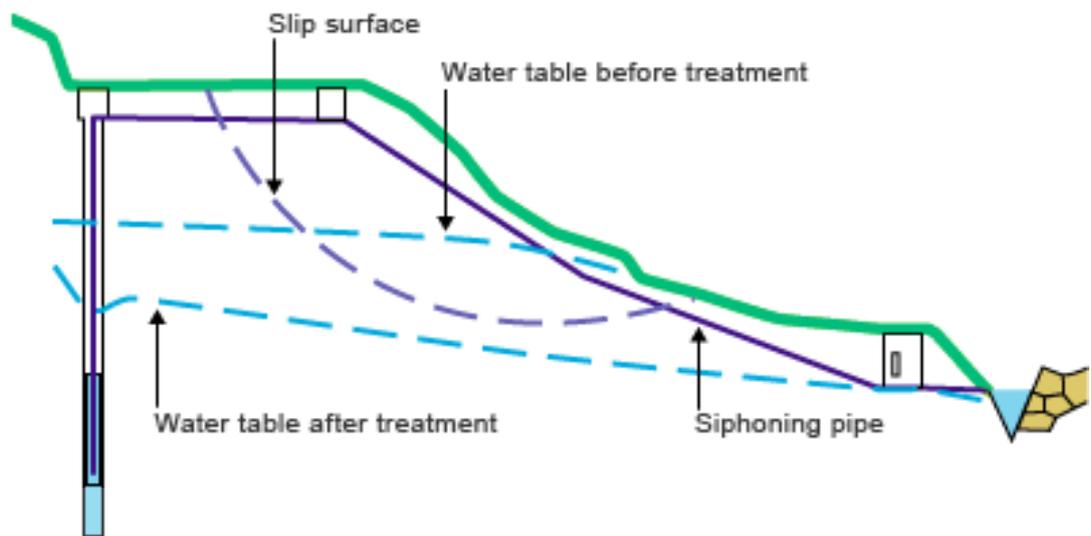


Gambar 2.7 Longsoran Aliran Bahan Rombakan

(sumber : www.esdm.go.id)

2.4 Siphon Drain

Siphon Drain merupakan suatu cara untuk meningkatkan kestabilan lereng dengan cara mengeluarkan air pada lereng. *Siphon Drain* bekerja dengan memompa air melalui saluran pipa primer secara gravitasi seperti pada **Gambar 2.8**. Pada *Siphon Drain*, *Manhole* harus selalu memiliki posisi yang lebih tinggi daripada *outlet* sehingga air dapat mengalir secara gravitasi.



Gambar 2.8 Sistem Kerja *Siphon Drain*

(sumber : <https://wjgl.com/our-services/syphon-draining/>)

Pada penggunaan *Siphon Drain* untuk kestabilan lereng perlu memperhatikan beberapa persyaratan (Syahbana. et al 2014), sebagai berikut :

- 1) Perbedaan elevasi antara hulu pipa *Siphon* dan titik tertinggi tidak dapat lebih dari 9m
- 2) Saluran *Siphon* harus selalu jenuh air (bebas dari gelembung udara), agar sistem drainase selalu berfungsi dengan baik
- 3) Drainase ini cocok untuk menjaga kestabilan lereng dengan pemicu ketidakstabilan berupa kenaikan muka air tanah, bukan karena penjemuran permukaan kering.

2.4.1 Bagian-bagian *Siphon Drain*

Siphon Drain terdiri dari sumur *siphon*, tabung *siphon* dan saringan. Sumur *siphon* dipasang di dalam atau di atas lereng yang tidak stabil dan dihubungkan dengan pipa *siphon*. Air dipompa dengan melalui pipa *siphon*, air akan mengalir mengikuti bentuk alami lereng hingga turun ke kaki lereng. Pada sumur *siphon* perlu digunakan saringan, sehingga tanah butir halus dapat tertahan dan tidak mengganggu kinerja *Siphon Drain*. **Gambar 2.9** berikut ini merupakan sumur *Siphon* di lapangan.

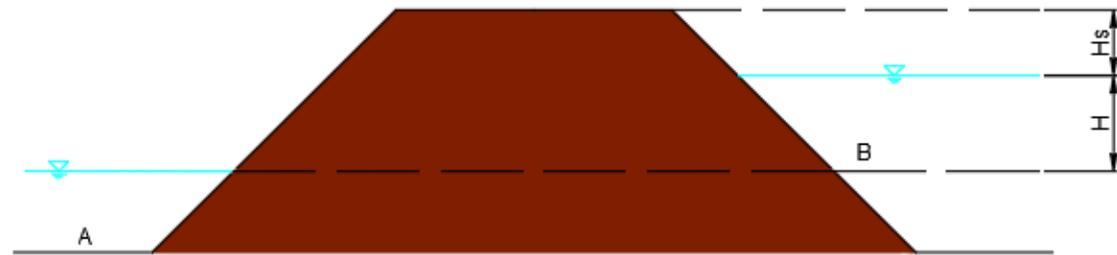


Gambar2. 9 Sumur *Siphon*

(sumber : Mrvik & Bomont, 2010)

2.4.2 Prinsip Kerja *Siphon Drain*

Prinsip kerja *Siphon Drain* adalah dengan mengalirkan air dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Syahbana. et al 2014) prinsip kerja *Siphon Drain* ini dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.10**. pada **Gambar 2.10** diilustrasikan terdapat badan bendung yang dipasang pipa dengan diameter tertentu yang berfungsi sebagai saluran tertutup untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir, sehingga persamaan matematis dapat diperoleh dengan pendekatan hitungan pada saluran hidraulika tertutup. Perbedaan elevasi hulu dan hilir disebut dengan parameter beda *head* (H). perbedaan tinggi antara puncak saluran dengan hulu disebut dengan H_s .



Gambar 2.10 Ilustrasi Mengenai Pendekatan *Siphon Drain*

Dasar persamaan yang digunakan adalah persamaan kontinuitas (persamaan 2.1) dan Hukum Bernoulli (persamaan 2.2) yang menyatakan adanya kesamaan debit dan energi total pada sistem air tertutup

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (2.1)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + z_a = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + z_b \quad (2.2)$$

Dimana :

A = Luas Penampang saluran (m²)

V = Kecepatan aliran (m/s)

Dalam memperhitungkan debit dapat dilakukan pendekatan dengan menggunakan rumus debit Chezy. Penggunaan rumus debit Chezy dapat dilihat pada persamaan 2.3 sampai dengan persamaan 2.6 berikut ini (Shieh, 2007)

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (2.3)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum K_i}} \quad (2.4)$$

$$\frac{P}{\gamma} = 0,9 \frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - 1 \quad (2.5)$$

$$H_s \leq \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \sum h_{li} \quad (2.6)$$

Dimana :

Q = debit (m³/s)

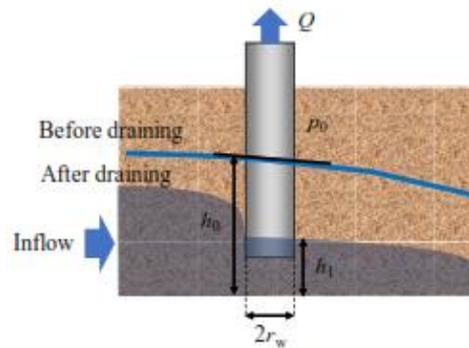
C = koefisien debit

A = luas penampang saluran (m²)

- g = percepatan gravitasi (m/s^2)
 H = perbedaan elevasi hulu dan hilir (m)
 λ = faktor gesekan
 l = panjang selang (m)
 d = diameter selang (m)
 k_i = faktor kehilangan energi
 P = tekanan air pada selang *Siphon* (kN/m^2)
 P_0 = tekanan air pada keadaan atmosfer (kN/m^2)
 P_v = tekanan air evaporasi (kN/m^2)
 γ = berat isi air (kN/m^3)
 H_s = beda elevasi hulu dengan puncak selang *Siphon* (m)
 v = kecepatan aliran air (m/s)
 h_{li} = kehilangan setempat (m)
 z = elevasi dari titik datum tertentu (m)

berdasarkan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 dapat diamati faktor yang mempengaruhi debit *Siphon* adalah perbedaan ketinggian air hulu dan hilir, diameter selang, dan faktor kehilangan energi akibat geometri *Siphon*. Sedangkan pada persamaan 2.5 dan persamaan 2.6 merupakan rumus yang berfungsi untuk memeriksa apakah *Siphon* tersebut berada pada kondisi bisa beroperasi atau tidak. Apabila kondisi tersebut tidak dipenuhi, maka dapat dipastikan *Siphon* tidak akan berfungsi.

Selain menggunakan rumus debit Chezy, menghitung besarnya debit pada *Siphon Drain* dapat pula menggunakan rumus pada persamaan 2.7 dengan asumsi aliran merupakan satu arah (J.C. Gress, 2008). Perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.7 adalah dengan hubungan antara debit dan tinggi muka air seperti pada **Gambar 2.11** berikut ini.



Gambar 2.11 Ilustrasi Pemasangan *Siphon Drain*

(sumber : Yamamoto, Takeshi. et al. 2018)

$$Q = \frac{h_0^2 - h_1^2}{\frac{h_0 + h_1}{a} p_0 k + \frac{1}{\pi k} \ln\left(\frac{a}{2\pi r_w}\right)} \quad (2.7)$$

Dimana :

Q = debit *Siphon Drain* (cm^3/s)

h_0 = tinggi muka air sebelum menggunakan *Siphon Drain* (cm)

h_1 = tinggi muka air setelah menggunakan *Siphon Drain* (cm)

a = jarak antara *Siphon* (cm)

p_0 = kemiringan permukaan air sebelum menggunakan *Siphon Drain*

k = koefisien permeabilitas (cm/s)

r_w = jari-jari sumur *Siphon* (cm)

Penggunaan *Siphon Drain* dapat menurunkan muka air tanah sampai dengan dibawah bidang gelincir lereng. Dengan muka air tanah yang terletak dibawah bidang gelincir, maka dapat menurunkan tekanan air pori pada lereng. Dengan tekanan air pori yang berkurang maka kestabilan lereng dapat meningkat.

Metode *Siphon Drain* cocok digunakan pada kondisi geologi yang memiliki nilai permeabilitas kurang dari 10^{-5} m/s dan aliran air tanah sebesar 2-15 l/menit (Mrvik & Bomont, 2010). Maka dengan begitu *Siphon Drain* cocok untuk digunakan pada tanah berpasir halus, lanau, dan tanah lempung.

Penggunaan *Siphon Drain* memiliki beberapa keuntungan yaitu dengan sistem pengoprasian yang mudah karena tidak memerlukan pompa listrik untuk

bekerja dan perawatannya yang mudah. Dengan perbedaan ketinggian yang terletak pada *manhole* dan *outlet*, air akan mengalir keluar dengan sendirinya sampai dengan tinggi muka air pada *manhole* dan *outlet* sama. Penggunaan *Siphon Drain* dapat menurunkan muka air tanah sampai dengan 12 m (Mrvik & Bomont, 2010).

2.4.3 Metode Pelaksanaan *Siphon Drain* di Lapangan

Dalam pelaksanaan pemasangan *Siphon Drain* langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan menyiapkan sumur *Siphon*. Sumur *Siphon* dipasang dengan menggali lubang terlebih dahulu pada lereng sesuai dengan kedalaman yang dibutuhkan. Penggalan dapat dilakukan dengan menggunakan bor tangan. Setelah sumur digali, sumur dibersihkan terlebih dahulu dengan cara memompa keluar air di dalam sumur. Setelah air dipompa keluar, sumur didiamkan selama satu hari agar butiran halus mengendap. Tahap berikutnya adalah memasang *casing* sumur *Siphon* terbuat dari paralon yang telah dipasang *Screen* tempat air masuk dan kawat ram nyamuk sebagai penyaring tanah atau kotoran berukuran halus.

Setelah sumur *Siphon* siap, selanjutnya saringan dipasang pada *inlet* dari sistem *Siphon*. Saringan berfungsi untuk memperbolehkan air masuk akan tetapi tidak memperbolehkan air balik keluar. Saringan dapat terbuat dari paralon atau logam. Selain pada *inlet*, saringan dipasang juga pada bagian bawah yang berfungsi untuk mencegah kotoran atau tanah butir halus masuk ke sistem *Siphon Drain*.

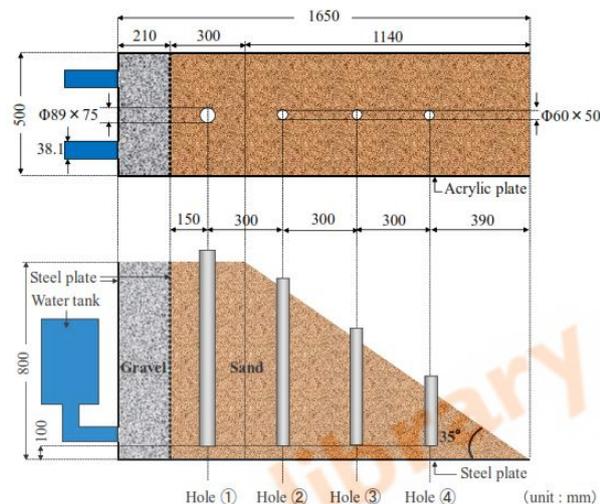
2.5 Penelitian Terdahulu

Pada Tugas Akhir ini, pengujian dilakukan dengan mengacu pada jurnal terdahulu mengenai *Siphon Drain*. Penelitian terdahulu mengenai *Siphon Drain* yang digunakan adalah sebagai berikut.

2.5.1 Fundamental Study of The Effect of Water Level Lowering In The Groundwater Drainage Work Utilizing Siphon (Yamamoto, Takeshi., Minamiguchi, Yuki., et al. 2018)

Jurnal ini membahas mengenai hubungan antara faktor keamanan, jarak pemasangan pipa dan tinggi muka air pada *Siphon Drain*. Untuk mencari

hubungan ini digunakan sebuah model pengujian dengan skala laboratorium. Pengujian dilakukan dengan memodelkan lereng menggunakan *Siphon Drain* pada bak uji seperti pada **Gambar 2.12**. Tiga variasi muka air tanah yang berbeda digunakan dalam pengujian ini. Tinggi muka air yang digunakan adalah 45, 55, dan 65 cm.



Gambar 2.12 Model Lereng yang Digunakan

(sumber : Yamamoto, Takeshi. et al. 2018)

Selain menggunakan pengujian skala laboratorium, dilakukan pula analisis numerik dua dimensi mengenai aliran rembesan dan stabilitas lereng. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa untuk menentukan hubungan antara volume drainase dan tinggi muka air dapat menggunakan gradien tinggi air dekat tabung siphon. Selain itu, untuk menentukan tinggi muka air pada percobaan *Siphon Drain* dapat menggunakan analisis aliran rembesan berbasis dua dimensi.

2.5.2 Fundamental Laboratory Experiments of Siphon Drain for Slope Stabilization (Tohari, Adrin., Koizumi, Keigo., Oda, Kazuhiro. 2016)

Jurnal ini membahas mengenai pengujian *Siphon Drain* skala laboratorium yang dilakukan di laboratorium LIPI, Bandung. Pada jurnal ini dilakukan pengujian skala laboratorium untuk *Siphon Drain* yang bertujuan untuk

mengetahui seberapa besar muka air tanah yang dapat diturunkan dengan menggunakan *Siphon Drain*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan bak uji berukuran $2,4 \times 0,8 \times 1,2$ m seperti pada **Gambar 2.13** dengan tiga kondisi yang berbeda. Pada kondisi pertama tangki *constant head* diisi dengan air setinggi 80 cm sampai mencapai ketinggian yang diinginkan sebesar 20 cm. Pada tangki kerikil, muka air dinaikkan sebesar 0,02 cm/s kemudian *Siphon Drain* diaktifkan setelah kondisi *steady state* tercapai.



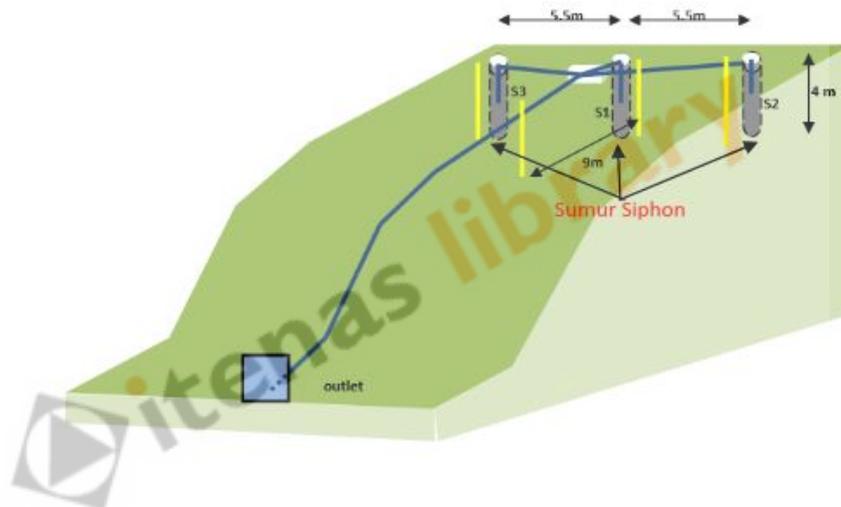
Gambar 2.13 Bak Uji *Siphon Drain*

Pada pengujian kedua tangki *constant head* diisi dengan air setinggi 80 cm dengan tiga keran dibuka setengah dan pada tangki kerikil muka air dinaikkan sebesar 0,03 cm/s dan *Siphon Drain* diaktifkan. Pada pengujian terakhir muka air pada tangki kerikil dinaikkan sebesar 0,02 cm/s, kemudian *Siphon Drain* diaktifkan setelah muka air meningkat hingga 30 cm pada manometer.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, penurunan muka air tanah yang signifikan terjadi ketika muka air tanah meningkat secara perlahan. Dengan menggunakan *Siphon Drain* muka air tanah dapat berkurang hingga 10 cm.

2.5.3 Rekayasa Hidraulika Kestabilan Lereng Dengan Sistem Siphon :
Studi Kasus di Daerah Karangsambung, Jawa Tengah (Syahbana, Arifian Jaya., Tohari, Adrin., Sugianti, Khori., et al 2014)

Jurnal ini membahas mengenai studi kasus penggunaan *Siphon Drain* pada daerah Karangsambung, Jawa Tengah. *Siphon Drain* dipasang dengan membuat lubang bor sedalam 4 m sebanyak 3 titik dan sumur pemantauan pada tiap titik yang berfungsi sebagai pengecekan muka air tanah seperti pada **Gambar 2.14**. Pendekatan matematis dilakukan untuk analisis mengenai parameter/faktor yang mempengaruhi nilai debit *Siphon Drain*.



Gambar 2.14 Sketsa Pemasangan *Siphon Drain*

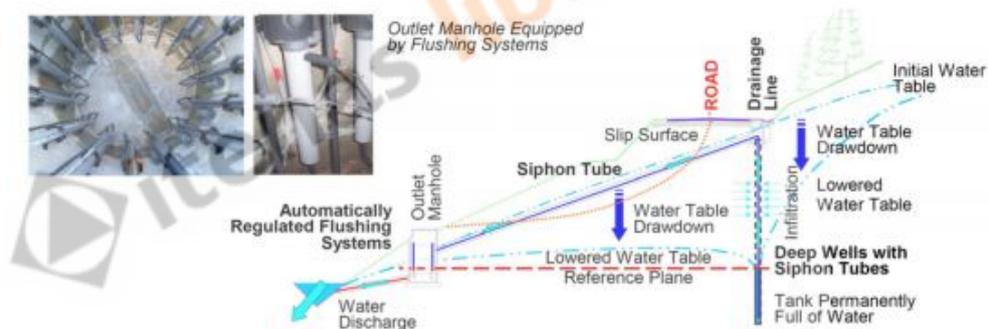
(sumber : Syahbana, Arifian Jaya. et al. 2014)

Berdasarkan hasil penelitian, parameter yang mempengaruhi nilai debit adalah koefisien debit dari *Siphon Drain*. Nilai kekasaran yang membesar pada *Siphon Drain* mengindikasikan adanya tanah butiran halus yang masuk ke sistem *siphon* dan menempel pada dinding selang *siphon* sehingga menyebabkan diameter berkurang. Untuk mengatasi masalah ini diperlukan saringan pada sumur *siphon* dan dibersihkan secara berkala, sehingga tanah butir halus tidak akan menyumbat *Siphon Drain*.

2.5.4 Experience with Treatment of Road Structure Landslides by Innovative Methods of Deep Drainage (O. Mrvik & S. Bomont 2010)

Jurnal ini membahas mengenai penanganan lereng pada struktur jalan dengan menggunakan metode drainase dalam lereng. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan *Siphon Drain* dan *Electro Pneumatic Drains*. Metode ini bertujuan untuk menurunkan muka air tanah pada lereng.

Pada *Siphon Drain* digunakan tabung penghisap dengan diameter 10-30 mm yang dipasang pada sumur vertikal dengan jarak 3-6 m untuk setiap sumur seperti pada **Gambar 2.15** berikut ini. *Siphon Drain* dipasang pada lereng dengan ketinggian *manhole* lebih tinggi dari *outlet*. Jika muka air pada *manhole* meningkat, maka air akan mengalir melalui tabung *Siphon* sampai dengan ketinggian yang sama dengan *outlet*.



Gambar 2.15 Konsep Dasar *Siphon Drain*

(sumber : Mrvik & Bomont, 2010)

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa dengan menggunakan *Siphon Drain* dapat menurunkan muka air tanah hingga 8-12 m dengan aliran air sebesar 2-15 l/menit. *Siphon Drain* merupakan solusi yang ideal dan efektif untuk menurunkan muka air tanah dalam jangka panjang tanpa memerlukan bantuan pompa listrik.

2.5.5 New Formulae to Assess Soil Permeability Through Laboratory Identification and Flow Coming Out of Vertical Drains (J.C. Gress 2008)

Jurnal ini membahas mengenai rumus baru untuk menghitung debit pada Vertical Drain dengan melalui identifikasi laboratorium. Rumus baru yang diusulkan merupakan rumus untuk mencari debit pada *Siphon Drain* dan *Electropneumatic Drain*.

Yang mendasari J.C. Gress dalam melakukan penelitian ini adalah agar dapat menentukan pendekatan yang lebih baik dalam mendesain *Vertical Drain*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan rumus untuk menentukan debit pada *Vertical Drain* seperti pada persamaan 2.7.

