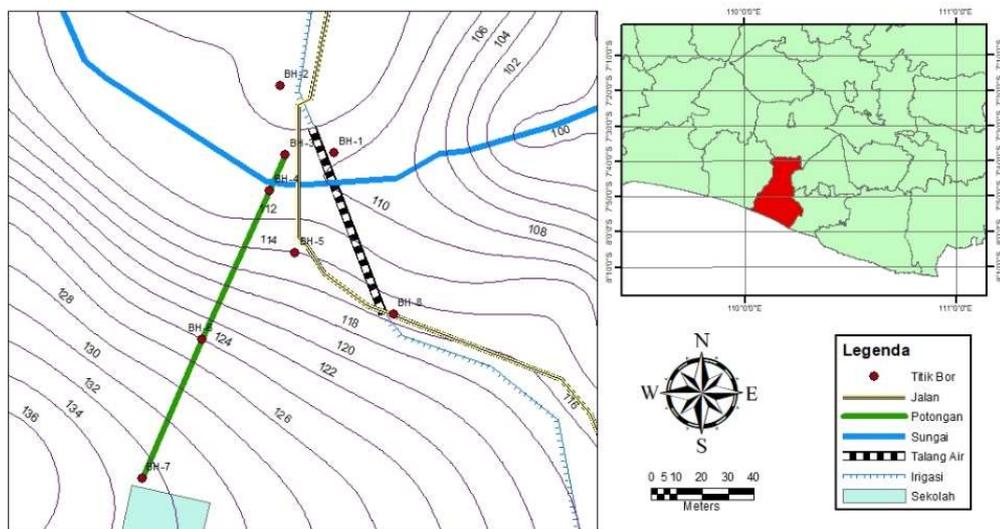


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan deformasi lereng yang terjadi akibat pengaruh air hujan pada lereng yang berada pada Saluran Induk Kalibawang km 15+900, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi penelitian ini berada pada koordinat $-7,729450^{\circ}$ dan $110,200120^{\circ}$ (lihat Gambar 3.1). Pemodelan yang dilakukan menggunakan salah satu *software* berbasis numerik yaitu SIGMA/W. Pemodelan pada SIGMA/W terdiri dari dua tahap, yang pertama pemodelan keadaan awal lereng dengan tipe analisis *initial in-situ*. Pemodelan dilanjutkan dengan menggunakan analisis *coupled stress/PWP* dengan durasi selama 61 hari (1 Juli 2017 – 30 Agustus 2017). Hasil dari pemodelan kemudian divalidasi dengan data pengukuran di lapangan.



Gambar 3. 1 Lokasi penelitian.

Parameter tanah didapatkan melalui pengujian laboratorium seperti uji triaksial dengan metode *consolidated-undrained* (CU) untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah, pengujian *soil suction* dengan metode *filter paper* untuk mendapatkan kurva SWCC (*soil water characteristic curve*) dan uji permeabilitas tanah untuk koefisien permeabilitas tanah pada kondisi jenuh air. Untuk lapisan

tanah (Gambar 3. 2) didapatkan berdasarkan justifikasi data SPT dan CPT yang berasal dari Laporan Geologi Teknik: Pekerjaan Detail Desain Rehabilitasi Jaringan Irigasi Sestem Daerah Irigasi Kalibawang. Data pengukuran deformasi di lapangan juga didapatkan dari laporan ini. Alur penelitian ini secara umum dijelaskan pada Gambar 3. 3.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat-alat yang digunakan untuk pengujian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Gerlink Triaksial

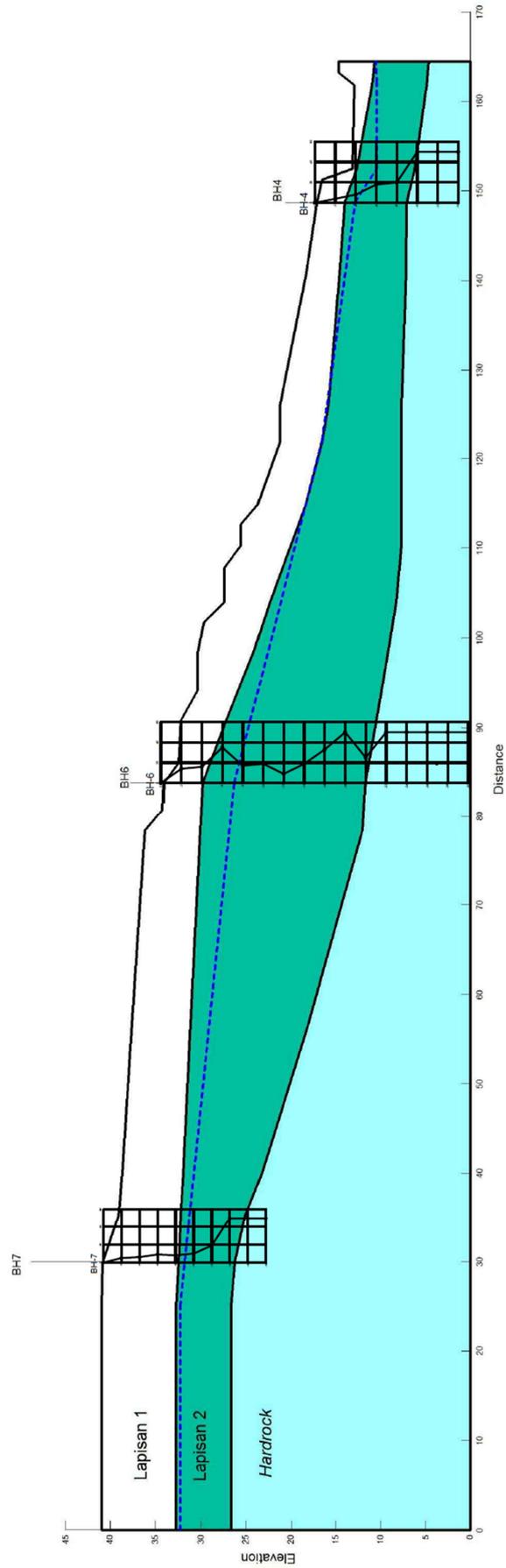
Gerlink triaksial digunakan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah yaitu sudut gesek (ϕ) dan kohesi (c). Alat ini bisa digunakan untuk beberapa metode pengujian, diantaranya *Unconsolidated Undrained* (UU), *Consolidated Undrained* (CU), dan *Consolidated Drained* (CD). Pada penelitian ini pengujian menggunakan metode *Consolidated Undrained* (CU). Bagian-bagian dari alat Gerlink Triaksial ditunjukkan pada Gambar 3. 4.

b. Gerlink Permeability

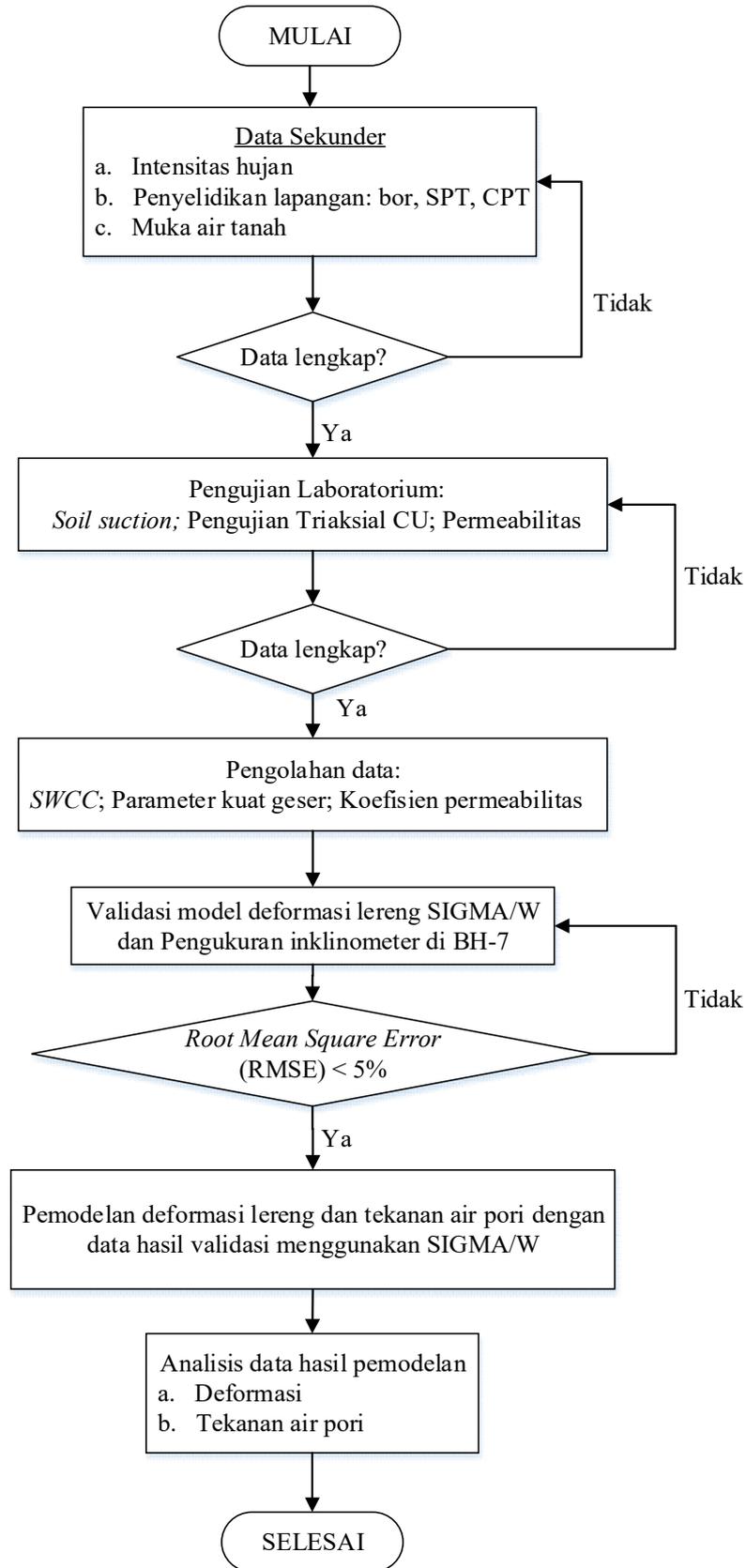
Alat ini digunakan untuk menentukan parameter permeabilitas suatu tanah di laboratorium. Bagian-bagian dari alat Gerlink Permeability ditunjukkan pada Gambar 3. 5. Desain alat ini berdasarkan ASTM D 5084-10.

c. *Filter Paper*

Filter paper digunakan sebagai alat untuk mengukur *suction* pada tanah. Berdasarkan ASTM D 5298-9403 (2003) *filter paper* yang digunakan harus bebas dari abu kuantitatif tipe II, contohnya *filter paper* yang dapat digunakan adalah Whatman No. 42, Fisherbrand 9-790A, Schleicher and Schuell No. 589. Pada pengujian ini, *filter paper* yang digunakan adalah *filter paper* Whatman No. 42, karena perporma dari *filter paper* Whatman No. 42 lebih konsisten dibandingkan dari Schleicher and Schuell No. 589 (Kim dkk, 2017). *Filter paper* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 2 Profil lapisan tanah pada lereng dan uji SPT.



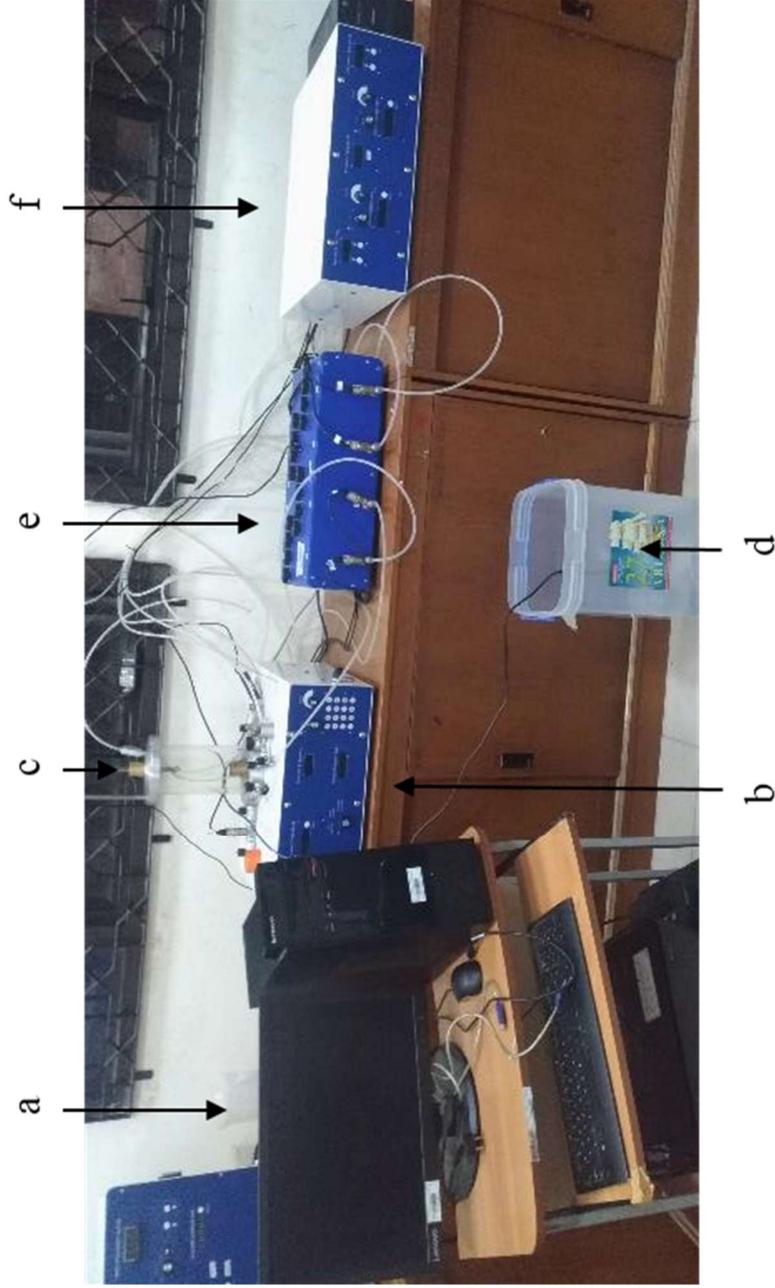
Gambar 3. 3 Bagan alir penelitian



Keterangan:

- a. Water tank
- b. Arloji pengukur deformasi
- c. Load cell
- d. Chamber
- e. Vacuum
- f. Alat pemberi tekanan
- g. Komputer

Gambar 3. 4 Alat uji triaksial



Keterangan:

- a. Komputer
- b. Alat pemberi tekanan
- c. *Chamber*
- d. *Water tank*
- e. Alat pengatur tekanan
- f. Alat pemberi tekanan

Gambar 3. 5 Alat uji permeabilitas



Gambar 3. 6 *Filter Paper* Whatman No. 42.

3.2.2. Bahan

a. Tanah

Tanah pada penelitian ini diambil di Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulonprogo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi pengambilan teletak pada lereng yang berada di Saluran Induk Irigasi Kalibawang km 15+900. Tanah dalam kondisi terusuk diambil dan diuji sifat-sifat geoteknik dan hidraulik tanahnya di laboratorium. Berikut hasil pengujian didapatkan sifat-sifat geoteknik tanah pada setiap lapisan yang ditampilkan dalam tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Hasil pengujian sifat-sifat geoteknik dan hidraulika tanah.

Variabel	Lapisan 1	Lapisan 2
Berat Jenis, Gs	2,50	2,80
Batas-batas konsistensi		
- Batas Cair, LL (%)	64,7	69,1
- Batas Plastis, PL (%)	37,0	43,5
- Indeks Plastisitas, PI (%)	27,7	25,6
Kohesi efektif, c' (kN/cm ²)	13,6	22,4
Sudut gesek internal, ϕ' (°)	28	35
Kadar air volumetrik jenuh air, θ_s (m ³ / m ³)	0,4868	0,4735
Kadar air volumetrik residu air, θ_r (m ³ / m ³)	0,4607	0,4575

3.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada tugas akhir ini terbagi menjadi dua tahap. Pada tahap pertama penelitian dilakukan di laboratorium untuk menentukan sifat-sifat geoteknik dan hidraulika tanah. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan lereng

pada tahap kedua. Berikut dijelaskan secara ringkas tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan.

3.3.1. Pengambilan Contoh Tanah Uji

Contoh tanah tak terusik diambil pada kedalaman hingga 1 m dari permukaan tanah dengan menggunakan tabung besi tipis (lihat Gambar 3. 7). Contoh tanah ini digunakan untuk uji triaksial, permeabilitas, dan *Soil Water Characteristic Curve (SWCC)*. Sedangkan tanah terusik diambil untuk pengujian sifat-sifat fisik tanah seperti batas cair, batas plastis, dan berat jenis.



Gambar 3. 7 Tabung besi tipis untuk contoh tanah uji.

3.3.2. Pengujian Triaksial Metode *Consolidated Undrained*

Pengujian triaksial dengan metode *Consolidated Undrained (CU)* menggunakan ASTM D 4767-95 sebagai standar acuan. Pada pengujian triaksial dengan metode CU ini, terdapat beberapa langkah utama sebagai berikut.

a. Persiapan benda uji

Tanah tak terusik yang berada pada tabung diletakkan pada alat pengeluar benda uji. Kemudian sampel tanah dikeluarkan dan dicetak dengan cetakan triaksial (diameter 3,5 mm dan tinggi 70 mm). Setelah dicetak, benda uji diletakkan di alat uji triaksial, kemudian dibungkus dengan membran karet yang elastis dan kedap air. Kemudian perata beban di letakkan di atas benda uji. Karet pengikat dipasang pada bagian bawah dudukan benda uji dan pada perata beban agar air tidak merembes ke benda uji.

b. Proses penjenuhan

Tujuan dari proses penjenuhan adalah untuk mengisi seluruh rongga di benda uji dengan air tanpa membuat benda uji mengalami pengembangan. Setelah persiapan benda uji selesai, air kemudian dimasukkan kedalam *chamber*, dan *chamber* diberi tekanan (*cell pressure*). Kemudian benda uji diberikan tekanan balik (*back pressure*), perbedaan antara *cell pressure* dan *back pressure* harus sebesar $\pm 2\%$.

Penghitungan *B-Value* atau koefisien tekanan air pori digunakan untuk mengetahui apakah proses saturasi sudah selesai atau tidak. Jika *B-Value* sama dengan atau lebih besar dari 0,95 maka benda uji dapat dikatakan sudah jenuh dan proses saturasi sudah selesai. *B-Value* dapat diperhitungkan dengan membagikan perubahan tekanan air pori (*pore pressure*) dengan perubahan tekanan di dalam *chamber* (*cell pressure*) seperti pada Persamaan 2. 16.

c. Konsolidasi

Pada tahap awal konsolidasi, benda uji diberikan tekanan sel (*cell pressure*). Pemberian tekanan sel (*cell pressure*) dilakukan sampai perbedaan antara *cell pressure* dengan *back pressure* sesuai dengan tekanan konsolidasi efektif (σ_3). Pada pengujian ini, σ_3 yang diberikan sebesar 98,1 kPa (1 kg/m²), 196,2 kPa (2 kg/m²) dan 294,3 kPa (3 kg/m²). Kemudian katup tekanan balik (*back pressure*) dibuka sehingga selama proses ini air dapat terdrainase dan keluar dari benda uji. Proses konsolidasi selesai ketika tekanan pori (*pore pressure*) dan *volume change* pada benda uji sudah konstan.

d. Penggeseran

Karena metode yang digunakan adalah metode CU (*Consolidated Undrained*) maka pada proses penggeseran, air tidak diperbolehkan keluar dari benda uji sehingga katup tekan balik (*back pressure*) ditutup. Tekanan di dalam *chamber* (*cell pressure*) harus tetap konstan selama penggeseran.

Sebelum proses penggeseran dimulai, piston penekan dipastikan sudah menyentuh pelat perata beban pada benda uji dan *load cell* terbaca. Penggeseran dilakukan dengan kecepatan sebesar 0,001 mm/menit. Pada

saat proses penggeseran berlangsung, tekanan air pori (*pore pressure*) diukur, tekanan air pori ini merupakan tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*). Proses penggeseran ini berlangsung sampai benda uji mengalami regangan sebesar 15 % atau ketika benda uji mengalami tambahan regangan sebesar 5% setelah mencapai titik puncak.

3.3.3. Pengujian Permeabilitas Tanah Metode *Constant Head*

Pada penelitian ini, pengujian permeabilitas menggunakan metode *constant head*. Pada prinsipnya, pengujian dengan metode ini adalah dengan mengukur volume air yang keluar pada *outlet* setiap satuan waktu dengan tekanan pada *inlet* tetap (konstan) selama proses pengujian. Pada penelitian ini, pengujian permeabilitas menggunakan alat Gerlink Permeability yang berdasarkan ASTM D5084-10. Pada dasarnya langkah penggunaan alat ini tidak jauh berbeda dengan alat triaksial yang sudah dijelaskan di atas. Secara singkat pengujian permeabilitas menggunakan alat ini dijelaskan sebagai berikut.

a. Persiapan benda uji

Contoh tanah tak terusik dicetak menggunakan cetakan (diameter 35 mm dan tinggi 70 mm) dengan bantuan alat pengeluar benda uji. Benda uji diletakkan di atas alat dan kemudian dibungkus menggunakan membran elastis. Setelah dibungkus, kemudian benda uji diikat bagian atas dan bawahnya agar tidak ada air yang masuk selama proses pengujian. Kemudian *chamber* dipasang dan pengukur *deformasi* dipasang pada bagian atas perata beban benda uji.

b. Proses penjenuhan

Chamber diisi air sampai penuh, kemudian diberi tekanan sel (*cell pressure*). Kemudian benda uji diberi tekanan balik (*back pressure*) dengan perbedaan antara *cell pressure* dan *back pressure* sebesar $\pm 2\%$. Untuk menentukan derajat saturasi, maka dilakukan pengecekan *B-Value*. Jika nilai *B-Value* lebih besar atau sama dengan 0,95 maka proses saturasi dapat dikatakan selesai. *B-Value* dapat didapatkan dengan membagikan perubahan *pore pressure* dengan perubahan *cell pressure* seperti pada Persamaan 2. 16.

c. Konsolidasi

Pada proses konsolidasi, *cell pressure* dinaikkan sampai perbedaan antara *cell pressure* dan *back pressure* sebesar tegangan konsolidasi efektif. Pada penelitian ini besar perbedaan antara keduanya sebesar 98,1 kPa (1 kg/cm²).

d. Permeabilitas

Pada tahap ini, katup *cell pressure* dan *back pressure* ditutup. Kemudian tekanan pada *inlet* dinaikkan dan pengatur tekanan diset ke otomatis. Setelah tekanan pada *inlet* dinaikkan, katup *outlet* dibuka. Pada pengujian dengan metode *constant head* yang diukur adalah berapa banyak air yang melewati benda uji selama waktu tertentu, maka pengatur tekanan pada *outlet* diset kemandu. Kemudian pengujian dimulai, pengujian selesai ketika *flow rate* sudah tidak mengalami perubahan (konstan).

3.3.4. Pengujian SWCC (*Soil Water Characteristic Curve*) Metode *Filter Paper*

Pada penelitian ini pengujian SWCC (*Soil Water Characteristic Curve*), menggunakan metode *filter paper* (kertas saring). Metode *filter paper* digunakan karena kemudahan dan biaya yang dibutuhkan pada metode ini tidak terlalu besar. Pengujian dengan menggunakan metode *filter paper* dijelaskan pada ASTM D 5298 (ASTM, 2003). Secara singkat pengujian dengan metode *filter paper* dijelaskan sebagai berikut.

- a. Dua buah tabung pipa PVC (diameter 3,5 cm dan tinggi 6,3 cm) disiapkan beserta penutupnya yang terbuat dari aluminium.
- b. *Filter paper* yang akan digunakan disiapkan. (pada pengujian ini, *filter paper* yang digunakan adalah *Filter Paper Whatman no. 42*)
- c. Benda uji berupa tanah *undisturbed* disiapkan, kemudian tanah dicetak kedalam tabung yang sudah disiapkan sebelumnya. Kemudian berat tabung dan tanah ditimbang dan dicatat.
- d. Berat *filter paper* ditimbang dan dicatat sebelum proses pengujian berlangsung. *Filter paper* diletakkan diatas tanah, baru kemudian benda uji ditumpuk menjadi satu dan disimpan di dalam ruangan dengan suhu terkontrol (20° C).

- e. Benda uji dikeluarkan dari tempat penyimpanan, kemudian *filter paper* ditimbang dan dicatat beratnya.
- f. Kemudian air disemprotkan ke permukaan tanah (proses *wetting*), dan ditunggu beberapa saat sampai air meresap ke dalam tanah. Berat tanah yang sudah disemprot air ditimbang dan dicatat. Ulangi langkah d sampai f sampai data terkumpul.
- g. Untuk proses pengeringan (*drying*), setelah *filter paper* ditimbang (langkah e), diamkan tanah beberapa saat di ruang terbuka, kemudian *filter paper* diletakkan di atas tanah dan kedua benda uji ditumpuk menjadi satu, dan disimpan di dalam ruangan dengan suhu terkontrol (20° C).
- h. Kemudian langkah g dan h diulangi sampai data terkumpul.

3.3.5. Pengumpulan Data Curah Hujan

Hujan menjadi parameter yang sangat penting dalam proses terjadi pergerakan tanah. Pada penelitian ini, data curah hujan diperoleh dari halaman TRRM Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Pada halaman ini, kita dapat memilih data hujan yang dibutuhkan berdasarkan lokasi dan waktu kejadian sesuai kebutuhan. Pada penelitian ini data hujan diambil pada lokasi penelitian yaitu saluran Induk Kalibawang km 15+900 pada tanggal 1 Juli 2017 sampai dengan 30 Agustus 2017. Berikut langkah-langkah pengumpulan data hujan pada penelitian ini.

- a. Untuk mengambil data di halaman TRMM Giovanni pada lokasi yang diinginkan, dibutuhkan koordinat lokasi. Tahap pertama tentukan koordinat lokasi yang akan diambil data hujannya, koordinat lokasi bisa didapatkan dengan bantuan *Google Earth*.
- b. Pilih lokasi pada *Google Earth*, kemudian koordinat lokasi dicatat.
- c. Kemudian halaman TRRM Giovanni dibuka, dan koordinat lokasi serta tanggal yang diinginkan dimasukkan.
- d. Pada menu *Measurement* centang pilihan *Precipitation*, kemudian pilih durasi dari data hujan yang diinginkan. Pada penelitian ini data intensitas hujan menggunakan data hujan dengan durasi setiap ½ jam.

3.3.6. Pemodelan SIGMA/W

Pemodelan SIGMA/W untuk deformasi lereng terbagi menjadi dua tahap, yaitu pemodelan *initial in-situ analysis* dan pemodelan deformasi lereng dengan tipe analisis kopel tegangan/tekanan air pori (*coupled stress/PWP*). Data parameter tanah yang dibutuhkan untuk pemodelan dengan SIGMA/W yaitu data parameter geser dan hidrolik. Selain parameter tanah, data lapisan tanah juga dibutuhkan untuk pemodelan ini.

Parameter geser tanah bisa didapatkan dengan pengujian tanah di laboratorium. Pada lokasi penelitian secara umum terdapat tiga lapisan tanah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. 2 berikut,

Tabel 3. 2 Parameter Tanah untuk SIGMA/W

Parameter	Lapisan ke-		
	1	2	3 (Hard Rock)
c' (kN/cm ²)	13,6	22,4	-
ϕ' (°)	28	35	-
ν	0,334	0,334	0,334
Berat tanah (kN/m ²)	16,95	17,00	22

Selain parameter yang ditampilkan pada tabel 3. 2 di atas, SIGMA/W juga membutuhkan parameter modulus elastisitas tanah (E). Nilai modulus elastisitas pada penelitian ini diestimasi menggunakan persamaan yang diusulkan oleh (Wang dkk., 2015) yang ditunjukkan pada Persamaan 3. 1 dengan berdasarkan nilai N-SPT rata-rata tiap lapisan tanah. Untuk nilai modulus elastisitas pada lapisan tanah keras (*hard rock*) menggunakan nilai modulus elastisitas yang didapat dari Jafri dan Yoo (2018) yang ditunjukkan pada Tabel 3. 3. Nilai modulus elastisitas, model dan kategori material pada setiap lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 3. 4.

$$E_u/P_a = 19,3N^{0,6} \quad (3. 1)$$

dengan:

E_u = modulus elastisitas (MPa),

P_a = tekanan atmosfer (10 MPa),

N = N-SPT.

Tabel 3. 3 Modulus Elastisitas pada Batuan (Jafri dan Yoo, 2018)

Jenis Batuan	Modulus Elastisitas (GPa)		
	Modulus terendah	Modulus rata-rata	Modulus terbesar
Batuan Lunak	8	15	27,5
Batuan Normal	15	30	55
Batuan Keras	23	45	82,5

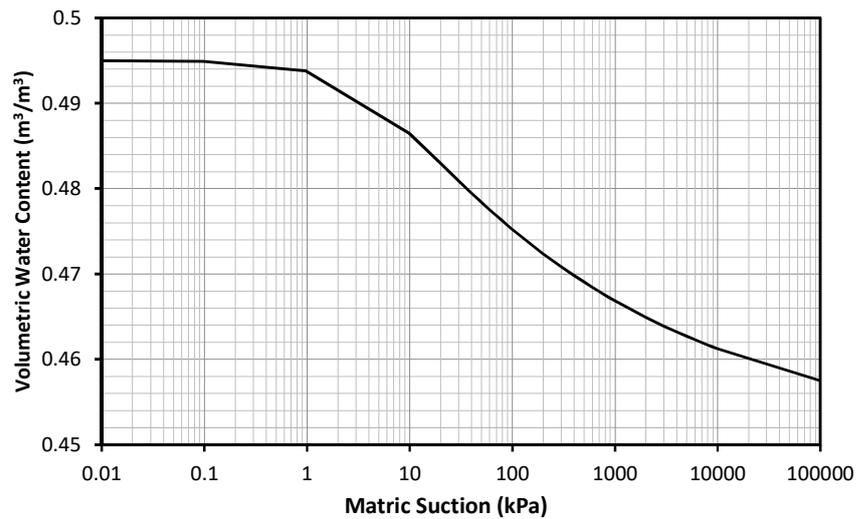
Tabel 3. 4 Modulus Elastisitas, Model dan Kategori Material pada Setiap Lapisan

Lapisan	E (MPa)	Model Material	Kategori Material
Permukaan	15	<i>Elastic-plastic (effective)</i>	<i>Effective-drained</i>
1(a)	5,3		
1(b)	6,9	<i>Elastic-plastic</i>	<i>Effective parameter</i>
2(a)	7,6	<i>(w/pwp change)</i>	<i>(w/pwp change)</i>
2(b)	11,2		
2(c)	9,2		
2(d)	17,3		

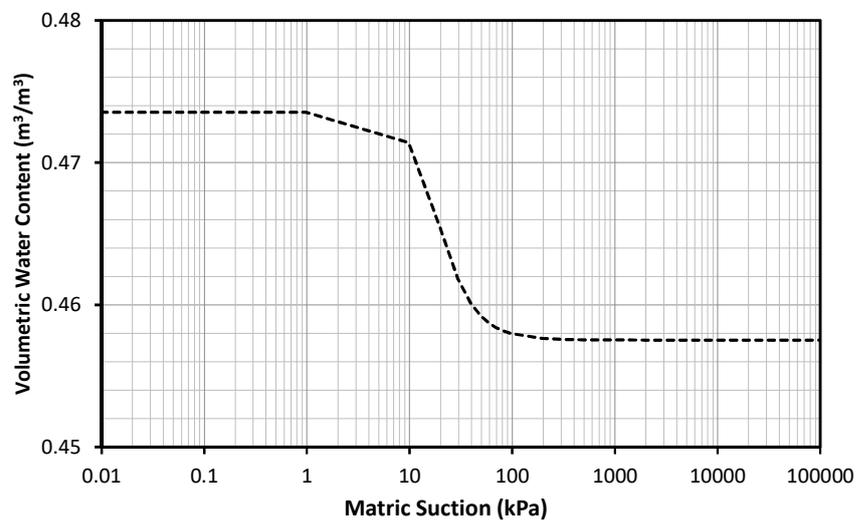
Selain parameter goteknik tanah, parameter hidrolik tanah juga dimasukkan dalam pemodelan ini. Parameter hidrolik yang dimasukkan pada pemodelan ini berupa SWCC (*Soil Water Characteristic Curve*) dan nilai permeabilitas tanah. Kedua parameter ini didapatkan melalui pengujian yang dilakukan di laboratorium. Lapisan tanah keras pada penelitian ini dibuat *impermeable* atau tidak dapat meloloskan air. SWCC untuk lapisan tanah 1 dan tanah 2 dapat dilihat pada Gambar 3. 8 dan kuva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori. Kurva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori diestimasi dengan menggunakan SIGMA/W dengan memasukkan koefisien permeabilitas tanah jenuh air, kadar air residu, kurva SWCC dan jenis tanah seperti pada Gambar 3. 9. Kuvu karakteristik permeabilitas-tekanan air pori dapat dilihat pada Gambar 3. 11. Tabel 3. 5 menunjukkan parameter hidrolik yang digunakan pada pemodelan ini.

Tabel 3. 5 Parameter Hidrolik pada Setiap Lapisan

Parameter	Lapisan ke-		
	1	2	3 (Hard Rock)
k (m/hari)	$2,3 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-2}$	1×10^{-18}
θ_s (m^3/m^3)	0,4868	0,4735	-
θ_r (m^3/m^3)	0,4607	0,4575	-

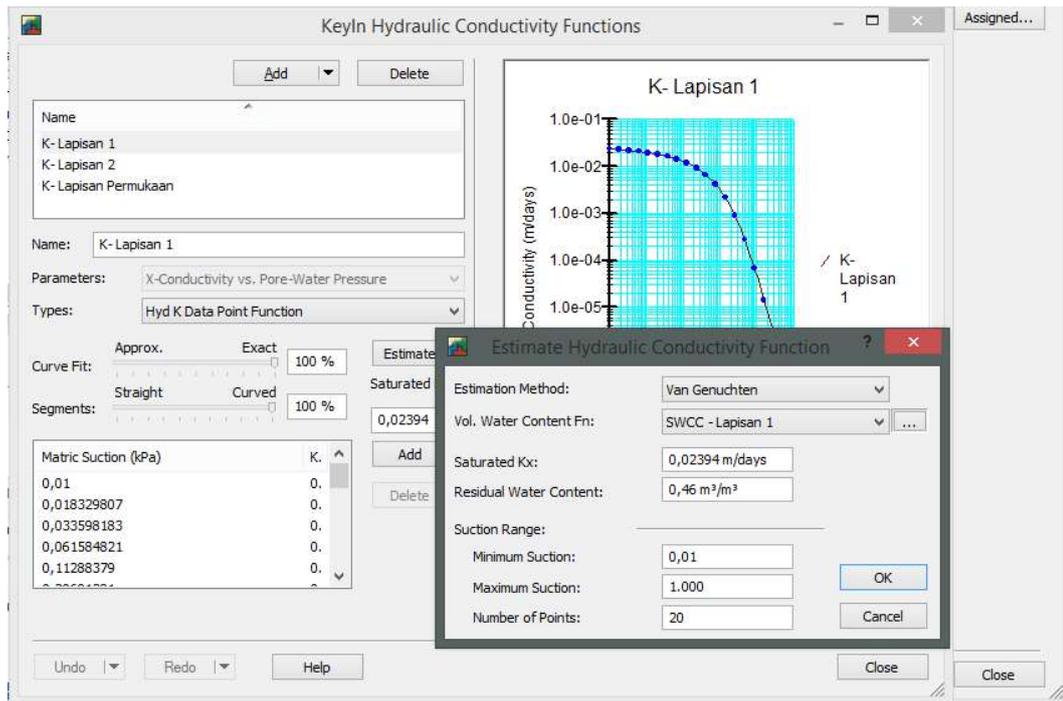


(a)



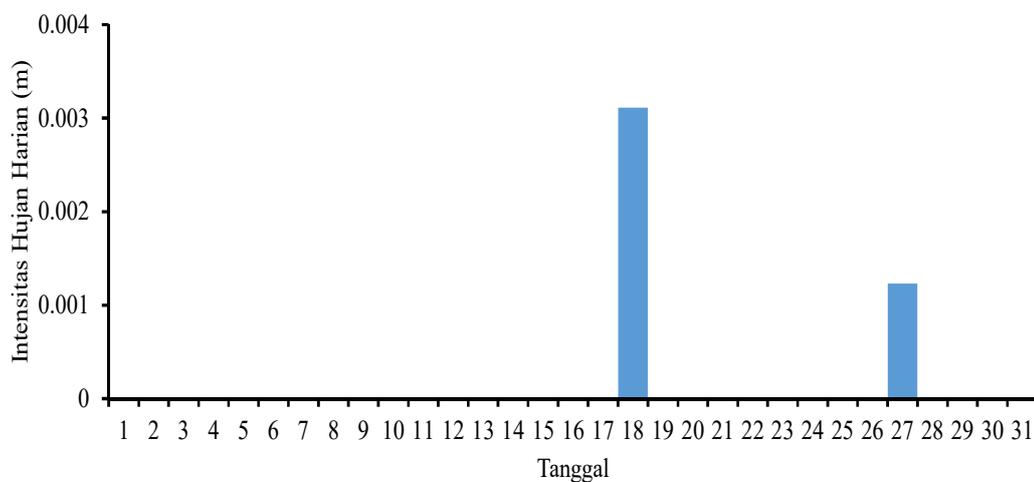
(b)

Gambar 3. 8 *Soil Water Characteristic Curve* (SWCC) pada (a) lapisan 1, (b) lapisan 2.

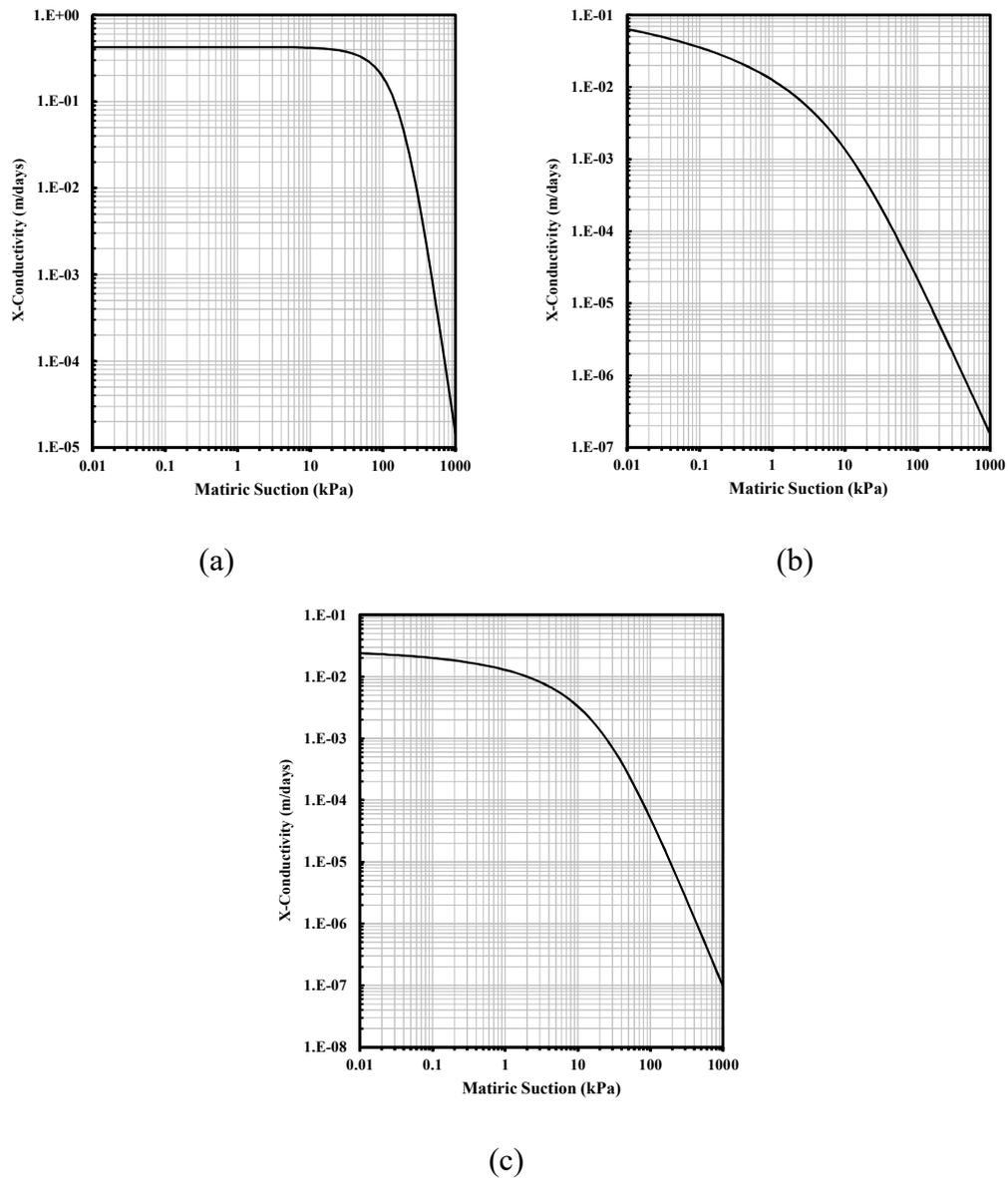


Gambar 3. 9 Estimasi kurva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori dengan SIGMA/W

Untuk intensitas hujan pada pemodelan ini didapatkan dari satelit TRMM dengan durasi hujan selama 2 bulan (1 Juli 2017 – 30 Agustus 2017). Data hujan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. 10. Pada bulan Juli terdapat dua kejadian hujan yaitu pada tanggal 18 Juli dengan intensitas 0,0031 mm/hari dan pada tanggal 27 Juli dengan intensitas 0,0012 mm/hari. Untuk bulan Agustus tidak tercatat kejadian hujan.



Gambar 3. 10 Intensitas hujan pada daerah studi pada bulan Juli.



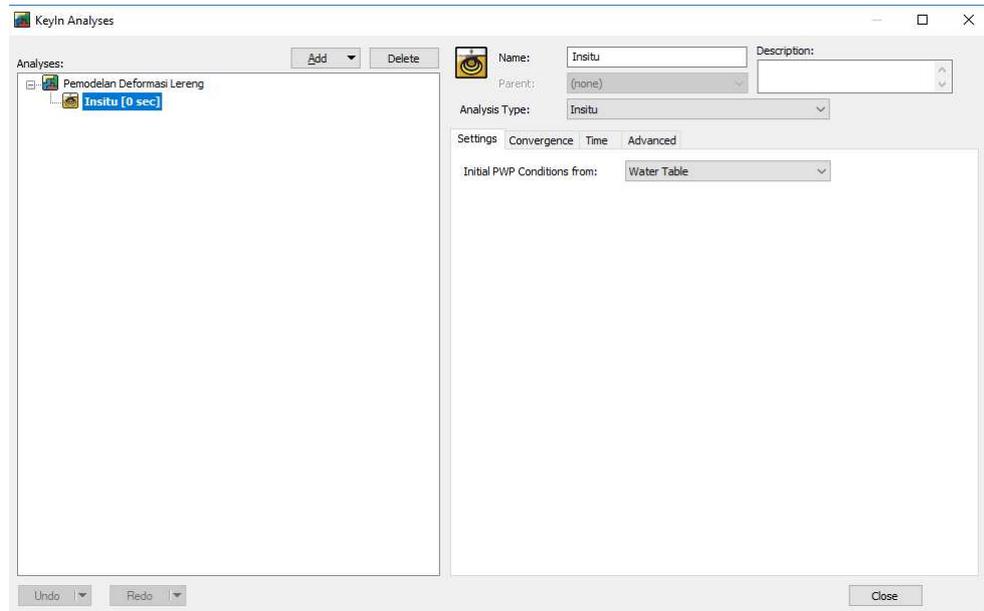
Gambar 3. 11 Kurva karakteristik permeabilitas-tekanan air pori (a) lapis permukaan, (b) lapisan 1a, 1b, (c) lapisan 2a, 2b, 2c, 2d.

3.3.7. *Initial In-situ Stresses*

Pemodelan *initial in-situ stresses* dibutuhkan untuk mengetahui keadaan awal pada lereng sebelum dianalisis lebih lanjut dengan analisis lain. Berikut langkah singkat pemodelan keadaan awal (*initial*) lereng dengan SIGMA/W.

- a. Tipe analisis dan tekanan air pori awal.

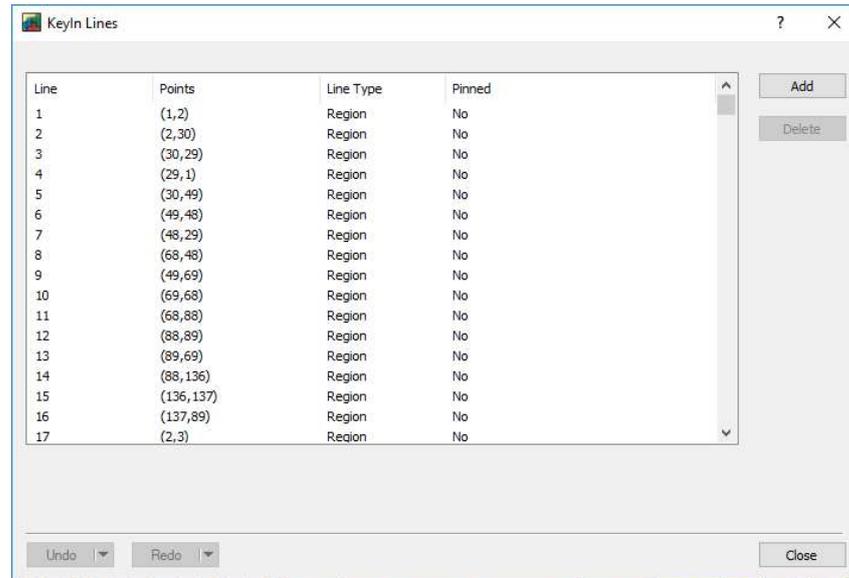
Untuk pemodelan kondisi tekanan awal lereng, jenis analisis yang digunakan yaitu *initial*. Untuk keadaan awal tekanan air pori (*pore water pressure*) diperhitungkan berdasarkan muka air tanah. Dengan nilai tekanan air pori negatif (*suction*) dibatasi sebesar 49,05 kPa.



Gambar 3. 12 *Input analisis initial in-situ.*

- b. Membuat potongan lereng

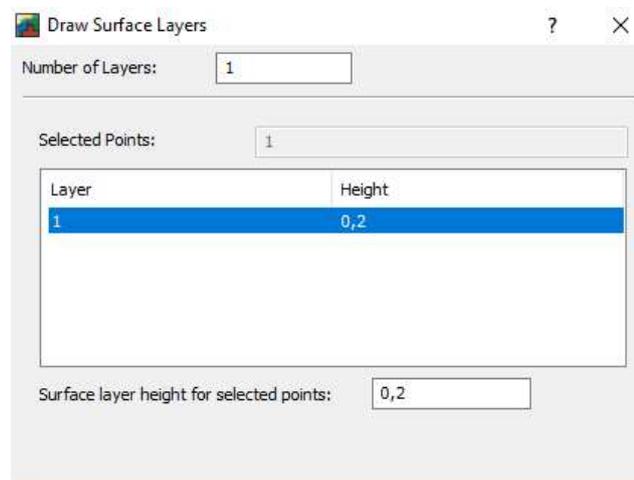
Dalam pembuatan potongan lereng, ada beberapa cara yang dapat digunakan seperti menggambar langsung penampang lereng atau dengan memasukkan titik-titik terlebih dahulu kemudian menghubungkan titik titik tersebut. Pada pemodelan ini pembuatan potongan dilakukan dengan memasukkan titik-titik lereng (Gambar 3. 13), dan kemudian titik dihubungkan untuk menggambar lapisan-lapisan tanah. Hasil penggambaran potongan dan lapisan lereng dapat dilihat pada Gambar 3. 15.



Gambar 3. 13 Titik-titik yang dimasukkan dalam pemodelan.

c. Lapisan permukaan

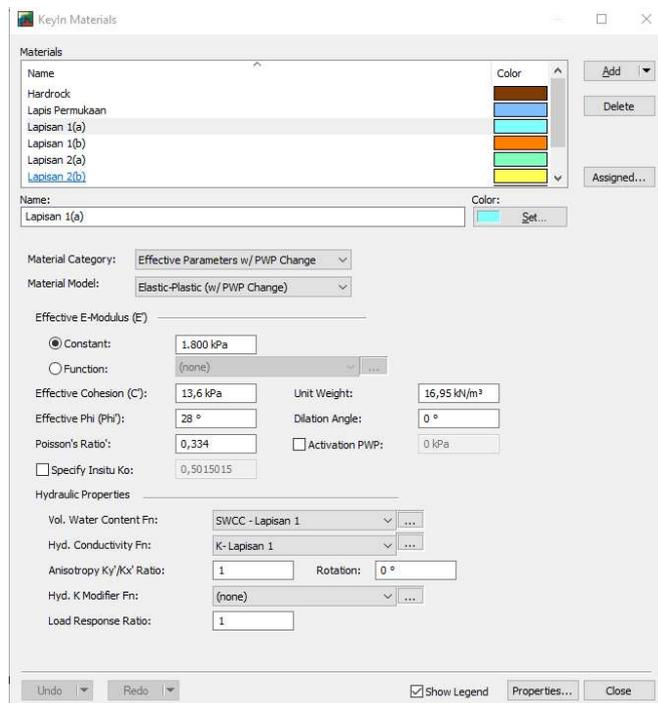
Kondisi pada permukaan tanah sangat mudah berubah dengan cepat akibat perubahan cuaca dan iklim yang terjadi di lapangan. Contohnya perubahan kondisi cuaca yang terjadi secara tiba-tiba dari panas menjadi hujan. Dalam waktu singkat, tanah yang awalnya kering menjadi jenuh akibat air hujan. Oleh karena itu, perlu adanya lapisan permukaan (*surface layer*) yang harus dibuat di atas bagian model. Lapisan permukaan mempunyai ketebalan yang tidak terlalu besar disepanjang lereng berkisar antara 0,4–0,2 m di atas permukaan lereng. Proses *input* lapisan permukaan dapat dilihat pada Gambar 3. 14 berikut.



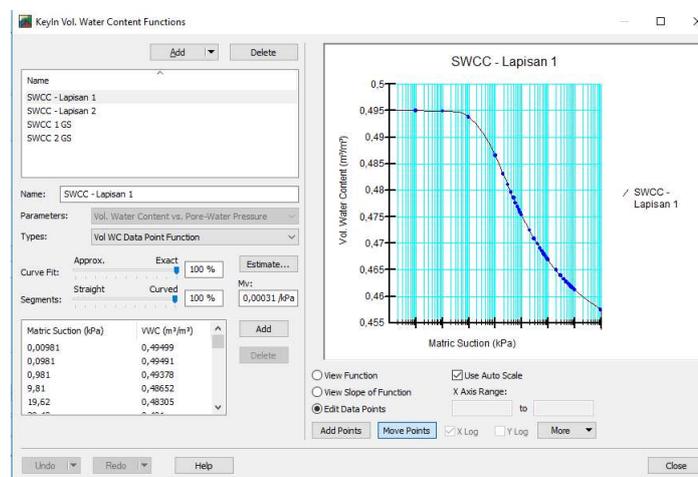
Gambar 3. 14 *Input* lapisan permukaan pada lereng.

d. Material lapisan tanah

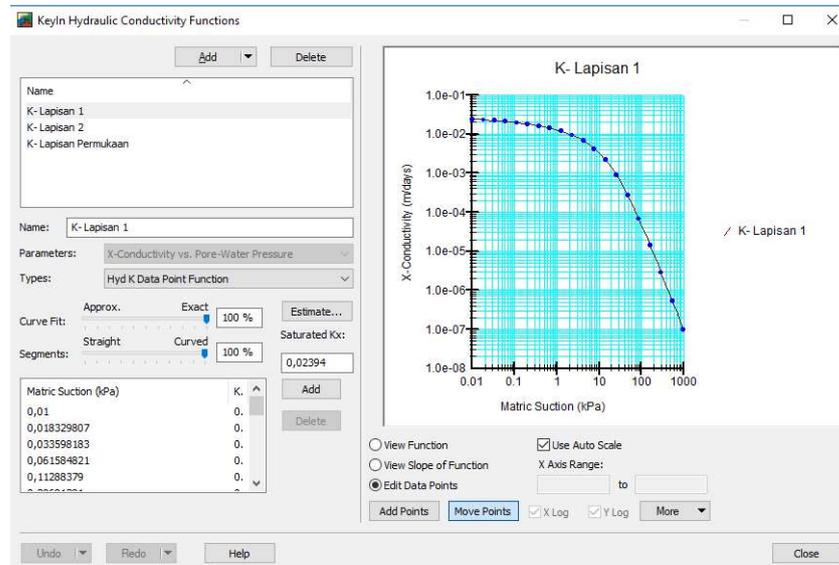
Pada material ini, ada beberapa nilai yang harus dimasukkan diantaranya parameter kuat geser tanah (sudut gesek internal efektif (ϕ') dan nilai kohesi efektif dari tanah (c')), modulus elastisitas (E), berat volume efektif, *poisson's ratio* seperti pada Gambar 3. 16. Selain parameter diatas, fungsi *volumetric water content* seperti pada Gambar 3. 17 dan fungsi *hydraulic conductivity* seperti pada Gambar 3. 18 juga dimasukkan kedalam material.



Gambar 3. 16 *Input parameter-parameter tanah.*



Gambar 3. 17 *Input fungsi volumetric water content function.*



Gambar 3. 18 Input fungsi hydraulic conductivity function.

e. Kondisi batas pemodelan

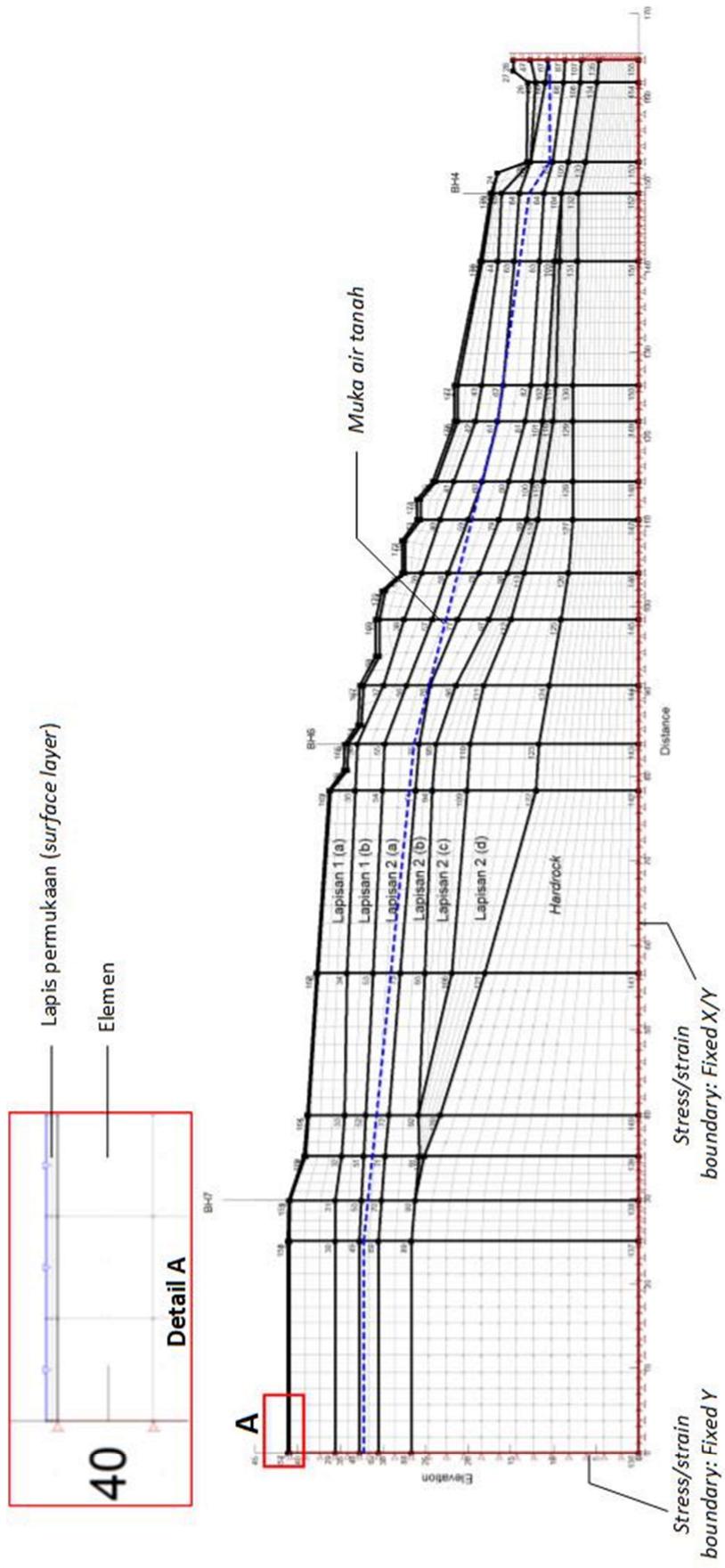
Pada pemodelan ini, deformasi arah x pada bagian kiri dan kanan lereng dibuat tidak ada. Pada bagian dasar lereng, deformasi dibuat tidak ada pada arah x dan y. Kondisi batas yang sudah dimasukkan dapat dilihat pada Gambar 3. 20.

f. Muka air tanah awal

Muka air tanah awal didapatkan dari penyelidikan tanah lapangan dan kemudian dimasukkan ke dalam pemodelan. Tinggi muka air tanah pada kondisi awal memiliki perbedaan setiap titik nya. Gambar 3. 19 menunjukkan titik titik muka air tanah awal.

X (m)	Y (m)
0	32,28
25	32,28
83,8	26,32
122,08	16,56
148,8	12,87
152,5	10,43
162,12	10,43
164,5	10,54
---	---

Gambar 3. 19 Elevasi muka air tanah awal.



Gambar 3. 20 Kondisi batas yang diterapkan dan muka air tanah pada pemodelan.

g. Jaring Elemen (*meshing*)

Pada pemodelan ini, pola *mesh* yang digunakan berbentuk segitiga dan persegi. Jumlah titik sebanyak 2956 titik dan jumlah elemen sebanyak 2844 elemen dengan ukuran 2 meter.

h. Analisis *initial in-situ stress*

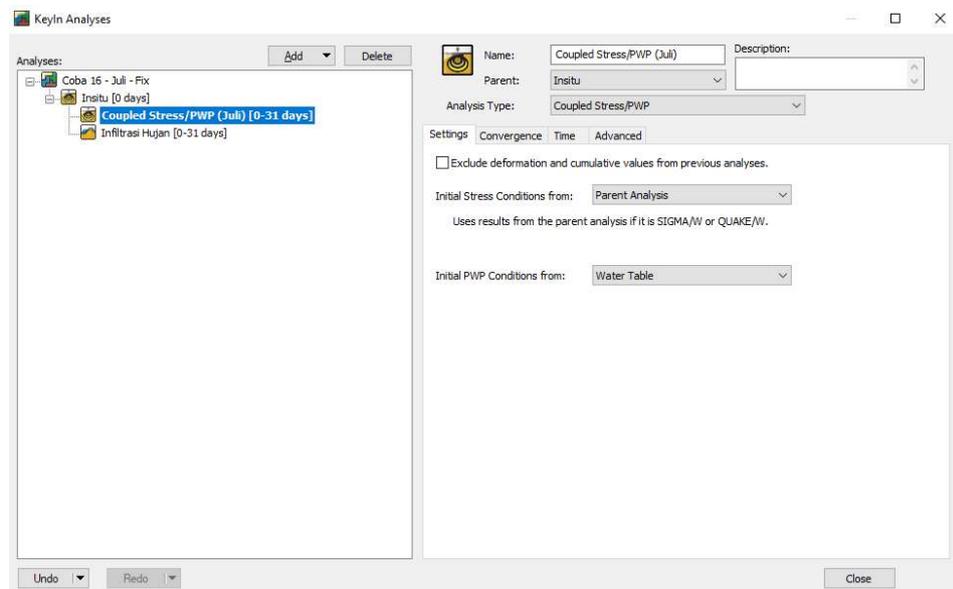
Pemodelan keadaan awal lereng yang sudah dimodelkan selanjutnya adalah menjalankan analisis. Hasil pemodelan *initial in-situ stress* kemudian digunakan sebagai kondisi awal tekanan lereng pada analisis kopel *stress-pore water pressure*. Kondisi tekanan air pori di lereng pada keadaan awal dapat dilihat pada Gambar 3. 22.

3.3.8. Pemodelan Deformasi Lereng

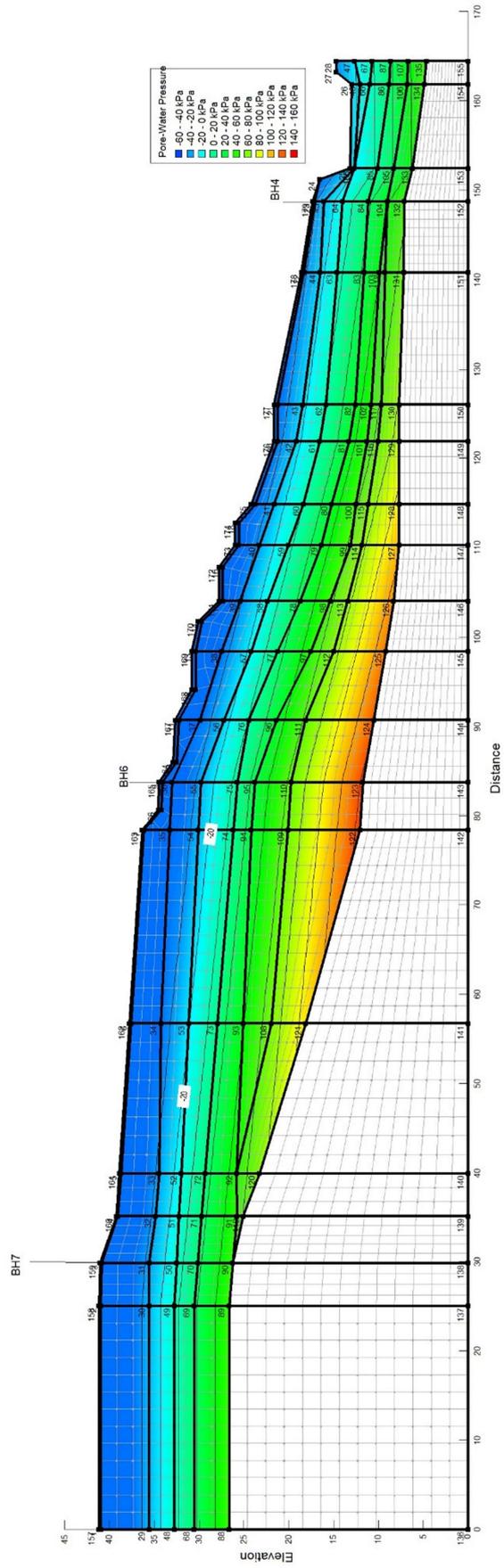
Setelah memodelkan kondisi awal lereng dengan menggunakan tipe analisis *initial in-situ*, kemudian memodelkan deformasi lereng dengan menggunakan analisis *coupled stress/pwp*.

a. Tipe analisis

Tipe analisis yang digunakan adalah *coupled stress/PWP analysis*. Untuk keadaan tegangan (*stress*) awal lereng menggunakan hasil dari analisis sebelumnya yang dijadikan sebagai *parent analysis*.



Gambar 3. 21 *Input* tipe analisis yang digunakan.



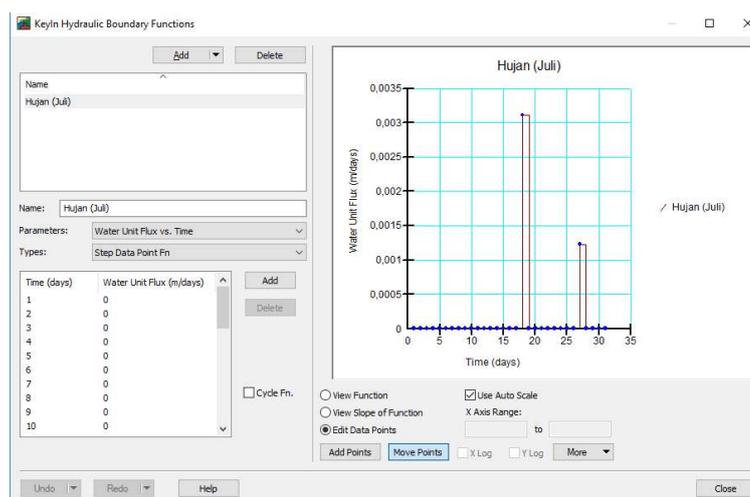
Gambar 3. 22 Kondisi tekanan air pori awal (*initaila pore water pressure*) pada lereng.

b. Material lapisan tanah

Sama seperti pada pemodelan *initial in-situ* pada pemodelan ini, material yang hasur dimasukkan diantaranya parameter kuat geser tanah (sudut gesek internal efektif (ϕ') dan nilai kohesi efektif dari tanah (c')), modulus elastisitas, berat volume efektif, *poisson's ratio* seperti pada Gambar 3. 16. Selain parameter diatas, fungsi *volumetric water content* (Gambar 3. 17) dan fungsi *hydraulic conductivity* (Gambar 3. 18) juga dimasukkan kedalam material.

c. Intensitas Hujan

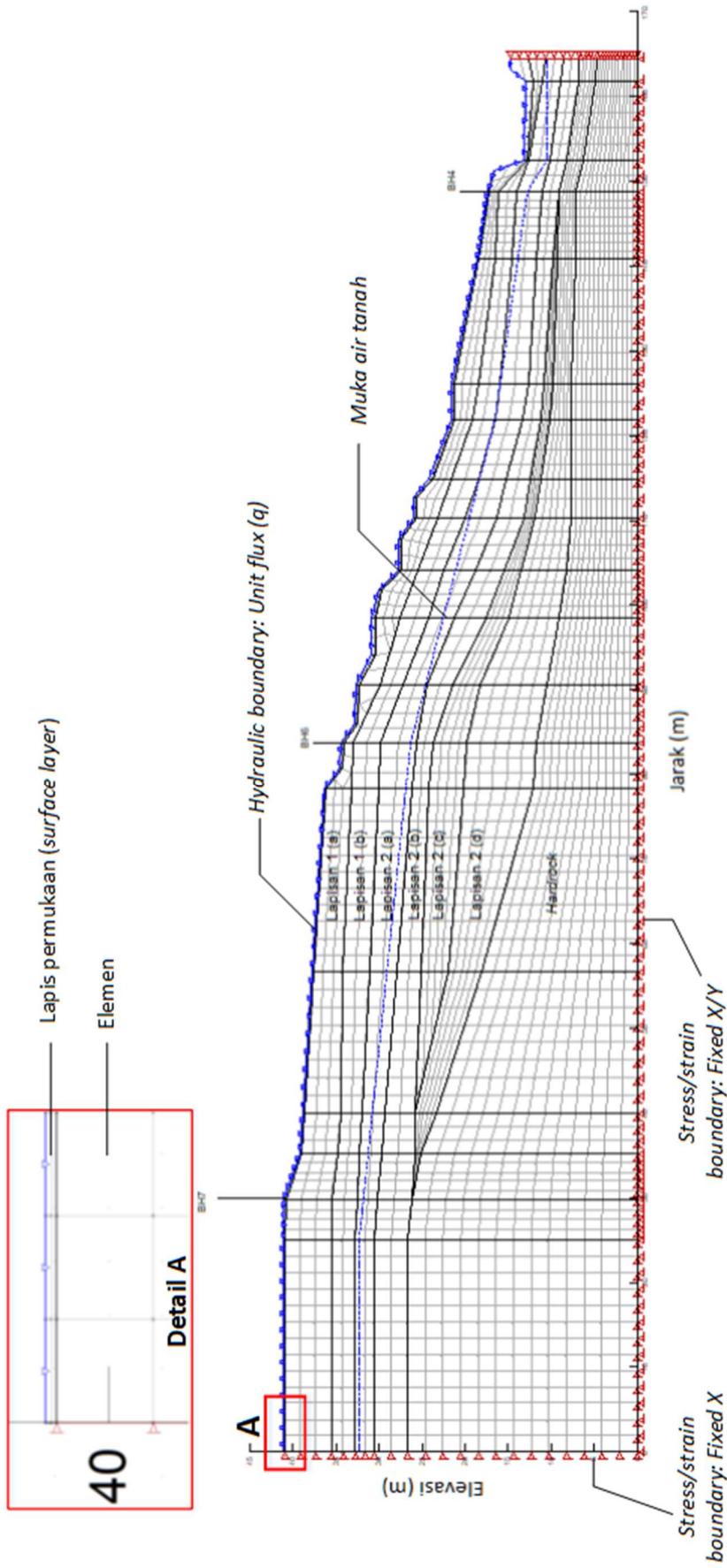
Intensitas hujan yang digunakan berasal dari satelit TRMM dengan durasi hujan selama 2 bulan (1 Juli 2017 – 30 Agustus 2017). Intensitas hujan dimasukkan pada *Boundary Conditions* dengan tipe *unit flux* (q). Intensitas hujan yang sudah dimasukkan ditunjukkan Gambar 3. 23.



Gambar 3. 23 *Input* data intensitas hujan

d. Kondisi batas

Kondisi batas yang ada pada pemodelan ini sama seperti sebelumnya, pada bagian kiri dan kanan lereng tidak ada deformasi pada arah x. Untuk bagian dasar lereng, tidak ada deformasi pada arah x dan y. Intensitas hujan dimodelkan sebagai fungsi *unit flux* (q) yang akan memberikan hasil infiltrasi, dan untuk air yang menggenang di atas permukaan lereng maka akan melimpas sebagai *run-off* sehingga dipilih batas *seepage face review*. Kondisi batas yang diterapkan pada pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 3. 24.



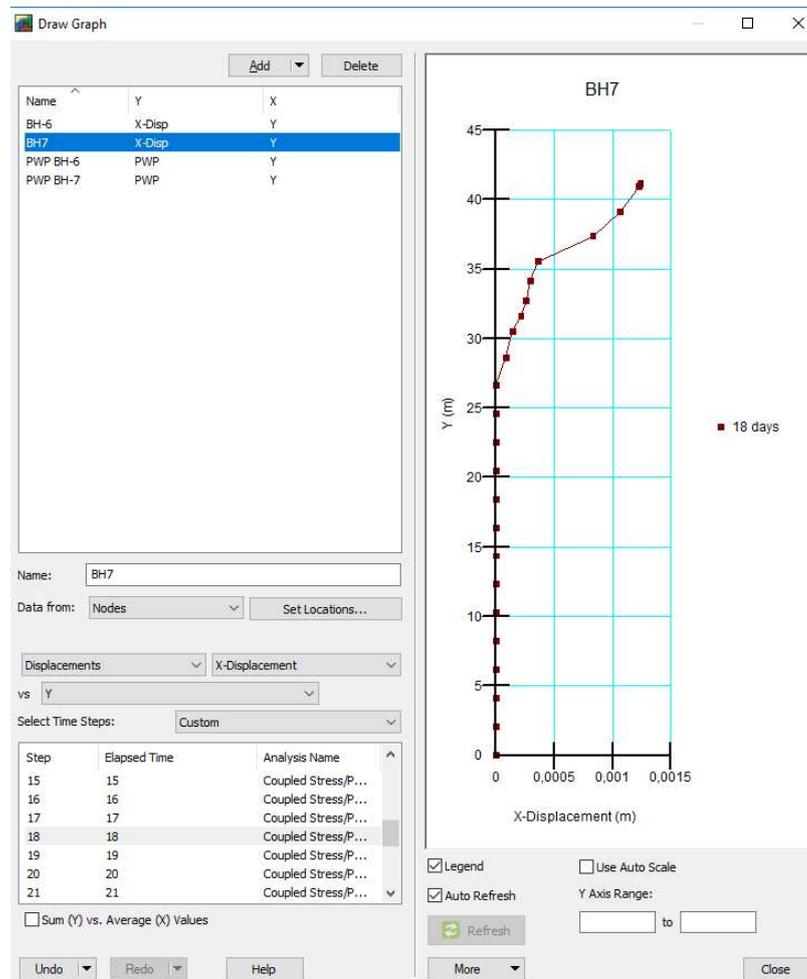
Gambar 3. 24 Kondisi batas (*boundary condition*) yang diterapkan pada pemodelan.

e. Muka air tanah dan jaring elemen (*meshing*)

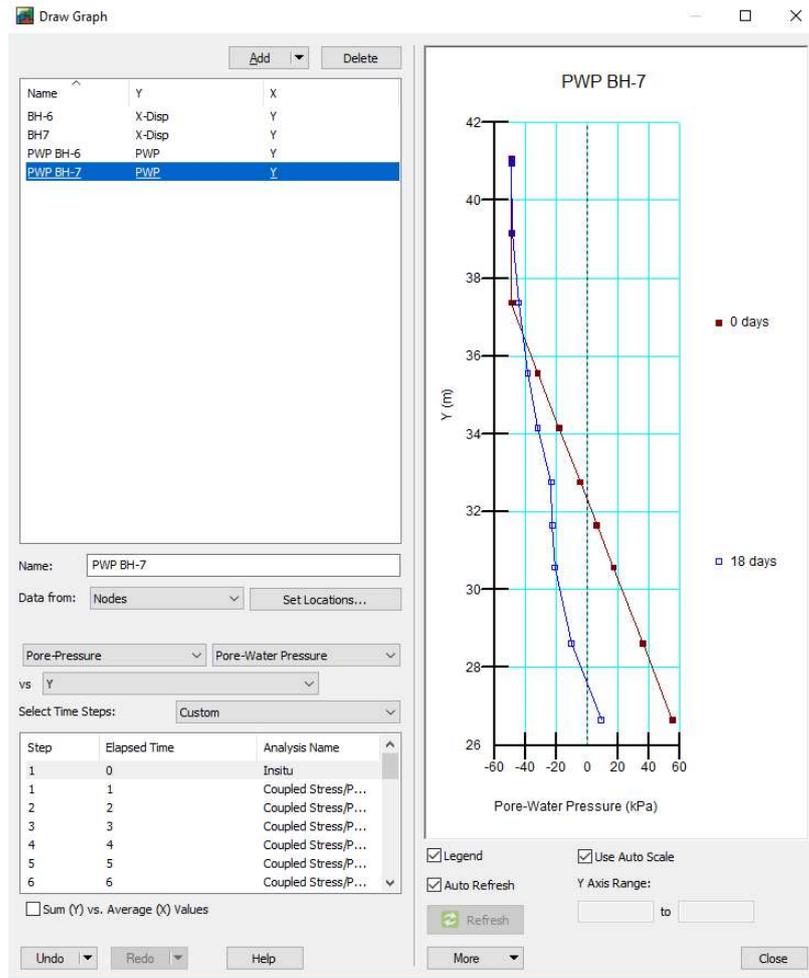
Pada pemodelan ini, muka air tanah dan jaring elemen akan otomatis mengikuti *parent analysis* yang sudah dibuat sebelumnya (*initial in-situ analysis*).

f. Analisis deformasi dengan kopel tegangan-tekanan air pori (*stress-pore water pressure*)

Pemodelan yang sudah selesai dimodelkan, maka selanjutnya adalah menjalankan analisis. Hasil pemodelan yang didapatkan pada pemodelan dengan menggunakan SIGMA/W adalah deformasi yang dapat dilihat pada Gambar 3. 25. Selain deformasi hasil yang dapat didapatkan pada pemodelan ini adalah angka pori pada setiap kedalaman yang dapat dilihat pada Gambar 3. 26.



Gambar 3. 25 Deformasi lereng pada BH-7.



Gambar 3. 26 Perubahan tekanan air pori pada BH-7 pada hari ke-0 dan ke-18.