

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis data dengan program *ArcGis 10.5* dan *Microsoft Excel* diketahui bahwa daerah tangkapan air dari bangunan Sabo Dam GE-C12 adalah sebesar 13.316 km^2 dengan panjang sungai $11.745,54 \text{ km}$. Dari hasil perhitungan curah hujan harian maksimum dengan kala ulang 100 tahun diperoleh curah hujan sebesar $163,60 \text{ mm}$ dengan intensitas $51,21 \text{ mm/jam}$ dan debit banjir $142,18 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dari hasil perhitungan tersebut, disimpulkan bahwa terdapat potensi terjadinya aliran debris karena intensitas hujan yang terjadi lebih besar dari 50 mm/jam .
2. Dari hasil pemeriksaan sedimen di Laboratorium Penyelidikan Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, diperoleh data berat jenis sedimen yaitu sebesar $2,74 \text{ gram/cm}^3$, kadar airnya sebesar $10,77\%$ untuk bagian hulu serta $11,51\%$ untuk bagian hilir, sedangkan untuk hasil pemeriksaan kuat geser langsung diperoleh nilai sudut geseknya sebesar $51,795^\circ$. Hasil pemeriksaan gradasi butiran sedimen di bagian hulu dan hilir bangunan Sabo Dam GE-C12 menunjukkan bahwa sedimen di 2 lokasi tersebut digolongkan sebagai tanah berbutir kasar. Apabila dilihat langsung di lapangan, sedimen dari erupsi

Gunung Merapi memiliki karakteristik yang bervariasi dan terdiri dari tanah, pasir, kerikil, hingga batu kecil maupun besar.

3. Tipe aliran yang terjadi adalah aliran hiperkonsentrasi dengan nilai konsentrasi sedimen (Cd) sebesar 0,048. Volume potensi input aliran sedimen pada kala ulang 100 tahun adalah 35.321,53 m³/tahun.
4. Volume penambangan yang dilakukan di ruas Kali Gendol diperkirakan mencapai 476.000 m³/tahun. Penambangan dilakukan secara legal oleh 7 perusahaan yang telah memperoleh ijin usaha penambangan maupun secara tradisional oleh masyarakat sekitar. Sejauh ini pelaksanaan penambangan selalu dikontrol oleh pihak-pihak terkait dan sesuai dengan rekomendasi teknis yang dikeluarkan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak sehingga tidak berpotensi merusak bangunan sabo. Bahkan di beberapa bangunan sabo di daerah Kali Adem, penambangan aktif dilakukan untuk mengurangi sedimen akibat erupsi Merapi 2010 agar fungsi sabo kembali seperti semula.
5. Berdasarkan hasil perhitungan keseimbangan sedimen dengan persamaan Shimoda diperoleh nilai volume *dead storage* (Vds) sebesar 67.689,53 m³, volume kontrol (Vc) sebesar 33.844,77 m³, dan volume sedimen tertahan (VH) sebesar 50.797,148 m³. Karena volume sedimen yang masuk lebih kecil daripada besarnya volume *dead storage*, volume kontrol, dan volume sedimen tertahan maka nilai volume sedimen yang melimpas alami bernilai negatif sebesar -116.979,91 m³ dan -592.979,91 m³ karena penambangan. Dapat disimpulkan bahwa imbalanced sedimen dapat tercapai dan tidak ada sedimen yang melimpah ke hilir karena adanya bangunan Sabo Dam GE-C12. Dari hasil perhitungan

imbangan sedimen juga dapat disimpulkan bahwa hingga kala ulang 100 tahun, bangunan Sabo Dam GE-C12 masih mampu mengendalikan aliran sedimen yang mungkin terjadi.

6. Sebagai perbandingan dengan kondisi asli di lapangan, apabila memperhitungkan besarnya potensi sedimen karena pengaruh erosi lereng dan sungai, hasil keseimbangan sedimen menunjukkan bahwa akan terdapat volume yang melimpas alami maupun akibat penambangan sebesar 4.034.020,09 m³. Hal tersebut mungkin terjadi karena perhitungan hanya meninjau kapasitas tampungan di Sabo Dam GE-C12 tanpa kapasitas bangunan sabo di atasnya. Apabila dilihat secara visual di lapangan pun, sampai saat ini sedimen yang tersisa di tujuh bangunan sabo bagian hulu masih sangat banyak.
7. Berdasarkan data dari *Draft Review Masterplan Merapi 2017*, volume kapasitas bangunan Sabo Dam GE-C12 saat ini adalah 53.400 m³ dan volume sedimen yang tersisa saat ini di bangunan sabo adalah 2.100 m³. Oleh karena itu disimpulkan bahwa bangunan Sabo Dam GE-C12 baru terisi sebesar 4% sedimen dari total kapasitasnya.
8. Dari hasil perhitungan yang didasarkan pada tipe bangunan sabo, diestimasikan bahwa debit aliran sedimen atau debris yang terjadi di bangunan Sabo Dam GE-C12 bisa mencapai 823,32 m³/detik. Hal tersebut sangat mungkin terjadi mengingat aliran debris adalah aliran dengan kecepatan yang tinggi dan daya rusak yang tinggi.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian ini terdapat beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Menambahkan data curah hujan terbaru dan mengolahnya secara berkala sehingga volume potensi sedimen yang terjadi dapat diperkirakan lebih akurat dan lebih mendekati dengan kondisi di lapangan.
2. Dilakukan perhitungan lebih lanjut mengenai kemampuan dan kapasitas tampungan pada bangunan sabo-sabo lain di Kali Gendol agar diketahui besarnya estimasi sedimen yang akan melimpas ke hilir, sehingga bisa menjadi bahan evaluasi dan pencegahan bencana yang lebih besar.
3. Untuk menjaga kelestarian bangunan sabo, diperlukan pengawasan dan pengontrolan terhadap sedimen yang masuk maupun keluar sehingga keseimbangan sedimen dapat selalu tercapai. Penambangan boleh dilakukan namun dengan tujuan untuk mengosongkan sedimen sisa erupsi dan mengembalikan kembali fungsi bangunan sabo dalam mengendalikan sedimen. Penambangan harus dilakukan dengan tata cara dan metode yang aman sesuai dengan rekomendasi teknis yang disetujui oleh Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdunnafi', Ginanjar. 2016. *Analisa Curah Hujan dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Terhadap Terjadinya Migrasi Debris Flow Kali Putih Gunung Merapi*. Semarang: Skripsi Sarjana Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Negeri Semarang.
- Agustianto, Deny Arista. 2014. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan: Model Hubungan Hujan dan Runoff (Studi Lapangan)*. Vol 2 No.2.
- Anonim. 2001. *Main Report for Review Master Plan Study*. Yogyakarta: PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi.
- Anonim. 2010. *Buku Pedoman Penambangan Pasir*. Yogyakarta: Departemen Pekerjaan Umum Balai Besar Wilayah Sungai Serayu-Opak.
- Anonim. 2012. *Study On Additional Sabo Facility in The Gendol River and The Putih River After The 2010 Mt. Merapi Eruption*. Yogyakarta: PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi.
- Anonim. 2017. *Draft Main Report for Review Master Plan Study*. Yogyakarta: PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi.
- Asyifa, Adwiyah. 2014. *Kondisi Kapasitas Bangunan Sabo Kali Gendol Dengan Adanya Kegiatan Penambangan Bahan Galian C Pra Erupsi 2010*. Yogyakarta: Tesis Magister Teknik Sipil UGM.
- Cahyono, Joko. Januari 2012. *Penanggulangan Daya Rusak Aliran Debris*. <http://jcpoweryogyakarta.blogspot.com/2013/04/aliran-debris.html>
- Cahyono, Joko. 2000. *Pengantar Teknik Sabo*. Jakarta: Yayasan Sabo Indonesia.
- Kusumobroto, H. 2013. *Aliran Debris dan Lahar : Pembentukan, Pengaliran, Pengendapan dan Pengendaliannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lihawa, Fitryane. 2017. *Daerah Aliran Sungai Alo: Erosi, Sedimentasi, dan Longsoran*. Yogyakarta: Deepublish.
- Mukhlisin. 1998. *Pengaruh Curah Hujan Terhadap Pembentukan Aliran Debris*. Yogyakarta: Tesis Magister Teknik Sipil UGM.
- Rahmat, Legono, et al. 2008. *Pengelolaan Sedimen Kali Gendol Pasca Erupsi Merapi Juni 2006* dalam Forum Teknik Sipil No.XVIII.
- Shimoda, Miyamoto, dan Hanoka. 1995. *Study Report of Urgent Sabo Countermeasure Plan For Vulcanic Disaster in Mt. Merapi, JICA*. Yogyakarta.

- SNI 2415-2016. *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sri Harto Br. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Sudiarti, Sri Utami. 2006. *Pengelolaan Sedimen Kali Boyong (Migrasi Alami dan Campur Tangan Manusia)*. Yogyakarta: Tesis Magister Teknik Sipil UGM.
- Suparman, Soetopo, et al. 2011. *Sabo: Untuk Penanggulangan Bencana Akibat Aliran Sedimen*. Jakarta Selatan: Yayasan Air Adhi Eka.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Takahashi, T. 2014. *Debris Flow : Mechanics, Prediction and Countermeasures* (2nd ed.). London: CRC Press/Taylor & Francis Group.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahun 2009-2018

Bulan	Tahun									
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Januari	27,4	46,7	42,8	78,8	59,0	55,5	91,9	21,8	47,7	59,0
Februari	46,9	52,4	52,6	7,3	76,6	44,6	69,6	56,9	74,7	85,0
Maret	74,1	58,6	33,0	0,0	40,1	75,5	88,5	65,8	127,2	46,8
April	50,8	33,9	76,9	72,1	67,7	67,6	106,4	53,2	62,7	33,1
Mei	46,6	48,7	51,4	0,0	57,7	35,2	17,4	62,0	48,5	10,4
Juni	48,2	33,5	0,0	0,0	59,7	10,4	3,3	27,3	24,2	6,0
Juli	1,4	48,1	26,7	0,0	16,5	46,2	0,3	27,1	39,2	0,0
Agustus	0,0	25,6	4,6	0,0	2,8	3,3	0,7	27,9	1,3	0,4
September	0,6	51,9	36,1	0,0	2,9	0,2	0,0	44,2	66,2	15,3
Oktober	16,7	45,1	14,8	9,4	38,4	3,5	0,0	53,7	56,2	1,7
November	58,4	19,9	65,9	2,5	71,1	84,4	44,2	91,1	120,1	65,5
Desember	78,8	58,9	130,5	79,4	42,5	63,0	79,4	75,8	59,5	38,3
Maks	78,8	58,9	130,5	79,4	76,6	84,4	106,4	91,1	127,2	85,0

Lampiran 2. Nilai χ^2 Kritik (Uji Chi Kuadrat)

DK	Distribusi χ^2											
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,01	0,001
1	0,002	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	6,635	10,83
2	0,02	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,604	5,991	9,21	13,82
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	11,35	16,27
4	0,297	0,711	1,084	1,649	2,195	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	13,28	18,47
5	0,554	1,145	1,61	2,343	3	4,351	6,064	7,289	9,236	11,07	15,09	20,52
6	0,872	1,635	2,204	3,07	3,828	5,348	7,231	8,558	10,65	12,59	16,81	22,46
7	1,239	2,167	2,833	3,822	4,671	6,346	8,383	9,803	12,02	14,07	18,48	24,32
8	1,646	2,733	3,29	4,594	5,527	7,344	9,524	11,03	13,36	15,51	20,09	26,43
9	2,038	3,325	4,168	5,38	6,393	8,343	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88
10	2,558	3,94	4,791	6,179	7,267	9,342	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59
11	3,053	4,575	5,578	6,989	8,148	10,34	12,9	14,64	17,28	19,68	24,73	31,26
12	3,571	5,226	6,304	7,807	9,034	11,34	14,01	15,81	18,55	21,03	26,22	32,91
13	4,107	5,892	7,042	8,634	9,926	12,34	15,12	16,99	19,81	22,36	27,69	34,53
14	4,66	6,571	7,79	9,467	10,82	13,34	16,22	18,15	21,06	23,69	29,14	36,12
15	5,229	7,261	8,547	10,31	11,72	14,34	17,32	19,31	22,31	25	30,58	37,7
16	5,812	7,962	9,312	11,15	12,62	15,34	18,42	20,47	23,54	26,3	32	39,25
17	6,408	8,672	10,09	12	13,53	16,34	19,51	21,62	24,77	27,59	33,41	40,79
18	7,005	9,39	10,87	12,86	14,44	17,34	20,6	22,76	25,99	28,87	34,81	42,31
19	7,635	10,12	11,65	13,72	15,35	18,34	21,69	23,9	27,2	30,14	36,19	43,82
20	8,26	10,85	12,44	14,58	16,27	19,34	22,78	25,04	28,41	31,41	37,57	45,32
21	8,897	11,5	13,24	15,45	17,18	20,34	23,86	26,17	29,62	32,67	38,93	46,8
22	9,542	12,34	14,04	16,31	18,1	21,34	24,94	27,3	30,82	33,92	40,29	48,27
23	10,2	13,09	14,85	17,19	19,02	22,34	26,02	28,43	32,01	35,18	41,64	49,73
24	10,86	13,85	15,66	18,06	19,94	23,34	27,1	29,55	33,2	36,42	42,98	51,18
25	11,52	14,61	16,47	18,94	20,87	24,34	28,17	30,68	34,38	37,65	44,31	52,62
26	12,2	15,38	17,29	19,82	21,79	25,34	19,25	31,8	35,56	38,89	45,64	54,05
27	12,88	16,15	18,11	20,7	22,72	26,34	30,32	32,91	36,74	40,11	46,96	55,48
28	13,57	16,93	18,94	21,59	23,65	27,34	31,39	34,03	37,92	41,34	48,28	56,89
29	14,26	17,71	19,77	22,46	14,58	28,34	32,46	35,14	39,09	42,56	49,59	58,3
30	15,95	18,49	20,6	23,36	25,51	29,34	33,53	36,25	40,26	43,77	50,89	59,7

Sumber: Sri Harto, 1993.

Lampiran 3. Nilai Δ Kritik (Uji Smirnov Kolmogorov)

n \ α	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n > 50	$1,07/n^{0,5}$	$1,22/n^{0,5}$	$1,36/n^{0,5}$	$1,63/n^{0,5}$

Sumber: Charles T. Haan, 1993

Lampiran 4. Nilai KT Berdasarkan Cs

Kala Ulang (Tahun)								
Cs	1,01	2	5	10	25	50	100	200
3,0	-0,667	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970
2,9	-0,690	-0,390	0,440	1,195	2,277	3,134	4,013	4,904
2,8	-0,714	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973	4,847
2,7	-0,740	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,093	3,932	4,783
2,6	-0,769	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	-0,799	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652
2,4	-0,832	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800	4,584
2,3	-0,867	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3,753	4,515
2,2	-0,905	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444
2,1	-0,946	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	-0,990	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1,9	-1,037	-0,294	0,627	1,310	2,207	2,881	3,553	4,223
1,8	-1,087	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1,7	-1,140	-0,268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	-1,197	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1,5	-1,256	-0,240	0,690	1,333	2,146	2,743	3,330	3,910

Lampiran 4. Nilai KT Berdasarkan Cs (lanjutan)

Kala Ulang (Tahun)								
Cs	1,01	2	5	10	25	50	100	200
1,4	-1,318	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	-1,383	-0,210	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	-1,449	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1,1	-1,518	-0,180	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	-1,588	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0,9	-1,660	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,975	3,401
0,8	-1,733	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0,7	-1,806	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223
0,6	-1,880	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132
0,5	-1,955	-0,083	0,808	1,33	1,910	2,231	2,686	3,041
0,4	-2,029	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0,3	-2,104	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	-2,178	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	-2,252	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670
0,0	-2,326	0	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576

Sumber: Sri Harto, 1993.

Lampiran 5. Nilai Faktor Koreksi (a) Berdasarkan Berat Jenis (G)

Berat Jenis (G)	Faktor Koreksi (a)
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,03
2,45	1,05

Lampiran 6. Nilai Kedalaman Efektif (L)

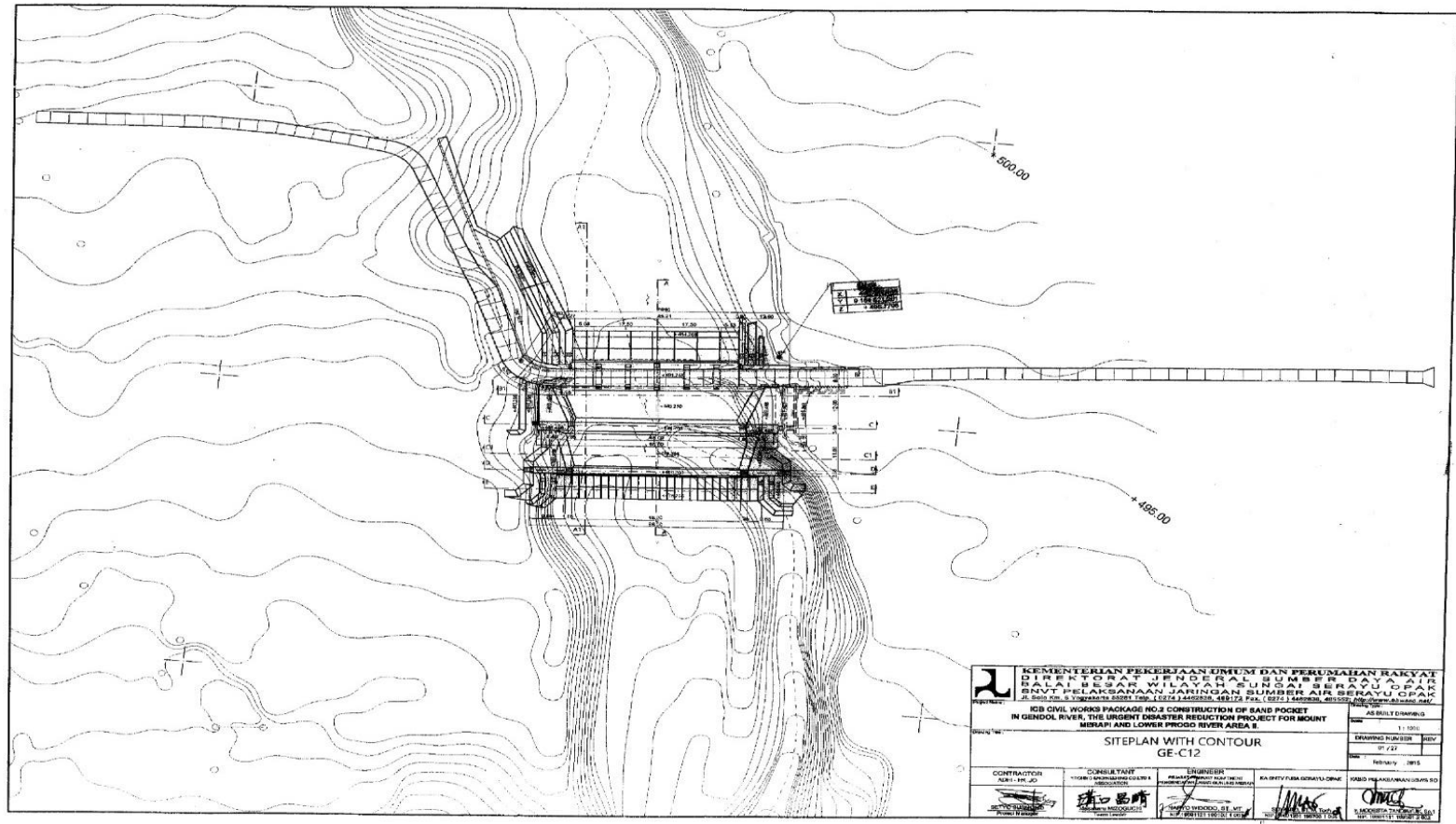
Pembacaan terkoreksi meniskus ($R'=R1+m$)	Kedalaman Efektif	Pembacaan terkoreksi meniskus ($R'=R1+m$)	Kedalaman Efektif
	L (cm)		L (cm)
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5	36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15	39	9,9
9	14,8	40	9,7
10	14,7	41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14	45	8,9
15	13,8	46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13	51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2	56	7,1
26	12	57	7
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

Sumber: Tabel 2 AASHTO T88-00 dan Tabel 2 ASTM D 22-63 (Reapproved 1990)

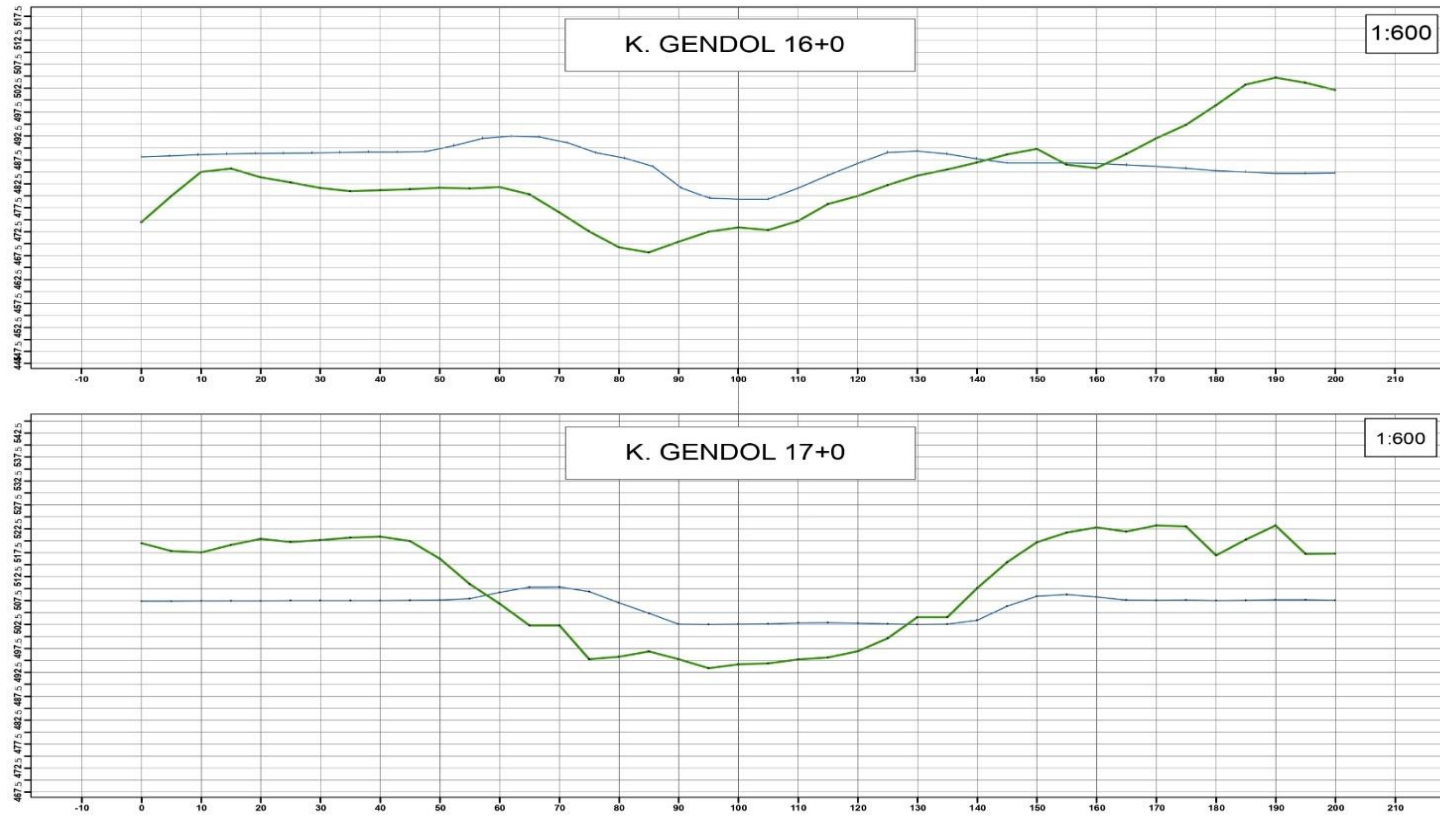
Lampiran 7. Nilai Konstanta Kh

Suhu °C	Berat Jenis Butir Tanah (G)								
	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
16	0,0151	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,0151	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,0149	0,01467	0,01443	0,01421	0,01339	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,0147	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
20	0,0146	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,0144	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,0142	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,014	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,0139	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,0137	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,0136	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01201
27	0,0134	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,0131	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,0131	0,0129	0,01269	0,01249	0,0123	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,013	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

Sumber: ASTM D 422-63 (Reapproved 1990)



Lampiran 8. Site Plan Sabo Dam GE-C12
 (Sumber: PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi)



Lampiran 10. Cross Section Sabo Dam GE-C12
(Sumber: PPK Pengendalian Lahar Gunung Merapi)