

PENGELOLAAN SEDIMEN KALI GENDOL PASCA ERUPSI MERAPI JUNI 2006

Ali Rahmat¹⁾, Djoko Legono²⁾, Haryono Kusumosubroto³⁾

¹⁾ Staf Sabo Technical Centre, Yogyakarta

²⁾ Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM – Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta

³⁾ Sabo Technical Centre, Yogyakarta

ABSTRACT

The Gendol River, with its catchment area of 66 km² and the river length of about 22 km, originates from the south east of Mount Merapi. Nineteen sabo dams have been built in order to anticipate and control sediment disaster. The most upstream dam is Kaliadem (+1.100 msl) and the most downstream dam is consolidation dam of GE-C0 (+163 msl). Sand mining occurs at several points along the river and cause environmental damage. In order to conserve environment and to maintain sediment balance a proper sediment management is required.

The research is conducted based on sediment balance. The analysis of transportable sediment volume (V_s) is conducted using empirical formula of Takahashi (1991) and Mizuyama (1977). Over flow sediment volume (V_E) was analyzed using empirical equation of Shimoda (1995). Sediment balance was analyzed based on maximum daily rainfall (R_{24}) with 25 years return period.

The result of the study shows that the sabo system in Gendol River effectively works to control lahar flow. As a conclusion, the existing sabo dams are able to maintain sediment balance in Gendol River. The possible amount of sand mining is estimated about 1.253.422 m³ and the allowable daily sand mining volume is estimated about 836 m³ per day.

Keywords: sediment management, sabo dam, sand mining, sediment balance.

PENGANTAR

Pada bulan Juni 2006 telah terjadi erupsi Merapi berupa aliran piroklastik dalam volume yang besar ke arah Kali Gendol. Jutaan meter kubik endapan piroklastik yang labil mengendap di puncak, lereng gunung maupun di dasar sungai saat terjadinya letusan, dan apabila terjadi intensitas dan akumulasi hujan yang cukup tinggi material tersebut mudah menjadi aliran lahar yang dalam terminologi teknis disebut sebagai aliran *debris*. Aliran *debris* mempunyai daya rusak yang besar terhadap kehidupan manusia dan sarana dan sarana yang terlenda.

Sistem *sabo* yang diterapkan di Kali Gendol adalah sebagai upaya dalam mengantisipasi dan mengendalikan aliran lahar. Bangunan *sabo* (*sabo dam*) merupakan salah satu bangunan yang paling dominan dalam penerapan sistem *sabo* karena mempunyai fungsi untuk menampung, menahan, serta mengendalikan aliran sedimen. Akibat adanya bangunan *sabo* adalah tertahannya sedimen di hulu bangunan tersebut sehingga memungkinkan untuk dilakukan penambangan bahan Galian

'C'. Penambangan bahan Galian 'C' yang tidak terkendali akan menimbulkan dampak selain kerusakan lingkungan juga dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan *sabo*, sehingga akan menurun fungsinya.

Sebagai upaya menjaga kelestarian lingkungan serta pemeliharaan bangunan *sabo*, maka diperlukan kajian pengelolaan sedimen (*sediment management*) yang terkait dengan imbalanced sedimen (*sediment balance*) dan penambangan (*sand mining*). Keseimbangan sedimen didasarkan pada produksi sedimen yang masuk dari hulu bangunan serta reduksi produksi sedimen dengan adanya bangunan *sabo*.

CARA PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Kali Gendol adalah salah satu anak sungai dari Kali Opak yang mengalir dari lereng Gunung Merapi ke arah Tenggara yang mempunyai panjang sungai ± 22 km dan mempunyai daerah tangkapan sungai ± 60 km², secara administratif

terletak di Kabupaten Sleman dan merupakan alur sungai paling timur di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Palung sungai di bagian hulu relatif curam serta cenderung melebar dengan tebing sungai yang tinggi.

Penelitian ini dilaksanakan pada bangunan-bangunan *sabo* yang ada di Kali Gendol, mulai dari bangunan paling hulu yakni *sabo* dam Kaliadem (elevasi +1100 m) hingga bangunan paling hilir yakni bangunan *sabo* GE-C0 (elevasi +163 m). Peta lokasi bangunan *sabo* baik yang masih dalam rencana maupun yang sudah ada (*existing sabo facilities*) di Kali Gendol disajikan pada Gambar 1.

Ketersediaan data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan dan data-data sekunder yang meliputi: data curah hujan; data penambangan; data potensi sedimen; peta topografi; data dimensi bangunan *sabo* dam; dan data geometri sungai Kali Gendol.

Pelaksanaan penelitian

Kajian ini dimulai dengan menganalisa potensi sumber sedimen yang ada di Kali Gendol kemudian dilakukan analisis produksi sedimen atau sedimen yang mengalir masuk ke Kali Gendol. Perhitungan produksi sedimen berdasarkan estimasi volume sedimen yang terangkut dalam satu kali banjir dengan kala ulang tertentu. Selanjutnya kapasitas bangunan *sabo* dan volume penambangan dihitung sebagai reduksi produksi sedimen. Imbangan sedimen dianalisa berdasarkan jumlah produksi sedimen, reduksi produksi sedimen serta sedimen yang melimpas melewati bangunan *sabo*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tipe aliran dan Konsentrasi sedimen (C_d)

Aliran *debris* adalah dimana jumlah sedimen lebih banyak daripada airnya (dalam volume) yang mengalir dengan kecepatan yang cukup tinggi. Sekali aliran ini dimulai (karena kesetimbangan statik antara gaya geser yang ditimbulkan lebih

besar dari gaya geser yang menahan), maka jumlah massa yang mengalir, ketinggiannya, serta kecepatannya akan selalu bertambah (mempunyai percepatan). Analisis sederhana terhadap kemiringan dasar sungai ($\tan \theta$) serta karakteristik butiran material berupa C_* , ρ , dan σ berdasarkan data yang diperoleh memberikan informasi mengenai tipe aliran serta konsentrasi sedimen yang ada di lokasi penelitian.

Tipe aliran di Kali Gendol dapat diketahui melalui pendekatan (Takahashi, 1991) berikut ini.

$$\tan \theta_d = \frac{C_*(\sigma - \rho)}{C_*(\sigma - \rho) + \rho(1 + 1/K)} \tan \phi \quad (1)$$

$$\tan \theta_d = \frac{0,6(2,65 - 1)}{0,6(2,65 - 1) + 1(1 + 1/0,85)} 0,70$$

$$= 0,219 \rangle \tan \theta = 0,125 \quad (2)$$

Dari hasil analisis menggunakan persamaan (2) diketahui bahwa tipe aliran yang terjadi di lokasi kajian adalah jenis aliran hiperkonsentrasi (*immature debris*) dimana kemiringan dasar sungai lebih kecil dari kemiringan dasar kritik terjadinya aliran *debris*.

Konsentrasi sedimen (C_d) merupakan salah satu parameter dalam menentukan kriteria aliran sedimen. Untuk menghitung konsentrasi sedimen aliran hiperkonsentrasi dilakukan melalui pendekatan empirik (Mizuyama) sebagai berikut:

$$C_d = \frac{11.85 \tan^2 \theta}{1 + 11.85 \tan^2 \theta} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan (3) di atas faktor kemiringan dasar sungai sangat mempengaruhi besarnya nilai konsentrasi. Hasil konsentrasi sedimen untuk masing-masing bangunan *sabo* disajikan pada Tabel 1.

Potensi sedimen dan Volume sedimen yang masuk (V_s) (produksi sedimen)

Kondisi sungai dan daerah pengalirannya setiap daerah berbeda baik karakteristik alam maupun potensi sedimennya. Namun demikian secara umum dapat ditunjukkan bahwa potensi sedimen terutama di daerah Gunung Merapi berasal dari endapan material piroklastik hasil erupsi, erosi lereng, erosi tebing, runtuhnya tebing

dan endapan di dasar sepanjang sungai. Potensi sedimen yang ada di Kali Gendol disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan perhitungan dan penelitian yang telah dilakukan di daerah gunung Merapi, jumlah potensi sedimen umumnya lebih besar daripada kemampuan angkutan sedimennya.

Untuk menghitung angkutan sedimen berdasarkan perhitungan volume sedimen yang masuk dari hulu bangunan *sabo* (V_s) sebagai pasokan sedimen dalam aliran massa di daerah gunungapi dilakukan dengan cara mengalikan konsentrasi sedimen dengan volume total air yang diperoleh dengan mengalikan hujan harian rencana (R_{24}) terhadap luas daerah tangkapan (A) kemudian dikalikan dengan nilai koreksi (f_r). Nilai hujan rencana (R_{24}) yang digunakan adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Jumlah sedimen yang terangkut dalam satu kali banjir berdasarkan pendakan empiris Takahashi (1991) dan Mizuyama (1977).

$$V_s = \frac{R_{24} \cdot A \cdot 10^3}{1 - \lambda} \cdot \frac{C_d}{1 - C_d} \cdot f_r \quad (4)$$

dengan :

- A : luas daerah tangkapan sungai (km^2),
- C_d : konsentrasi sedimen aliran *debris*,
- f_r : nilai koreksi *run off* yang tergantung pada luas daerah, (0,1 – 0,5),
- R_{24} : curah hujan harian maksimum dengan kala ulang tertentu (mm),
- V_s : volume sedimen yang terbawa aliran *debris* skala tertentu/volume input (m^3),
- λ : *void ratio* (0,4).

Dari persamaan (4) dapat dilihat bahwa semakin besar harga curah hujan, maka akan besar volume sedimen yang terangkut. Hasil analisis volume sedimen yang terangkut dalam satu kali banjir sebagai volume *input* (produksi sedimen) dengan curah hujan kala ulang tertentu ditunjukkan pada Tabel 4. Informasi yang disajikan pada Tabel 4 menjelaskan tentang prediksi jumlah volume sedimen yang terangkut dalam satu kali banjir yang masuk dari hulu masing-masing bangunan *sabo* dengan curah hujan kala ulang 1,2,5,10,25,50 dan 100 tahun. Berdasarkan jumlah volume sedimen yang terangkut dalam satu kali banjir tersebut dapat ditentukan pola angkutan sedimen yang disajikan pada Gambar 2. Dengan

melihat pola angkutan terjadi agradasi dan degradasi pada penggal/ruas sungai di Kali Gendol. Hal ini dapat dimungkinkan karena perbedaan luas DAS serta konsentrasi sedimen yang dipengaruhi oleh kemiringan dasar sungai.

Kapasitas Bangunan *Sabo* (reduksi produksi sedimen)

Kapasitas bangunan *sabo* adalah kemampuan bangunan tersebut untuk menampung dan mengendalikan sedimen tanpa menimbulkan kerusakan dan bencana dalam suatu daerah perencanaan. Kapasitas bangunan *sabo* terdiri atas volume tampungan mati (V_{ds}) atau jumlah sedimen yang terangkut ke hilir dan ditampung oleh bangunan *sabo*, volume kontrol (V_C) atau jumlah sedimen yang mengendap sementara di bagian hulu *sabo* dam karena adanya penyempitan penampang melintang sungai oleh bangunan *sabo*, dan volume tertahan (V_H) atau jumlah sedimen yang ditahan oleh bangunan *sabo* baik di dasar maupun di tebing sungai yang diperkirakan akan terangkut ke hilir apabila tidak ada bangunan.

Kapasitas bangunan *sabo* dihitung dengan mempertimbangkan parameter-parameter, antara lain: lebar sungai, tinggi rencana bangunan *sabo*, kemiringan dasar sungai (I_o), kemiringan dasar sungai rencana (I_d), panjang endapan sedimen dan jarak antar bangunan.

Dalam upaya pengendalian banjir lahar di Kali Gendol sampai dengan tahun 2006 telah dibangun sejumlah fasilitas bangunan *sabo* (*sabo* dam). Tabel 5 memberikan informasi mengenai kapasitas dari masing-masing bangunan *sabo* yakni volume sedimen kontrol (V_C), volume tampungan mati (V_{ds}) dan volume tertahan (V_H) juga kapasitas bangunan saat ini (kondisi Desember 2006).

Tabel 5 juga menunjukkan bahwa sampai dengan akhir Desember 2006, kapasitas bangunan *sabo* sebagai reduksi produksi sedimen dalam rangka imbalan sedimen telah terisi hingga 56% dari total kapasitas dan beberapa bangunan *sabo* di bagian hulu yakni bangunan *sabo* dam Kaliadem dan GE-D7 telah terpenuhi sebanyak 100% akibat endapan piroklastik hasil erupsi Merapi Juni 2006. Namun demikian dari rata-rata 46% kapasitas reduksi produksi sedimen yang masih tersedia oleh bangunan *sabo* diharapkan mampu mengendalikan

aliran lahar yang akan terjadi dan menjaga imbalan sedimen di Kali Gendol.

Volume Penambangan (V_P) (reduksi produksi sedimen)

Penambangan di Kali Gendol merupakan jenis penambangan tradisional yang dilakukan oleh masyarakat di sekitarnya. Penambangan dilaksanakan setiap hari dengan menggunakan alat-alat sederhana (pacul, linngis, senggrong) yang dilakukan secara berkelompok. Transportasi truk yang mengangkut hasil tambang umumnya berkapasitas 4 m³ dan perhari bisa mencapai 200 truk. Tabel 6 memberikan gambaran tentang volume penambangan yang terdiri dari volume maksimum yang dapat ditambang apabila seluruh kapasitas bangunan *sabo* telah terisi yakni sebesar 2.239.833 m³, volume penambangan yang diijinkan dalam rangka menjaga imbalan sedimen sebesar 1.253.422 m³, dan produksi penambangan di Kali Gendol pasca erupsi Merapi Juni 2006 yang mencapai 836 m³ perhari. Dengan melihat jumlah sedimen yang tersedia serta jumlah produksi penambangan perhari, maka diperkirakan bahwa bahan galian golongan C akan dapat dikelola atau ditambang untuk kurun waktu ± 4 tahun dengan asumsi tidak ada pasokan sedimen dari hulu berupa aliran lahar.

Imbalan Sedimen dan Volume Sedimen yang Melimpas (V_E)

Keseimbangan sedimen (*sediment balance*) merupakan salah satu aspek yang terkait dalam pengelolaan sedimen (*sediment management*). Keseimbangan sedimen direncanakan untuk mendapatkan nilai volume sedimen yang mengalir pada titik kontrol (titik dasar perencanaan dalam hal ini bangunan *sabo*) atau untuk mengetahui kondisi sedimen yang masuk (*input*) dan keluar (*output*). Imbalan sedimen berdasarkan volume sedimen yang masuk sebagai produksi sedimen, dikurangi oleh kapasitas bangunan dan volume penambangan sehingga kelebihan sedimen atau volume sedimen yang melimpas tidak membahayakan bagi daerah hilir. Pendekatan empirik yang digunakan untuk menghitung imbalan sedimen (Shimoda, 1995) adalah:

$$V_E = V_S - (V_H + V_C + V_{ds}) \quad (5)$$

$$V_E' = V_E - V_P \quad (6)$$

dengan :

V_E : volume sedimen yang melimpas kondisi alami (m³),

V_E' : volume sedimen yang melimpas kondisi adanya penambangan (m³),

V_S : volume sedimen yang masuk dari hulu (m³),

V_H : volume sedimen tertahan (m³),

V_C : volume kontrol (m³),

V_{ds} : volume tampungan mati (*dead storage*) (m³).

V_P : volume penambangan (m³),

Tabel 7 dan Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi imbalan sedimen yang terjadi di Kali Gendol dengan banjir kala ulang kala ulang 25 tahun. Asumsi banjir dengan kala ulang 25 tahun tersebut berdasarkan intensitas hujan yang menyebabkan terjadinya aliran *debris* adalah sebesar 50 mm/jam (Mukhlisin, 1998) dan kondisi akumulasi sedimen yang ada di Kali Gendol setelah adanya erupsi Merapi Juni 2006 hingga Desember 2006 sebesar 1.396.977 m³ yang disebabkan oleh curah hujan sebesar 172,838 mm atau setara dengan intensitas hujan sebesar 41,25 mm/jam.

Keseimbangan sedimen dapat dilihat dari jumlah volume sedimen yang melimpas kondisi alami dari *sabo* dam Kaliadem sebesar 70.781 m³ sedangkan dengan adanya penambangan sebesar 27.066 m³ dan sampai GE-C0 sebesar -82,932 m³ (tidak ada yang melimpas). Dengan demikian volume sedimen yang masuk atau pasokan sedimen dari hulu hanya mengisi kapasitas bangunan *sabo* dan imbalan sedimen (*sediment balance*) yang diharapkan dapat tercapai dengan adanya fasilitas bangunan *sabo* yang sudah ada.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil kajian menunjukkan sampai dengan saat ini sistem *sabo* yang diterapkan di Kali Gendol cukup efektif dalam menahan, menampung dan mengendalikan aliran lahar, hal ini ditunjukkan dengan kemampuan bangunan *sabo* dalam

mengarahkan, menangkap aliran lahar dan sebagai tempat pengendapan, sehingga pasokan material lahar ke hilir berkurang dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungan disekitarnya. Imbangan sedimen dapat didasarkan dari jumlah produksi sedimen (*input*) dan reduksi produksi sedimen (*output*). Kapasitas reduksi dengan adanya bangunan *sabo* telah terisi 56% dari rencana dan sebagian besar fungsi reduksi sedimen masih cukup memadai dalam mengendalikan aliran lahar dengan rata-rata sebesar 46%, sehingga imbangan sedimen yang diharapkan masih dapat dicapai oleh fasilitas bangunan *sabo* yang sudah ada. Volume penambangan yang tersedia adalah sebesar 1.253.422 m³ dengan produksi penambangan mencapai 836 m³ per hari, sehingga bahan galian golongan C akan dapat dikelola untuk kurun waktu \pm 4 tahun, dengan asumsi tidak ada lagi pasokan sedimen dari hulu berupa aliran lahar.

Saran

Dari kesimpulan tersebut di atas, maka disarankan dalam rangka pengelolaan sedimen (*sediment management*) di seluruh panjang sungai perlu dengan mempertimbangkan jumlah material dari hulu sebagai pasokan sedimen dan reduksi produksi sedimen dengan adanya bangunan *sabo* dan penambangan (*sand mining*). Dengan demikian imbangan sedimen (*sediment balance*) dapat dicapai, sehingga pengendalian aliran lahar dengan adanya bangunan *sabo* dapat benar-benar memberikan manfaat perlindungan bagi masyarakat (terutama para penambang) serta menjaga kelestarian lingkungan (terutama kelestarian sungai).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DR. Ir. Radianta Triadmadja yang telah memberikan masukan dan saran pada Naskah Publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, *Technical Guidelines for Debris Flow Control Measures*, Sediment Control Division, Sediment Control Departement River Bureau, Ministry of Construction, Japan.
- Anonim, 2001, *Main Report Review Master Plan Study*, Proyek Pengendalian Lahar Gunung Merapi Pulau Jawa, Bagian Proyek Pengendalian Lahar Gunung Merapi, Yogyakarta.
- Anonim, 2003, *Data Inventarisasi Kondisi Bangunan Pengendalian Banjir Lahar Gunung Merapi untuk Kali Gendol*, Proyek Pengendalian Lahar Gunung Merapi Pulau Jawa, Bagian Proyek Pengendalian Lahar Gunung Merapi, Yogyakarta.
- Anonim, 2005, *Report Integrated Sediment related Disaster Management*, On The Job Training on Mount Merapi, Sabo Technical Centre, Yogyakarta.
- Mukhlisin, 1998, *Pengaruh Curah Hujan Terhadap Pembentukan Aliran Debris*, Tesis Magister, Progran Studi Teknik Sipil, Sekolah Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Sri Utami Sudiarti, 2006, *Pengelolaan Sedimen Kali Boyong (Migrasi Alami dan Campur Tangan Manusia)*, Tesis Magister, Progran Studi Magister Pengelolaan Bencana Alam, Sekolah Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Subarkah, 2004, *Aliran Debris, Materi Kuliah Program Sarjana Magister Pengelolaan Bencana Alam*, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Tabel 1. Nilai konsentrasi sedimen untuk masing-masing bangunan *sabo*

No	Nama Bangunan Sabo	I _o	C _d
1	Sabo Dam Kaliadem	0.125	0.312
2	GE-D7	0.078	0.135
3	GE-D6	0.078	0.135
4	GE-D5	0.071	0.114
5	GE-D4	0.071	0.114
6	GE-D3	0.071	0.114
7	GE-D (Kepuharjo)	0.057	0.074
8	GE - C12	0.050	0.058
9	GE - C10	0.050	0.058
10	GE - C (Cangkring I)	0.039	0.035
11	GE - C (Cangkring II)	0.039	0.035
12	GE - C (Jetis I)	0.036	0.031
13	GE - C (Plumbon I)	0.034	0.027
14	GE - C (Plumbon II)	0.034	0.027
15	GE - C7	0.034	0.027
16	GE - C (Jambon)	0.034	0.027
17	GE - C (Jerukan)	0.034	0.027
18	GE - C (Rogobangsan)	0.026	0.016
19	GE - C0	0.014	0.004

Tabel 2. Jumlah potensi sedimen yang ada di Kali Gendol

Potensi sedimen	Estimasi	Catatan
Kondisi saat ini:	4,743,000 m ³	akibat kerusakan di daerah hulu akibat kerusakan di daerah hulu akibat erosi di sepanjang sungai akibat erosi di sepanjang sungai
Erosi Lereng	229,000 m ³	
Longsor Lereng	41,000 m ³	
Erosi Tebing Sungai	3,400,000 m ³	
Erosi Dasar	1,073,000 m ³	
Perkiraan yang akan datang	2,500,000 m ³	Berdasarkan asumsi Masterplan Merapi dan telah terjadi aliran piroklastik Juni 2006
Total potensi sedimen	7,243,000 m ³	

Sumber: Laporan Tim OJT ISDM Merapi Tahun 2005

Tabel 3. Hujan harian rencana (R₂₄) dengan kala ulang tertentu

Kala Ulang	Titik Kontrol GE-D7		Titik Kontrol GE-D Kepuh		Titik Kontrol GE-C0	
	R ₂₄ (mm)	Intensitas (mm/jam)	R ₂₄ (mm)	Intensitas (mm/jam)	R ₂₄ (mm)	Intensitas (mm/jam)
1	77.29	18.44	74.58	17.80	70.44	16.81
2	115.42	27.55	113.86	27.17	97.13	23.18
5	150.61	35.94	132.69	31.67	113.10	26.99
10	178.68	42.64	143.74	34.31	123.67	29.52
25	220.12	52.53	156.55	37.36	137.03	32.70
50	255.75	61.04	165.42	39.48	146.95	35.07
100	295.88	70.61	173.83	41.48	156.78	37.42

Tabel 4. Volume sedimen yang masuk (produksi sedimen)

Nama Bangunan	Volume sedimen yang terangkut dalam 1 X banjir dengan kala ulang (V_s)						
	1 tahun m^3	2 tahun m^3	5 tahun m^3	10 tahun m^3	25 tahun m^3	50 tahun m^3	100 tahun m^3
Kaliadem	17,753	38,226	50,479	58,592	68,842	76,447	83,995
GE-D7	15,956	34,356	45,369	52,661	44,137	68,708	75,492
GE-D6	22,489	48,422	63,943	74,220	87,204	96,837	106,399
GE-D5	29,502	63,521	83,883	97,365	114,398	127,035	139,578
GE-D4	33,496	72,123	95,242	110,549	129,889	144,237	158,478
GE-D3	39,679	85,435	112,822	130,954	153,864	170,860	187,730
GE-D Kepuharjo	37,739	81,258	107,306	124,551	146,341	162,506	178,552
GE - C12	53,067	114,263	150,889	175,140	205,780	228,510	251,073
GE - C10	67,044	144,355	190,628	221,265	259,975	288,692	317,197
GE - C Cang I	42,210	90,886	120,019	139,308	163,679	181,760	199,706
GE - C Cang II	44,425	95,653	126,315	146,615	172,265	191,294	210,182
GE - C Jetis I	46,339	99,774	131,757	152,933	179,688	199,536	219,238
GE - C Plum I	47,944	103,230	136,321	158,229	185,911	206,447	226,832
GE - C Plum II	52,279	112,565	148,648	172,537	202,722	225,115	247,343
GE - C7	54,539	117,431	155,073	179,996	211,485	234,846	258,035
GE - C Jambon	61,914	133,310	176,043	204,336	240,084	266,604	292,928
GE - C Jerukan	63,705	137,167	181,135	210,247	247,029	274,316	301,401
GE - C Rogo	37,714	81,205	107,235	124,469	146,245	162,399	178,434
GE - C0	11,339	24,414	32,239	37,421	43,967	48,824	53,645

Tabel 5. Kapasitas bangunan *sabo* yang ada di Kali Gendol

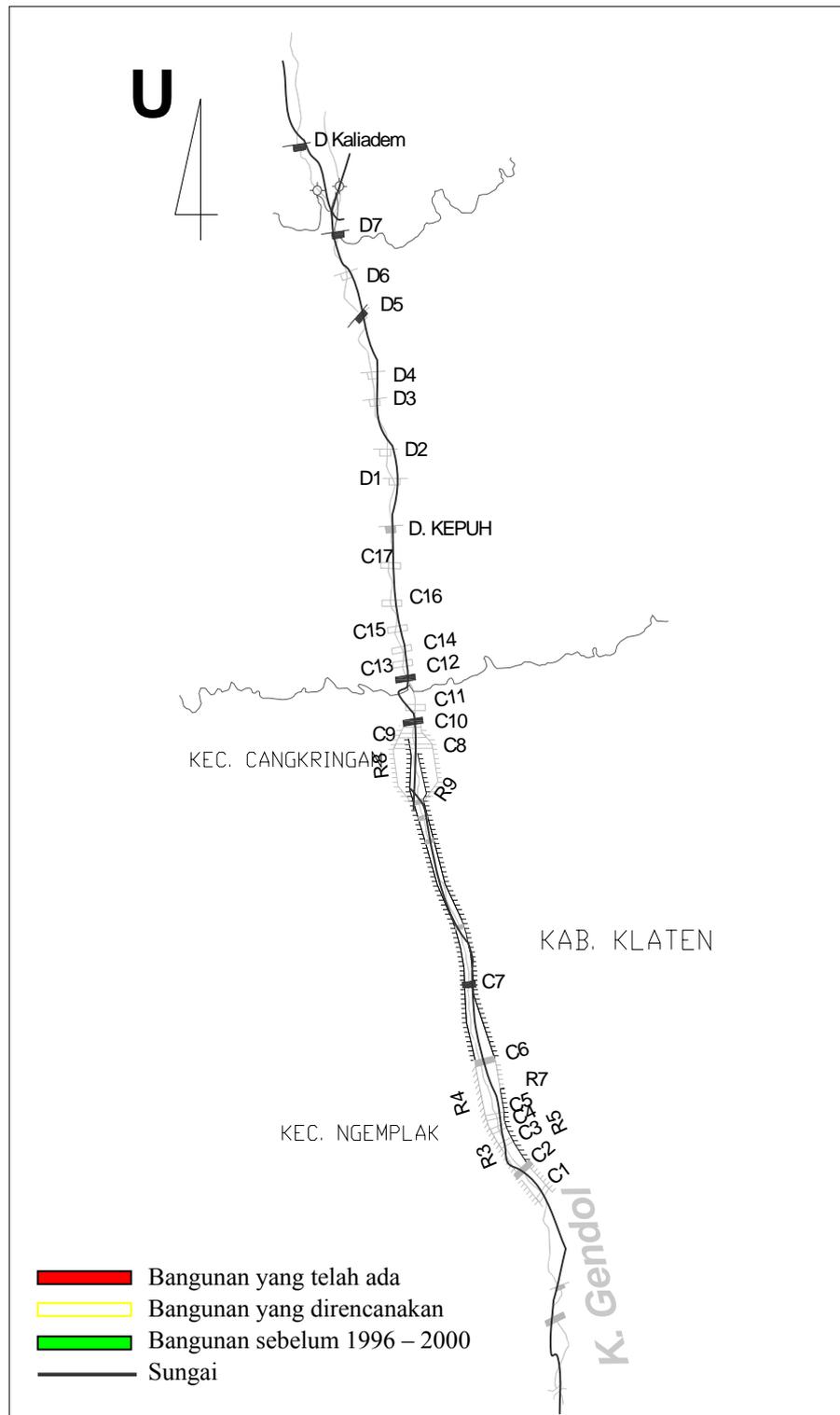
Nama bangunan	Kapasitas bangunan <i>sabo</i>				Kapasitas bangunan saat ini $V_{ks} (m^3)$
	Volume tampung $V_{ds} (m^3)$	Volume kontrol $V_C (m^3)$	Volume tertahan $V_H (m^3)$	Total $V_{tot} (m^3)$	
Sabo Dam Kaliadem	27,922	13,961	12,764	54,647	54,657
GE-D7	249,049	40,881	73,109	363,039	363,459
GE-D6	224,626	112,313	51,606	388,545	-
GE-D5	294,344	147,172	75,352	516,868	516,969
GE-D4	191,577	95,789	31,408	318,774	191,577
GE-D3	200,458	100,229	39,184	339,872	200,458
GE-D (Kepuharjo)	66,174	33,087	26,470	125,730	66,174
GE - C12	72,930	36,465	35,904	145,299	63,360
GE - C10	57,400	28,700	36,736	122,836	39,360
GE - C (Cangkringan I)	27,429	13,714	21,943	63,086	17,143
GE - C (Cangkringan II)	-	-	5,423	-	-
GE - C (Jetis I)	-	-	11,940	-	-
GE - C (Plumbon I)	-	-	13,797	-	-
GE - C (Plumbon II)	-	-	2,947	-	-
GE - C7	137,705	68,852	54,880	261,437	43,033
GE - C (Jambon)	-	-	5,621	-	-
GE - C (Jerukan)	-	-	4,754	-	-
GE - C (Rogobangsan)	46,322	23,161	29,646	99,128	10,588
GE - C0	-	-	17,467	-	-
Total		2,799,261			1,566,777

Tabel 6. Volume penambangan di Kali Gendol

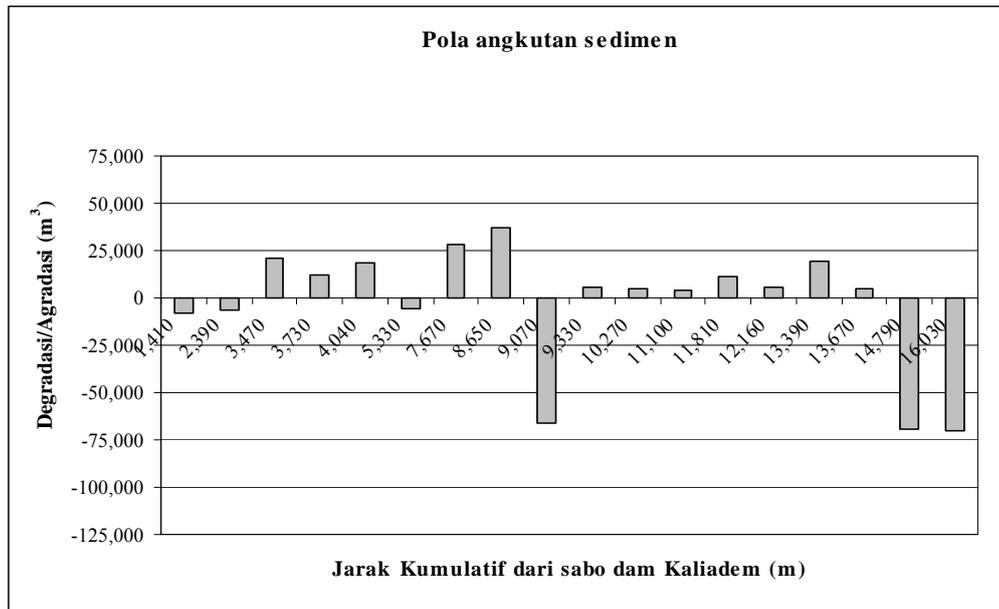
No	Nama bangunan	Volume penambangan (V_p)		
		Maksimum yang diijinkan (m^3)	Pasca erupsi Juni 2006 perhari (m^3)	yang dapat dikelola (m^3)
1	Sabo Dam Kaliadem	43,725	-	43,725
2	GE-D7	290,767	-	290,767
3	GE-D6	310,836	-	-
4	GE-D5	413,575	600	413,575
5	GE-D4	255,019	-	153,262
6	GE-D3	271,897	-	160,367
7	GE-D (Kepuharjo)	100,584	168	52,939
8	GE - C12	116,239	8	50,688
9	GE - C10	98,269	4	31,488
10	GE - C (Cangkring I)	50,469	4	13,714
11	GE - C (Cangkring II)	-	-	-
12	GE - C (Jetis I)	-	-	-
13	GE - C (Plumbon I)	-	-	-
14	GE - C (Plumbon II)	-	-	-
15	GE - C7	209,150	20	34,426
16	GE - C (Jambon)	-	-	-
17	GE - C (Jerukan)	-	-	-
18	GE - C (Rogobangsari)	79,302	32	8,470
19	GE - C0	-	-	-
Total		2,239,833	836	1,253,422

Tabel 7. Imbangan sedimen di Kali Gendol

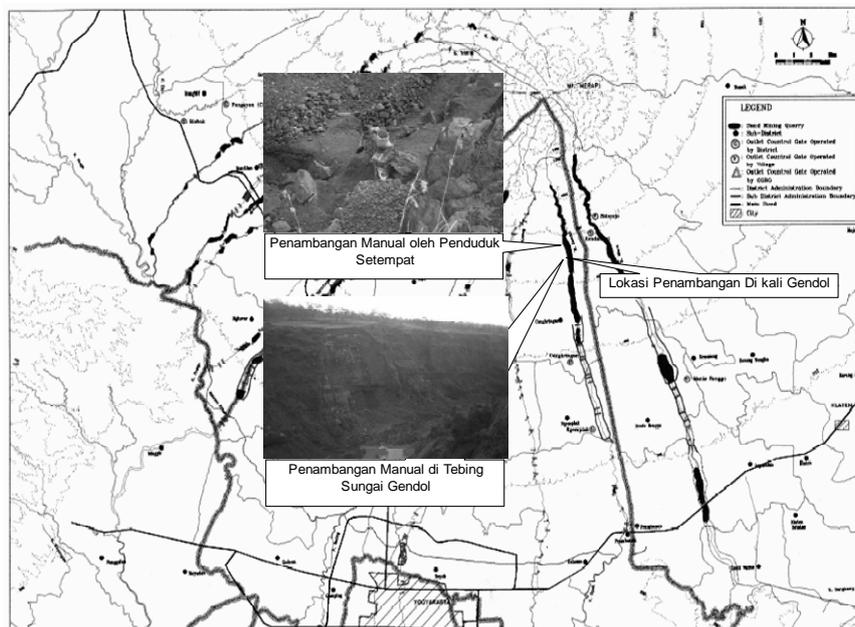
Nama Bangunan	Produk Sedimen	Reduksi Produksi Sedimen				Sedimen yang Melimpas	
	$V_s (m^3)$	$V_{ds} (m^3)$	$V_C (m^3)$	$V_H (m^3)$	$V_P (m^3)$	$V_E (m^3)$	$V_{E'} (m^3)$
Sabo Dam Kaliadem	70,781	27,922	13,961	12,764	43,725	70,781	27,066
GE-D7	45,380	249,049	40,881	73,109	290,767	45,380	- 244,958
GE-D6	63,765	224,626	112,313	51,606	-	- 324,351	- 324,351
GE-D5	83,650	294,344	147,172	75,352	413,575	19,985	- 393,590
GE-D4	94,977	191,577	95,789	31,408	153,262	- 95,885	- 249,147
GE-D3	112,507	200,458	100,229	39,184	160,367	- 121,882	- 282,249
GE-D (Kepuharjo)	107,007	66,174	33,087	26,470	52,939	- 65,057	- 117,996
GE - C12	131,714	72,930	36,465	35,904	50,688	- 57,232	- 107,920
GE - C10	166,402	57,400	28,700	36,736	31,488	- 48,787	- 80,275
GE - C (Cangkring I)	104,766	27,429	13,714	21,943	13,714	- 107,579	- 121,293
GE - C (Cangkring II)	110,262	-	-	5,423	-	72	72
GE - C (Jetis I)	115,013	-	-	11,940	-	- 7,117	- 7,117
GE - C (Plumbon I)	118,996	-	-	13,797	-	- 9,814	- 9,814
GE - C (Plumbon II)	129,757	-	-	2,947	-	7,814	7,814
GE - C7	135,365	137,705	68,852	54,880	34,426	- 204,982	- 239,408
GE - C (Jambon)	153,671	-	-	5,621	-	12,684	12,684
GE - C (Jerukan)	158,116	-	-	4,754	-	12,376	12,376
GE - C (Rogobangsari)	93,607	46,322	23,161	29,646	8,470	- 40,674	- 149,144
GE - C0	28,142	-	-	17,467	-	- 82,932	- 82,932



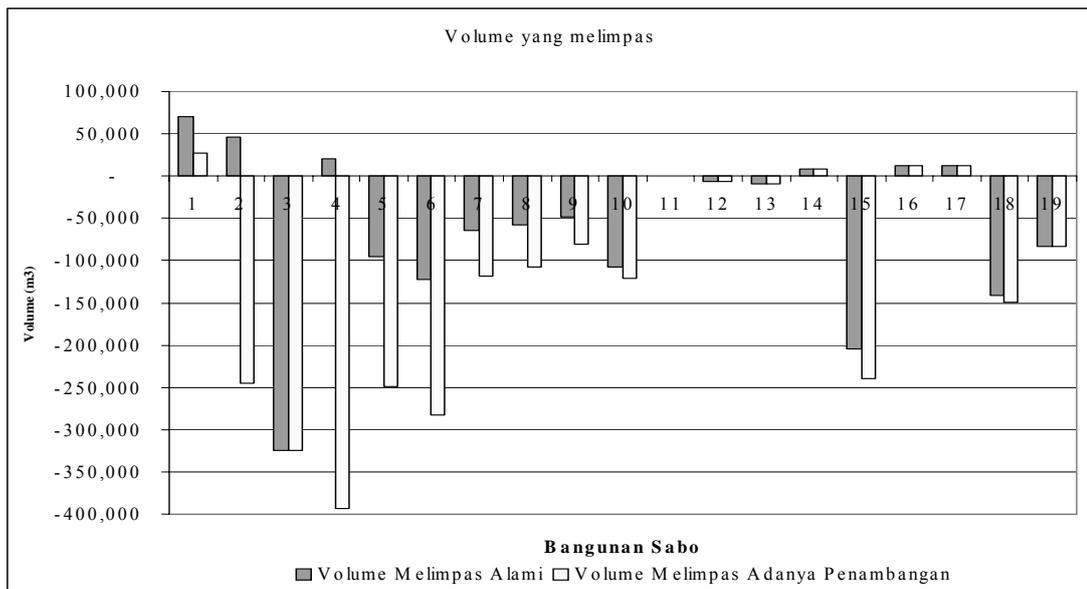
Gambar 1. Peta lokasi bangunan *sabo* di Kali Gendol



Gambar 2. Pola angkutan sedimen berdasarkan jumlah volume yang terangkut



Gambar 3. Lokasi penambangan di Kali Gendol



Gambar 4. Grafik hasil simulasi volume sedimen yang melimpas pada bangunan *sabo* dengan kondisi alami dan dengan adanya penambangan dengan banjir kala ulang 25 tahun