

SIMULASI PENANGANAN POTENSI ALIRAN DEBRIS DI GUNUNG SAGO

(STUDI KASUS DI BATANG LAKIN, KECAMATAN LAREH SAGO HALABAN, KABUPATEN LIMA PULUH KOTA)

Reinhart Hadthya¹, Sigit Sutikno², Bambang Sujatmoko²

¹Jurusan Teknik Sipil, Program S-1, Fakultas Teknik Universitas Riau

²Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

E-mail: Reinhart.hadthya@gmail.com

ABSTRACT

The regions in foothills of Sago mountain are flood-prone area due to debris flow. As occurred on March 22, 2010, there has been a catastrophic overflow of debris flow from Sago mountain. The disaster resulted in severe damage around the rivers downstream Sago mountains, including Batang Lakin river.

This research study debris flow potential and how to mitigate it in Batang Lakin river, West Sumatra. Analysis of potential debris flow hazard of Batang Lakin river and alternative debris mitigation is simulated using the debris flow simulator Kanako 2D version 2.051. Simulation is important for verifying effect of controlling flow of debris prior to construction work carried out. Rain data input was calculated based on fifty years time period and one hundred years time period

Research findings show that at Batang Lakin river, debris flow occurred and overflowing river channel. Alternative countermeasure chosen is sabo dam. For fifty years period when debris flow peak discharge of 59.50 m³/second required 2 units of sabo dams (closed type) with positions at Sta 0 +200 (Sabo height 6 m) and at Sta 0 +450 (Sabo height 4 m). For one hundred years period when debris flow peak discharge of 62.66 m³/second required 2 units of sabo dams (closed type) with positions at Sta 0 +200 (Sabo height 6 m) and at Sta 0 +450 (Sabo height 5 m) to prevent overflow of debris flow to the settlement. Thus, the right efforts to control debris flow on Batang Lakin is the sabo dam.

Keyword : debris flow, effective prevention, Sago mountain, sabo dam.

PENDAHULUAN

Aliran debris adalah aliran campuran antara air (air hujan atau air yang lain) dengan sedimen konsentrasi tinggi yang meluncur kebawah

melalui lereng atau dasar alur berkemiringan tinggi. Aliran ini seringkali membawa batu-batu besar dan batang-batang pohon, meluncur kebawah dengan kecepatan tinggi

(biasanya masih dibawah kecepatan *mudflow*) dengan kemampuan daya rusak yang besar terhadap apa saja yang dilaluinya seperti bangunan rumah atau fasilitas lainnya sehingga mengancam kehidupan manusia. akan mendukung seluruh beban lalu lintas/beban konstruksi dari atasnya. Jika tanah dasar yang ada berupa tanah lempung yang mempunyai daya dukung rendah, maka bangunan yang ada sering mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh kondisi tanah.

Gunung Sago yang berada di desa Padang Laweh nagari Tanjung Haro kecamatan Situjuh kota Payakumbuh dengan ketinggian 2271 m dpl merupakan salah satu gunung aktif yang sudah lama tidur panjang. Keaktifan dari gunung Sago sendiri sudah terpantau sejak tahun 2008 oleh pusat geologi.

Pada tanggal 22 Maret 2010 yang lalu, terjadi sebuah peristiwa bencana Galodo di gunung Sago yang mana dalam kejadian tersebut mengakibatkan dua kabupaten di Sumatera Barat mengalami kerusakan cukup parah akibat diterjang air bah. Kabupaten tersebut adalah kabupaten 50 Kota dan kabupaten Tanah Datar. Di kabupaten 50 Kota, daerah yang terkena bencana berada di kecamatan Lareh Sago Halaban, kecamatan Luak dan kecamatan Situjuh Limo Nagari. Sedangkan di kabupaten Tanah Datar berada di kecamatan Sungayang dan kecamatan Lintau Buo Utara.

Mengingat aliran debris sangat berbahaya, untuk itu di-perlukan suatu penelitian mengenai aliran debris yang terjadi di lereng gunung Sago untuk mengetahui seberapa besar potensi aliran debris tersebut

dan juga usaha pengendalian aliran debris dengan memanfaatkan teknologi Sabo.

Kanako 2D versi 2.051 merupakan sebuah perangkat lunak simulasi yang digunakan sebagai alat untuk memverifikasi efek pengendalian erosi oleh bendungan sabo dalam proses transportasi sedimen selama terjadinya aliran debris. Dengan menggunakan perangkat lunak tersebut, dapat diperkirakan proses terjadinya aliran debris di lereng gunung Sago dengan simulasi.

LANDASAN TEORI

Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang disamping mengalirkan air juga mengangkut sedimen terkandung dalam air sungai tersebut. Jadi sedimen terbawa hanyut oleh aliran air, yang dapat dibedakan sebagai endapan dasar (*bed load* – muatan dasar) dan muatan melayang (*suspended load*). Penghasil sedimen terbesar adalah erosi permukaan lereng pegunungan, erosi sungai (dasar dan tebing sungai) dan bahan – bahan hasil letusan gunung berapi yang masih aktif.

Mencegah terjadinya proses sedimentasi adalah suatu hal yang tidak mungkin dapat dilakukan, karena sedimentasi adalah hasil suatu proses gejala alam yang sangat kompleks di atas permukaan bumi ini. Proses ini berlangsung secara terus menerus dan kadang – kadang diperparah oleh kegiatan manusia. Oleh aliran hujan bahan – bahan hasil sedimentasi tersebut dihanyutkan memasuki palung – palung sungai. Dan secara keseluruhan proses ini disebut proses perubahan terrain permukaan bumi.

Akan tetapi intensitas proses sedimentasi tersebut secara teknis dapat diperlambat mencapai tingkat yang tidak membahayakan, yaitu tingkat sedimentasi yang seimbang dengan kemampuan daya angkut aliran sungai secara fluvial dan dapat dihindarkan gerakan sedimen secara massa, sehingga alur sungai di daerah kipas pengendapan pada tingkat – tingkat tertentu dapat distabilkan baik secara vertikal maupun horizontal.

Usaha untuk memperlambat proses sedimentasi ini antara lain dengan mengadakan pekerjaan teknik sipil untuk mengendalikan gerakan menuju bagian sungai di sebelah hilirnya. Adapun pekerjaannya adalah pembangunan bendung penahan (*check-dam*), kantong lahar, bendung pengatur, bendung konsolidasi dan pekerjaan normalisasi alur sungai (*channel work*) serta pekerjaan pengendalian erosi di lereng – lereng pegunungan (*hill side works*).

Debit Puncak Aliran Debris

Berdasarkan hasil survei lapangan dapat diperkirakan lokasi titik kritis atau titik awal penyebaran aliran debris pada masing-masing alur. Kemudian dapat ditentukan dan digambar masing-masing *catchment area* (daerah pengaliran sungai) pada peta topografi. A (luas daerah pengaliran sungai) dapat dihitung menggunakan planimeter. Besarnya curah hujan harian (R₂₄) dengan periode ulang 50 tahun atau 100 tahun dapat dihitung berdasarkan data yang tersedia. Dengan memasukkan unsur hidrologi dan mempertimbangkan persamaan konsentrasi massa, debit puncak aliran

debris dapat dihitung menggunakan rumus Ashida dkk, (Anonim, 2004):

$$Q_t = \frac{2}{3,6} \left(f_2 \times A_2 + f_1 \frac{C_d}{C_* - C_d} A_1 \right) I_{30}$$

dimana:

- Q_t = debit puncak aliran (m³/dt).
- f_1, f_2 = koefisien aliran limpasan
- A_1 = *catchment area* di daerah terjadinya debris (km²)
- A_2 = *catchment area* daerah lainnya (km²)
- I_{30} = intensitas curah hujan selama 30 menit (mm).
- C_d = konsentrasi sedimen aliran debris.
- C_* = konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

Volume sedimen yang dapat diangkut dalam satu kali banjir debris maupun aliran hiper-konsentrasi dapat diprediksi dengan mempergunakan rumus empiris dari Mizuyama (1988) (Anonim, 2004). sebagai berikut :

$$V_{ec} = \frac{R_{24} \times A \times 10^3}{1 - \lambda} \left(\frac{C_d}{1 - C_d} \right) f_r$$

dimana:

- λ = void rasio (± 0,40).
- f_r = koefisien koreksi aliran, hasil penelitian di Kali Boyong wilayah gunung Merapi nilai $f_r = 0,3 - 0,7$; apabila tidak ada data maka nilai f_r dianggap = 1
- A = *catchment area* (km²).
- V_{ec} = volume sedimen yang dapat diangkut oleh aliran (m³)
- C_d = konsentrasi sedimen aliran debris.
- R_{24} = curah hujan harian maksimum (mm).

Untuk mengetahui tipe aliran debris atau aliran hiperkonsentrasi yang ada pada alur sungai dapat dibedakan berdasarkan kemiringan dasar sungai dan tinggi aliran relatif.

- 1) Aliran debris terjadi apabila kemiringan dasar sungai lebih besar atau sama dengan kemiringan dasar kritis ($\text{tg } \theta \geq \text{tg } \theta_d$) dapat dihitung menggunakan rumus Takahashi dkk. (1988).

$$\text{tg } \theta_d = \frac{C_s(\rho_s - \rho_w)}{C_s(\rho_s - \rho_w) + \rho_w \left(1 + \frac{1}{k}\right)} \text{tg } \varphi$$

dimana:

- ρ_s = rapat masa material (ton/m^3)
 ρ_w = rapat masa air (ton/m^3)
 k = nilai koefisien eksperimen (0,85 – 1)
 φ = sudut geser dalam statis ($^\circ$)

- 2) Aliran sedimen hiperkonsentrasi terjadi pada kondisi $\text{tg } \theta_h < \text{tg } \theta < \text{tg } \theta_d$ (kemiringan dasar sungai lebih landai daripada kemiringan kritik terjadinya aliran debris akan tetapi lebih besar atau sama dengan kemiringan dasar kritik untuk aliran hiperkonsentrasi)

$$C_d = \frac{\rho_w \times \text{tg } \theta}{(\rho_s - \rho_w)(\text{tg } \varphi - \text{tg } \theta)}$$

dimana:

$\text{tg } \theta$ = kemiringan alur

Apabila hasil penghitungan C_d lebih dari 0,9 C^* , C_d diambil 0,9 C^* dan apabila C_d lebih kecil dari 0,3 maka diambil 0,3.

Bendung- Bendung Pengendali Banjir Lahar

Sebagaimana uraian sebelumnya, sedimen luruh (*debris flow*) dapat diklasifikasikan sebagai

berikut (Sosrodarsono dan Tominaga, 1994) :

- a. Sedimen luruh yang berasal dari timbunan sedimen yang longsor dari suatu lereng.
- b. Sedimen luruh yang disebabkan jebolnya tanggul – tanggul alam yang terbentuk karena terjadinya longsor endapan pada tebing – tebing atau lereng – lereng gunung yang kemudian membentuk tanggul alam melintang sungai ataupun melintang lembah sungai.
- c. Sedimen luruh yang disebabkan naiknya permukaan air rembesan pada tebing sungai arus deras yang kemiringannya terjal dan di dalamnya telah terdapat sedimen yang besar volumenya dan sudah tertimbun bertahun – tahun lamanya yang berasal dari bahan hasil letusan gunung berapi.
- d. Sedimen luruh akibat meluapnya air panas dari kawah gunung berapi.
- e. Sedimen luruh dari bahan – bahan hasil letusan gunung berapi yang tertimbun di sekitar kawah dan tertimpa hujan lebat.

Dari kelima jenis sedimen luruh tersebut, yang paling sering terjadi di daerah gunung berapi adalah pada butir – butir c,d, dan e yang disebut banjir lahar.

Pencegahan jenis sedimen luruh seperti butir a,b,d, dan e sangat sulit dilaksanakan, karena sulit diperkirakan saat terjadinya, sehingga hanya dapat dilaksanakan kegiatan pengamanan setelah terjadinya sedimen luruh tersebut. Jadi terbatas

pada kegiatan yang bersifat penanggulangan dan mengurangi kerugian serta korban yang terjadi akibat bencana alam tersebut. Banjir lahar seperti yang tertera pada butir c frekuensi kejadiannya dapat dikurangi bahkan dapat dicegah dengan pembuatan – pembuatan sistem pengendalian banjir lahar yang berbentuk komponen utamanya terdiri dari bendung penahan dan kantong – kantong lahar.

Sabo Dam

Istilah Bangunan Sabo berarti bangunan untuk penanggulangan pasir dan kerikil yang pada hakekatnya merupakan usaha untuk mencegah lahan pegunungan terhadap kerusakan akibat erosi, melindungi penduduk dan infra-struktur di bagian hilir terhadap bencana akibat erosi dan sedimentasi.

Ditinjau dari mekanisme pengendalian aliran debris sedimen /lahar, sabo dam dapat klasifikasikan menjadi 2 tipe, sebagaimana dikemukakan gambar 2. Sabo dam tipe terbuka dapat dibedakan menjadi tipe saluran dan tipe kisi-kisi.

Kanako 2D 2.051

Kanako menggunakan model satu dimensi yang hanya mempertimbangkan arah hulu dan hilir model sungai, dan salah satu yang mereproduksi aliran dan menumpuk proses aliran debris di daerah dimana Sabo dam didirikan untuk bahan yang terdiri dari dua ukuran kelompok klasifikasi. Ada beberapa batasan dan asumsi pada analisis menggunakan Kanako.

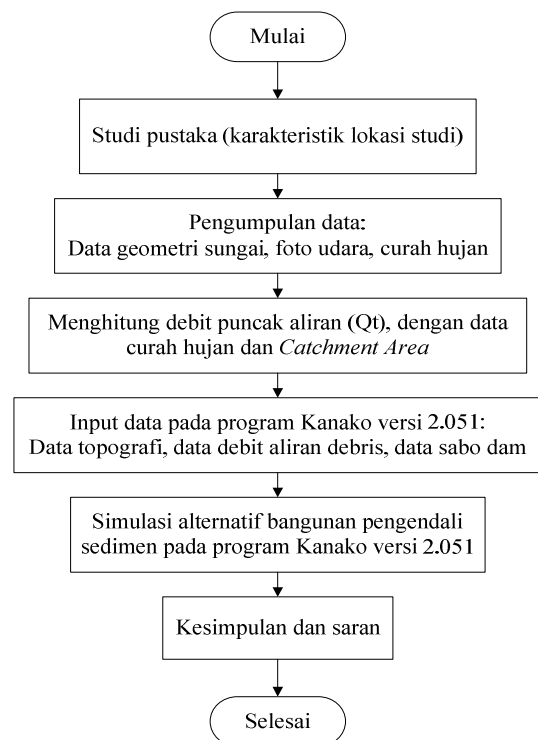
1. Targetnya adalah aliran debris berbatu.

2. Konsentrasi material bisa diubah dari hidrograf yang disediakan.
3. Dapat mensimulasikan dari daerah 1-D ke daerah 2-D dengan penerapan model integrasi.
4. Dianggap hanya satu ukuran butir di 2D (Ver.2.051).
5. Lapisan *bed* bergerak awal dapat diatur pada area 1-D dari rentang 0 m sampai 10 m, pada daerah 2-D dari rentang 0 m sampai 20 m.

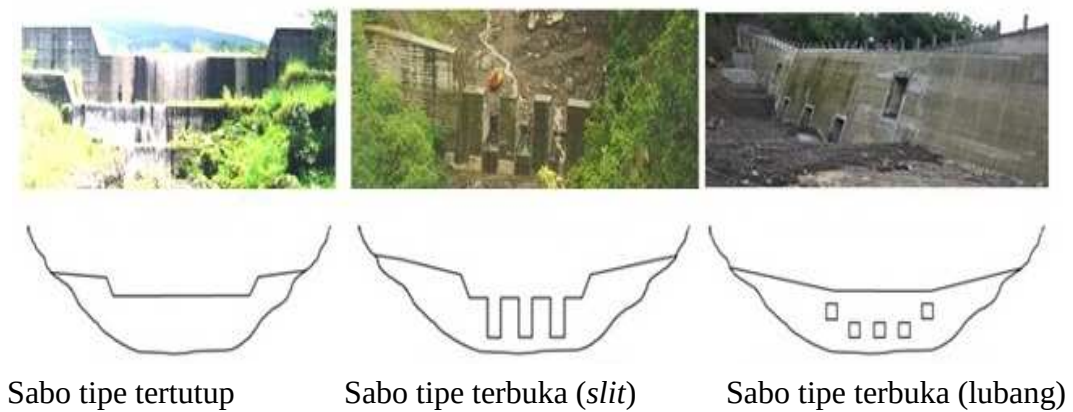
METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Alur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada *flowchart* penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir (*flowchart*) Penelitian



Gambar 2. Tipe tipe sabo dam
(Sumber : Cahyono, 2010)



Gambar 3. Lokasi studi kasus penelitian
(Sumber : Google Earth dan BAKOSURTANAL)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan debit puncak aliran debris untuk dua kala ulang yaitu 50 tahun dan 100 tahun, hasilnya dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Debit Puncak Aliran Debris

Periode Ulang (Tahun)	Debit Puncak (m ³ /dt)
50	59,50
100	62,66

(Sumber: Perhitungan, 2014)

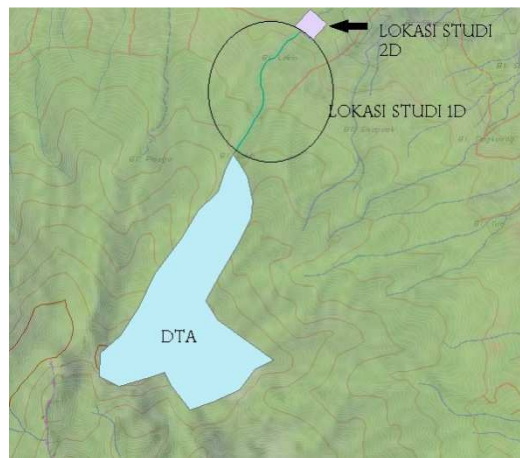
Sedangkan untuk volume sedimentasi yang terjadi dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Puncak Aliran Debris

Periode Ulang (Tahun)	Debit Puncak (m ³ /dt)
50	59,50
100	62,66

(Sumber: Perhitungan, 2014)

Sungai Batang Lakin memiliki panjang 9.096 km. Pada penelitian ini, hanya sampai pada Sta 1+850 saja yang dimodelkan geometrinya. Permodelan ini terbagi menjadi 2 area, yaitu area 1 dimensi (Sta 0+000 sampai dengan Sta 1+600) dan area 2 dimensi (Sta 1+600 sampai dengan Sta 1+850)(luas = 62500 m²). Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Lokasi permodelan geometris sungai Batang Lakin

Jumlah titik perhitungan di area 1D merupakan jumlah titik sepanjang sungai yang diamati yaitu 33 titik. Interval titik perhitungan di area 1D adalah jarak setiap titik yang ada pada area 1D. Jaraknya yaitu 50 meter

Sedangkan untuk area 2D, jumlah titik perhitungan pada arah sumbu x adalah total atau jumlah grid pada sumbu x di area kipas aluvial. Sedangkan jumlah titik perhitungan pada sumbu y merupakan jumlah grid searah sumbu y pada kipas aluvial. Jumlah grid pada sumbu x dan y adalah 50. Disini sumbu pusat *inflow* terletak pada grid ke 32. Interval 2D-x titik perhitungan adalah jarak setiap grid pada sumbu x di area kipas aluvial. Sedangkan Interval 2D-y titik perhitungan adalah jarak setiap grid pada arah sumbu y di area kipas aluvial. Jarak grid pada sumbu x dan y adalah 5 meter.

Adapun variabel yang akan digunakan dalam simulasi ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Variabel Pemodelan Aliran Debris

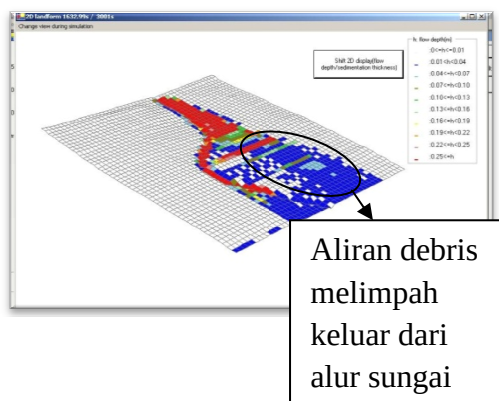
	Parameter	Nilai	Satuan
Umum	Interval perhitungan	0,01	detik
	Densitas <i>bed material</i>	2500	kg/m ³
	Densitas fluida	1000	kg/m ³
	Gravitasi	9,8	m/s ²
	Kedalaman minimum	0,01	m
	Konsentrasi material yang bergerak	0,6	
	Koefisien kekasaran Manning	0,04	
	Koefisien erosi rata-rata	0,0007	
	Koefisien akumulasi rata-rata	0,05	
	Koefisien akumulasi rata-rata berkaitan <i>inertial force</i>	0,9	
	Waktu simulasi	1801	detik
	Diameter material	0,5	m
	Pai	3,141592	
2D	Arah <i>inflow</i>	0	
	Sumbu pusat <i>inflow</i> pada area 2D	32	
	Interval 2D-x titik perhitungan	5	m
	Interval 2D-y titik perhitungan	5	m
	Kedalaman minimum muka aliran debris di 2D	0,01	m
	Jumlah titik perhitungan pada arah sumbu x	50	
	Jumlah titik perhitungan pada arah sumbu y	50	
1D	Jumlah titik perhitungan di area 1D	33	
	Interval titik perhitungan di area 1D	50	m
	Kedalaman minimum muka aliran debris di area 1D	0,05	m

(Sumber: Perhitungan, 2014)

Simulasi Aliran Debris

a. Kondisi eksisting - kala ulang 50 tahun

Berdasarkan simulasi menggunakan program Kanako Ver.2.051 di sungai Batang Lakin tanpa sabo dam dengan debit maksimum 59,50 m³/detik (kala ulang 50 tahun), terlihat daerah yang berpotensi terlanda *debris flow* seperti terlihat pada gambar berikut :



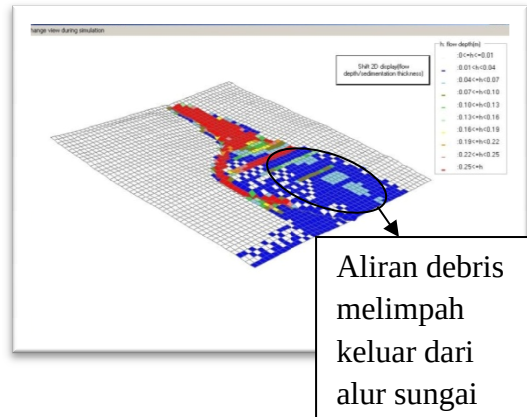
Gambar 5. Simulasi 2D Sungai Batang Batang Lakin tanpa sabo dam (kala ulang 50 tahun)

Terjadi *debris flow* yang melimpah keluar dari alur sungai. Terutama pada area yang berwarna merah yang berarti *flow depth* lebih dari 0,25 m. Hal ini berbahaya karena dapat menimbulkan bencana terhadap warga sekitar sungai. Untuk itu diperlukan penanggulangan dengan cara pembangunan sabo dam.

- kala ulang 100 tahun

Berdasarkan simulasi menggunakan program Kanako Ver.2.051 di sungai Batang lakin tanpa sabo dam dengan debit maksimum 62,66 m³/detik (kala ulang 100 tahun), terlihat daerah yang berpotensi

terlanda *debris flow* seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Simulasi 2D Sungai Batang Batang Lakin tanpa sabo dam (kala ulang 100 tahun)

Seperti yang terlihat dari hasil simulasi diatas, sama seperti yang terjadi pada kala ulang 50 tahun, terjadi *debris flow* yang melimpah keluar alur sungai. Untuk itu diperlukan penanggulangan dengan cara pembangunan sabo dam.

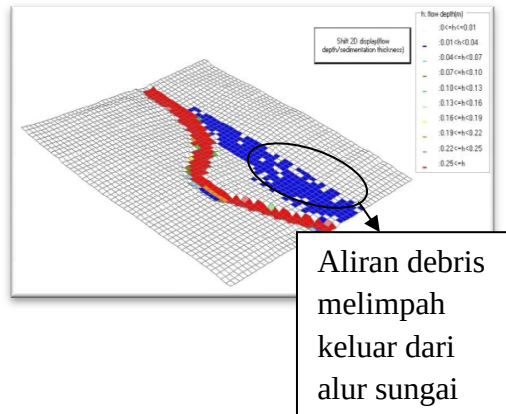
b. Kondisi rencana - kala ulang 50 tahun

Untuk kala ulang 50 tahun dengan debit maksimum 59,50 m³/detik, direncanakan beberapa alternatif sabo dam (tipe tertutup) sebagai berikut:

- Satu sabo dam (posisi Sta 0+200 dari hulu sungai), dengan tinggi sabo 6m

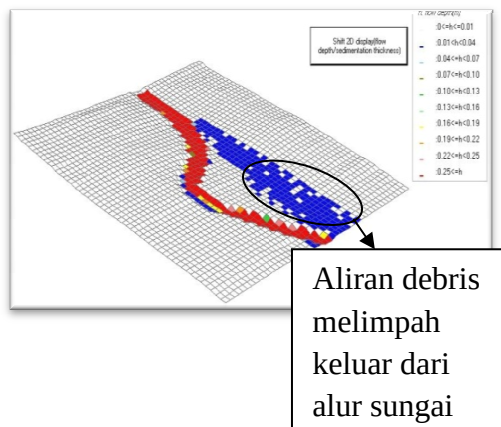
Setelah disimulasikan pada Kanako Ver.2.051, masih terjadi aliran debris yang melimpah keluar alur sungai. Hal ini berarti posisi dan tinggi sabo dam masih kurang tepat, sehingga masih perlu diubah lagi posisi dan tinggi sabo dam. Untuk

lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Hasil simulasi 2D dengan 1 sabo dam (Sta 0+200, h= 6 m) (kala ulang 50 th)

- b. Satu sabo dam (posisi Sta 0+450 dari hulu sungai), dengan tinggi sabo 4m



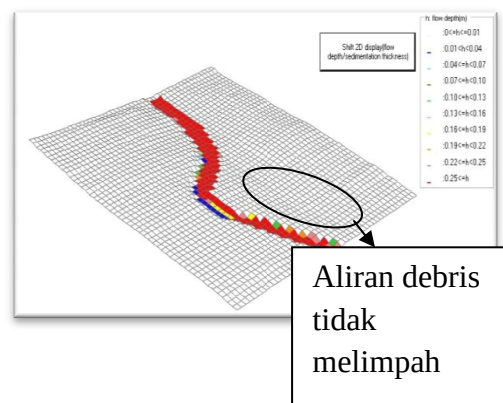
Gambar 8. Hasil simulasi 2D dengan 1 sabo dam (Sta 0+450, h= 4 m) (kala ulang 50 th)

Pada simulasi kedua, sabo dam digeser ke arah hilir, dan masih menggunakan 1 buah sabo dam tipe tertutup

Setelah disimulasikan pada Kanako Ver.2.051, masih terjadi aliran debris yang melimpah keluar alur sungai. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 8. Hal ini berarti posisi dan tinggi sabo dam masih kurang tepat, sehingga masih perlu diubah lagi posisi dan tinggi sabo dam.

- c. Dua sabo dam (posisi Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 4 m)).

Untuk simulasi ketiga ini digunakan dua sabo tipe tertutup.



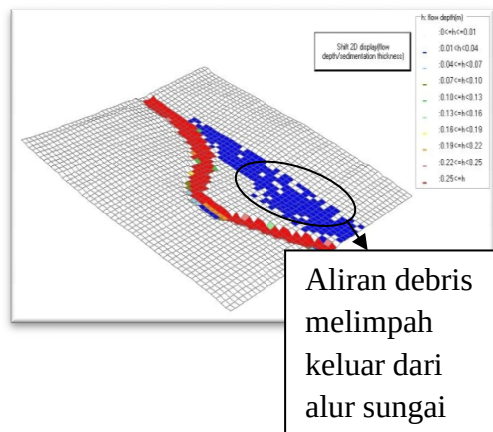
Gambar 9. Hasil simulasi 2D dengan 2 sabo dam (Sta 0+200, h= 6 m) dan (Sta 0+450, h= 4 m) (kala ulang 50 th)

Dengan menggunakan dua sabo tipe tertutup, tidak terjadi lagi melimpahnya aliran debris keluar aliran sungai. ternyata bisa menanggulangi aliran debris akibat

debit maksimum 59,50 m³/detik pada penelitian ini.

- d. Dua sabo dam (posisi Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 4 m) tipe terbuka (*slit*).

Untuk simulasi keempat ini mirip dengan simulasi ketiga tapi dengan menggunakan tipe terbuka (*slit*).



Gambar 10. Hasil simulasi 2D dengan 2 sabo dam (Sta 0+200, h= 4 m) dan (Sta 0+450, h= 4 m) (kala ulang 50 th) tipe terbuka (*slit*)

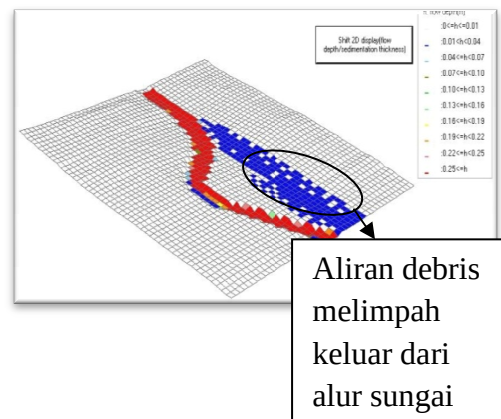
Dengan menggunakan dua sabo tipe terbuka (*slit*), masih terjadi aliran debris yang melimpah keluar alur sungai. Hal ini membuktikan penggunaan sabo dam tipe terbuka (*slit*) tidak cukup efektif dibandingkan sabo dam tipe tertutup dalam menanggulangi melimpahnya aliran debris keluar alur sungai Batang Lakin.

- kala ulang 100 tahun

Untuk kala ulang 100 tahun dengan debit maksimum 62,66 m³/detik, direncanakan beberapa alternatif sabo dam (tipe tertutup) sebagai berikut:

- a. Dua sabo dam (posisi Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 4 m) dari hulu).

Pada simulasi ini digunakan 2 buah sabo dam tipe tertutup dengan posisi dan ketinggian yang sama untuk kala ulang 50 tahun,

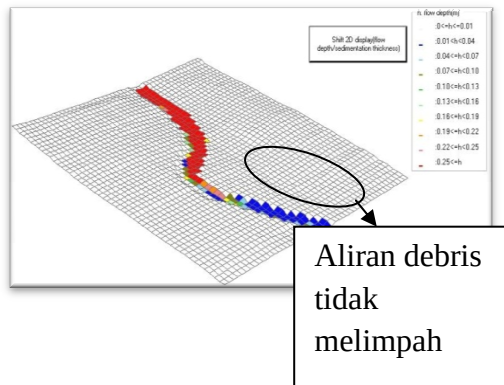


Gambar 11. Hasil simulasi 2D dengan 2 sabo dam (Sta 0+200, h= 4 m) dan (Sta 0+450, h= 4 m) (kala ulang 100 th)

Pada simulasi tersebut terlihat pada area 2D (gambar 11) masih terjadi aliran debris yang melimpah keluar alur sungai. Hal ini berarti tinggi sabo masih kurang tepat, sehingga masih perlu diubah lagi tinggi sabo.

- b. Dua sabo dam (posisi Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 4 m) dari hulu).

Pada simulasi kedua, sabo dam lebih ditinggikan lagi dari sebelumnya yaitu pada sabo dam yang kedua (0+450) dinaikkan menjadi 5 m. Sedangkan sabo dam yang pertama tetap.



Gambar 11. Hasil simulasi 2D dengan 2 sabo dam (Sta 0+200, $h = 4$ m) dan (Sta 0+450, $h = 5$ m) (kala ulang 100 th)

Pada simulasi tersebut terlihat pada area 2D (gambar 11) masih terjadi aliran debris tapi sudah tidak lagi melimpah keluar. Hal ini berarti dengan menggunakan 2 sabo dam pada Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 5 m) ternyata bisa menanggulangi aliran debris akibat debit maksimum $62,66 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada penelitian ini. Sehingga dipilih dua sabo dam tipe tertutup pada Sta 0+200 (tinggi 6m) dan 0+450 (tinggi 5 m) untuk menanggulangi aliran debris akibat debit maksimum $62,66 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada penelitian ini.

Berikut ini akan ditampilkan rekapitulasi hasil simulasi pada kala ulang 50 tahun dan 100 tahun pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Simulasi pada Kala Ulang 50 tahun dan 100 tahun

	Posisi sabo dan tinggi sabo	Tipe sabo	Kondisi
Q 50 tahun	Sta 0 + 200 (tinggi 6 m)	tertutup	Melimpah keluar alur sungai
	Sta 0 + 450 (tinggi 4 m)	tertutup	Melimpah keluar alur sungai
	Sta 0 + 200 (tinggi 6 m) dan Sta 0 + 450 (tinggi 4 m)	tertutup	Tidak melimpah
	Sta 0 + 200 (tinggi 6 m) dan Sta 0 + 450 (tinggi 4 m)	terbuka (<i>slit</i>)	Melimpah keluar alur sungai
Q 100 tahun	Sta 0 + 200 (tinggi 6 m) dan Sta 0 + 450 (tinggi 4 m)	tertutup	Melimpah keluar alur sungai
	Sta 0 + 200 (tinggi 6 m) dan Sta 0 + 450 (tinggi 5 m)	tertutup	Tidak melimpah

(Sumber: Perhitungan, 2014)

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil evaluasi sungai keadaan eksisting maka terjadi aliran debris yang melimpah ke pemukiman di sungai Batang Lakin. Berarti diperlukan penanggulangan terhadap melimpahnya aliran debris ke pemukiman. Dalam penelitian ini sabo dam digunakan untuk menanggulangi melimpahnya aliran debris ke pemukiman pada sungai Batang Lakin.
2. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Kanako 2d versi 2.051.
 - a. Untuk kala ulang 50 tahun dengan debit puncak aliran debris sebesar 59,50 m³/detik Diperlukan 2 buah sabo dam (tipe tertutup) dengan posisi pada Sta 0+200 (ketinggian sabo 6 m) dan pada Sta 0+450 (ketinggian sabo 4 m) untuk mencegah melimpahnya aliran de-bris ke pemukiman.
 - b. Untuk kala ulang 100 tahun dengan debit puncak aliran debris sebesar 62,66 m³/detik Diperlukan 2 buah sabo dam (tipe tertutup) dengan posisi pada Sta 0+200 (ketinggian sabo 6 m) dan pada Sta 0+450 (ketinggian sabo 5 m) untuk mencegah melimpahnya aliran debris ke pemukiman.
 - c. Sabo dam tipe tertutup lebih efektif dalam

menanggulangi melimpahnya aliran de-bris keluar dari alur sungai dibandingkan sabo dam tipe terbuka (*slit*) pada sungai Batang Lakin pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anonim. 2004. *Pembuatan Peta Bahaya Akibat Aliran Debris*
- Cahyono, Joko. 2010. *Sabo Dam Slit (Sabo Dam Tipe Terbuka)* [online]. Available at <URL: <http://jcpoweryogyakarta.blogspot.com/2010/05/slit-sabo-dam.html>> [Accessed 2 Juli 2014].
- Harto, Sri Br. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Nakatani. 2008. *Development of "Kanako 2D (Ver.2.00)," a user-friendly one- and two-dimensional debris flow simulator equipped with a graphical user interface*. Department of Erosion Control Engineering, Kyoto University.
- Putro, Suyitno Hadi. *Dampak Bencana Aliran Lahar Dingin gunung Merapi Pasca Erupsi di Kali Putih*. Semarang : Badan Pertimbangan Penelitian Bidang Sains dan Teknologi UNY.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda, Kensaku. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono dan Tominaga, Masateru. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan*

- Sungai*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sumaryono dan Yunara Dasa Triyana. 2011. *Simulasi aliran bahan rombakan di Gunung Bawakaraeng, Sulawesi Selatan*. Bandung : Badan Geologi.
- Sumaryono. 2009. *One-dimensional numerical simulation for sabo dam planning using Kanako (Ver. 1.40): A case study at Cipanas, Guntur Volcanoes, West Java, Indonesia*. Bandung : Ministry of Energy and Mineral Resources Geology Agency, Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.