

# Analisis Potensi Longsor Rombakan (*Debris Flow*) dengan Pemodelan Aliran di Lereng Gunung Abang, Kintamani, Bali

\*I Nengah Sinarta<sup>1,2</sup>, Putu Ika Wahyuni<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Warmadewa Denpasar

<sup>2</sup>Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa Denpasar

\*[inengahsinarta@gmail.com](mailto:inengahsinarta@gmail.com)

Received: 8 Maret 2021 Revised: 30 November 2022 Accepted: 5 Desember 2022

## Abstract

*Debris flow was a mass movement such as; clay, fine sand, organic waste and coarse material such as; gravel, rocks, organic waste, logs mixed with water. The Geopark Kintamani, Bali, was located between Mount Batur and Mount Abang with slopes potentially threatened by the debris flow, including; Trunyan, Abang Batudinding, and Buahon Village. Approach by linking the volume of debris flow parameters with the range or inundation area's length and modeling with DFLOWZ software. The input parameters in the software were digital elevation model (DEM), import polyline data. Modeling was the initial approach in predicting the extent of the area of debris flow. The research results obtained material sources and the direction of debris flow. The discharge observed was the debris flow in valleys and rivers at an altitude of  $\pm 1500$  m.a.s.l curved in the hill's valleys and flow to the west. DFLOWZ analysis shows that the retained deposit area can cause a debris flow is  $49.830 \text{ m}^2$ , with a high inundation approximately 5-7 m from the bottom of the valley. Knowledge was a requirement in assessing debris flow hazard because it was crucial to choose the parameters of the model and interpret the good results.*

**Keywords:** *Debris flow, DFLOWZ modeling, DEM*

## Abstrak

*Aliran bahan rombakan atau Debris flow adalah gerakan massa seperti; tanah lempung, pasir halus, sampah organik serta material berukuran kasar seperti; kerikil, bebatuan, sampah organik, gelondongan kayu yang bercampur air. Kawasan Geopark Gunung Batur, Kintamani, Bali terletak dalam kaldera purba Gunung Batur dengan lereng kaldera yang berpotensi terancam aliran debris meliputi; Dusun Trunyan, Dusun Abang Batudinding dan Desa Buahon, berdasarkan informasi sejarah yang pernah terjadi sebelumnya. Pendekatan panjang jangkauan dan luas genangan sangat menentukan sebagai parameter volume debris flow. Pemodelan dengan perangkat lunak DFLOWZ didukung oleh data spasial dengan parameter input yaitu; data Digital Elevation Model (DEM) dan data garis (Polyline). Pemodelan merupakan pendekatan awal dalam memprediksi luas genangan longsor rombakan. Hasil penelitian untuk mendapatkan jenis material dan arah aliran rombakan. Anatomi aliran yang teramati adalah aliran rombakan pada lembah dan sungai pada ketinggian  $\pm 1500$  mdpl melengkung pada lembah-lembah perbukitan dan arah aliran menuju barat. Analisis DFLOWZ menunjukkan luas deposit tertahan yang berpotensi menyebabkan longsor rombakan seluas  $49.830 \text{ m}^2$ , dengan tinggi genangan berdasarkan pada lembah lereng setebal 5-7 m. Hasil pemodelan tersebut sebagai bentuk peringatan dini bagi masyarakat yang terdampak terhadap ancaman genangan aliran debris.*

**Kata kunci:** *Longsor rombakan, Pemodelan DFLOWZ, DEM*

## Pendahuluan

Aliran bahan rombakan dalam berbagai literatur disebut sebagai *debris flow* adalah suatu terminologi kolektif berupa peristiwa pergerakan massa bercampur air dalam jumlah besar yang

bergerak menurun akibat gravitasi, dalam SNI-13-6982 longsor bahan rombakan didefinisikan sebagai perpindahan material pembentuk lereng seperti; batuan, sampah organik, tanah, dan material lainnya yang bercampur air dan bergerak ke arah bawah dan keluar lereng (BSN, 2005). Klasifikasi aliran bahan

rombakan dibagi menjadi dua karakteristik yang berbeda yaitu aliran debris tipe berbatuan (*gravel type debris flow*) merupakan aliran debris yang mengandung banyak batu-batu besar dan aliran debris tipe lumpur (*mudflow type debris flow*) merupakan aliran debris dengan kandungan batu besar sedikit dan lebih didominasi oleh kandungan pasir dan batu-batu kecil (Jakob & Hungr, 2005). Broms (1975) pada Hardiyatmo (2012), membagi longsor bahan rombakan menjadi empat tipe aliran yaitu; (1). Aliran tanah (*earth flow*), (2). Aliran lumpur/lanau (*mud flow*), (3). Aliran debris (*debris flow*), (4). Longsoran aliran (*flow slide*). Aliran bahan rombakan atau *debris flow* didefinisikan sebagai gerakan masa yang mengandung butiran-butiran material padat, air dan udara yang bergerak sebagai sebuah aliran yang bersifat kental (*viscous flow*), (Cruden & Vernes, 1996). *Debris flow*, *debris avalanches* dan *earth flow* merupakan longsoran tipe aliran yang mempunyai kekuatan menghancurkan dan kecepatan alir sangat besar.

Peristiwa longsor bahan rombakan menjadi ancaman saat musim hujan, dan sangat merusak serta mengancam kehidupan manusia. Pergerakan massa bahan rombakan yang bercampur air sebagian besar terjadi pada lereng yang minim vegetasi dengan banyak batuan lepas serta bahan organik di atasnya. Kerusakan yang terjadi disamping korban manusia dan kerusakan infrastruktur juga merusak lingkungan. Penilaian ancaman yang dilakukan pada studi ancaman longsor bahan rombakan seperti pemodelan atau kajian numerik tetap belum dapat memecahkan masalah. Indikator penilaian ancaman secara spasial pada lereng tak berhingga menunjukkan bahwa intensitas curah hujan berpengaruh terhadap infiltrasi yang menimbulkan reduksi kohesi akibat penjumlahan yang menyebabkan meningkatnya tekanan air pori dan pengurangan kuat geser tanah, sehingga stabilitas lereng berkurang yang ditunjukkan oleh indikator angka aman (*Safety Faktor/SF*) sebagai berikut: (1) intensitas hujan 48,2–49,1 mm/hari (9–13 hari), nilai SF=2,65–1,82 (ancaman rendah); (2) intensitas hujan 87,32–92,27 mm/hari (6–7 hari), SF=2,13–1,39 (ancaman sedang); (3) intensitas hujan 155,38–210,11 mm/hari (6 hari), SF = 1,79–1,03 (ancaman tinggi) (Sinarta *et al.*, 2020).

Kondisi geologi yang kompleks, seperti di Indonesia yang memiliki topografi tidak datar dan curah hujan yang tinggi, banyak gunung api aktif, dan tingkat kepadatan penduduk yang sangat tinggi memaksa Indonesia harus siap menerima kenyataan sebagai daerah dengan tingkat ancaman tinggi terhadap bencana alam terutama bencana alam banjir bandang. Daerah penelitian adalah di Dusun Abang Batuinding, secara fisik merupakan dataran

tinggi dengan obyek wisata terkenal yaitu Gunung Batur dengan kalderanya bernama Danau Batur. Sebagai kaldera terindah di dunia, UNESCO menobatkan sebagai *Geopark International*, dengan struktur berdiameter 7,5 km dan berbentuk elips yang berukuran 13,8 × 10 km dengan anak Gunung Batur setinggi +1.717 m (Bemmelen, 1949).

Morfologi terbentuknya sekitar 29.300 tahun lalu, akibat meletusnya Gunung Batur purba yang menghasilkan endapan piroklastik dasitik sebesar 84 km<sup>3</sup>, yang disebut *Ignimbrit* Ubud. Letusan berikutnya terjadi sekitar 20.150 tahun lalu, dan menghasilkan endapan piroklastik dasitik 19 km<sup>3</sup>, disebut “*Ignimbrit Gunungkawi*” (Sutawidjaja, 2009). Dusun ini, pernah menerima musibah longsor bahan rombakan dan selalu terancam terutama pada Bulan Januari-Februari pada saat tanah mencapai jenuh, dengan kerugian harta dan benda bahkan kerusakan lingkungan (Tim tanggap darurat gerakan tanah, 2017). Kawasan kaldera Gunung Batur menjadi daerah rawan longsor karena terdiri dari batuan vulkanik dan terdapat rongga dengan batuan yang cukup lapuk, pada kedalaman 2-3 meter (Sinarta & Ariyana Basoka, 2019). Lapisan tanah di permukaan lereng berjenis tanah lanau berpasir, akibat ada infiltrasi air hujan menyebabkan tanah menjadi jenuh memicu terjadinya erosi yang menyeret material tanah, pasir dan sampah organik (Sinarta *et al.* 2019).

Metode pemodelan aliran bahan rombakan diawali dengan adanya *software* LAHARZ, pengguna LAHARZ harus memahami DEM dan ARCINFO, terutama program GRID (Schilling, 1998). Selanjutnya pemodelan dikembangkan nama DFLOWZ dengan menambahkan algoritma untuk menganalisis aliran yang mengalir keluar dari lembah. DFLOWZ adalah metode sederhana untuk pemetaan ancaman aliran bahan rombakan. Metode pemodelan aliran *debris flow* dengan *software* DFLOWZ menjadi alternatif model numerik untuk memprediksi awal dari daerah yang berpotensi terkena aliran *debris*, dimana perangkat lunak ini menunjukkan analisis arah aliran, jarak jangkauan, tebal genangan dan luas daerah yang berpotensi tergenang endapan. Perangkat lunak tidak berbayar ini, dapat diunduh pada <http://137.204.103.162/geoappl/dflowz/dflowz.htm> (Matteo Berti & Simoni, 2007).

DFLOWZ ditulis dan diimplementasikan di Matlab 7.11 dengan antarmuka pengguna Grafis (GUI). Matlab dipilih karena kemampuan analisis data dan fitur visualisasinya yang bagus. DFLOWZ menggunakan fungsi pengeditan bawaan Matlab untuk membaca file geodata, selanjutnya pemodelan dimodifikasi untuk dapat didigitalkan sebagai lapisan poligon pada GIS dan disimpan

sebagai shape file (M. Berti & Simoni, 2014). Tampilan antarmuka untuk pengguna Grafis DFLOWZ memungkinkan input data yang mudah dan representasi grafis dari hasil analisis. Pengguna dapat dengan cepat melakukan analisis sensitivitas untuk melihat bagaimana parameter yang paling berpengaruh seperti; desain volume aliran puing, titik awal pengendapan, atau jalur saluran aliran yang mempengaruhi area genangan aliran puing. Manfaat lain dari DFLOWZ adalah dapat dengan cepat mengevaluasi DEM terhadap luasan zona banjir, sedangkan keterbatasan pemodelan pada lereng tak terbatas akibat penggunaan aliran dan ketebalan endapan yang konstan. Perangkat lunak telah diujikan dalam analisis longsor bahan rombakan di Pegunungan Alpen Italia. (M. Berti and Simoni, 2014).

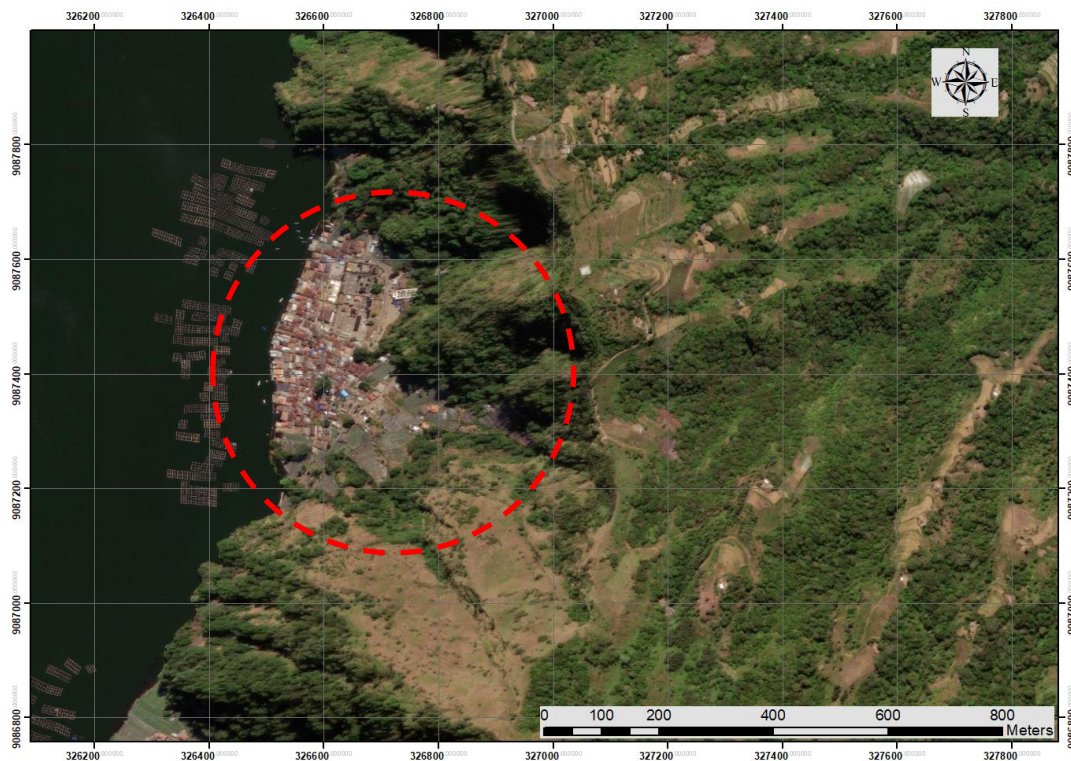
Analisis dan pemodelan *debris flow* dengan menggunakan DFLOWZ digunakan untuk analisis perilaku aliran bahan rombakan di Kecamatan Kintamani khususnya di Dusun Abang Batudinding dengan menggunakan Data DEM resolusi tertinggi dalam *Google Earth*, dengan kombinasi foto udara, sebab data DEM beresolusi tinggi belum lengkap di Indonesia (Rustan dan Purqon, 2016). Pemodelan aliran *debris* dilakukan pada lereng Gunung Abang dengan morfologi batuan disusun oleh batuan vulkanik, pada lereng tersebut terdapat sungai *intermitten*, dengan arah aliran menuju Desa Abang Batudinding.

Tujuan dari penelitian adalah untuk memprediksi potensi *debris flow* seperti; arah aliran, luas genangan dan volume dengan menggunakan pemodelan pada *software* DFLOWZ, selanjutnya akan dijadikan model pada kajian prediksi longsor bahan rombakan di kawasan kaldera Gunung Batur Purba.

## Metode

Penelitian dilakukan di Dusun Abang Batudinding adalah daerah yang sering mengalami bencana longsor bahan rombakan saat musim hujan pada bulan Desember sampai Februari dusun ini berada di kaki Gunung Abang (lingkaran merah) seperti pada Gambar 1. Dusun Abang Batudinding adalah bagian kaldera Gunung Batur berada di Kabupaten Bangli, yang terletak antara  $115^{\circ} 13'43''$  BT –  $115^{\circ} 27' 24''$  BT dan  $8^{\circ}08'30''$  LS -  $8^{\circ}3'07''$  LS.

Kondisi morfologi permukaan sekitar kaldera memiliki vegetasi beragam, termasuk ada yang padat vegetasi maupun minim vegetasi. Gambar 1 adalah daerah penelitian berada pada lereng Gunung Abang yang minim vegetasi, dan dalam Sinarta *et al* (2016) hasil analisis stabilitas lereng dengan metode Sinmap memperlihatkan daerah ini termasuk ke dalam zona batas atas dan batas bawah yang mendekati longsor dengan potensi gerakan tanah berupa longsor bahan rombakan.



Gambar 1. Desa Abang Batudinding

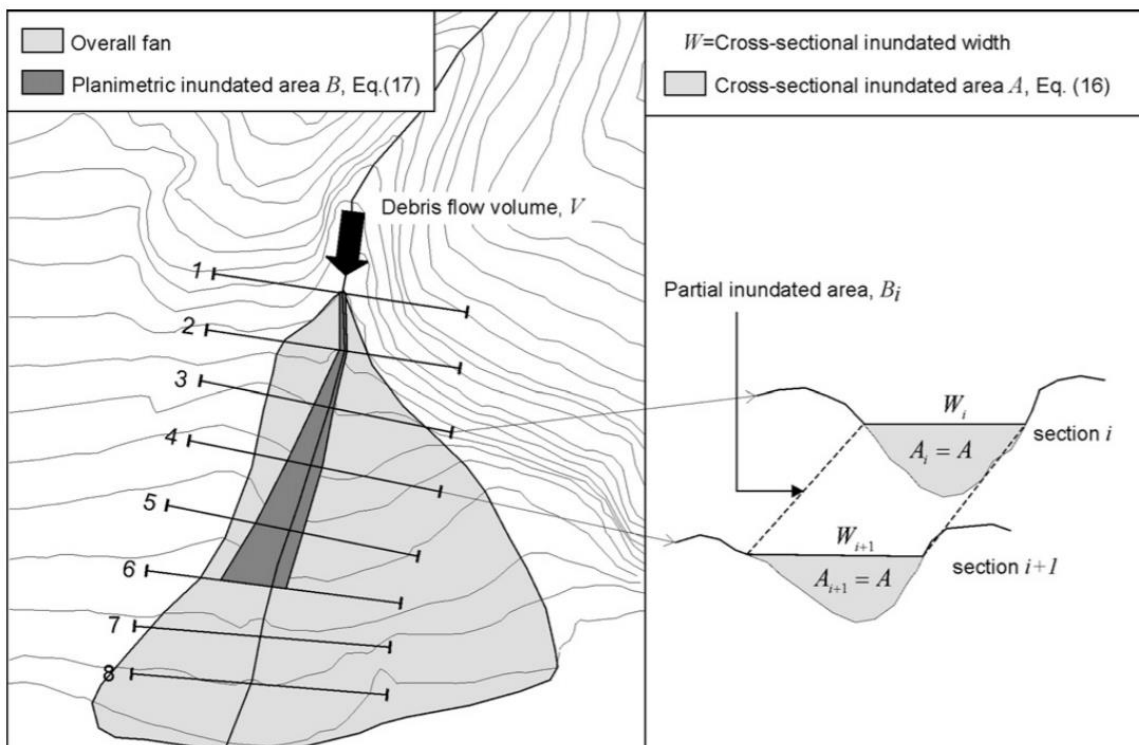
Penggunaan data DEM resolusi tertinggi diambil berdasarkan foto citra satelit *Google Earth* digabungkan dengan hasil foto udara sebagai input untuk membentuk file ASCII Grid yang berekstensi asc serta data *polyline* dalam bentuk file yang berekstensi .shp. Pembuatan *polyline* dilakukan dengan cara digitasi foto udara dan citra satelit. Selanjutnya dimasukkan ke dalam perangkat lunak ArcMap 10.1 dan dilakukan proses *georeferencing* dengan digitasi *flowpath* sehingga dihasilkan file *polyline* dengan ekstensi .shp, dan garis tunggal yang dihasilkan disebut dengan *flowpath* yang diasumsikan sebagai jalur saluran aliran bahan rombakan atau *debris flow*. Berdasarkan petunjuk penggunaan, proses analisis dilakukan dengan tahapan perhitungan sebagai berikut (M. Berti & Simoni, 2014); pertama, menghitung nilai A dan B yang diharapkan pada dasar, volume ditentukan pengguna dan faktor ketidakpastian EA dan EB, lalu memuat tiga file DEM, jalur alur, dan potongan sebagai data input; potongan melintang di sepanjang alur menggunakan DEM; pindah ke bagian hilir  $i + 1, 2 \dots n$ , dan menghitung lebar terendam  $W_{i+1, 2 \dots n}$  dengan cara yang sama; menghitung area planimetri yang tergenang antara dua bagian  $B_i$ , sedangkan  $B_i < B$  berlaku, ilustrasi perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2.

## Hasil dan Pembahasan

Dalam pemodelan aliran debris ini diperlukan data lapangan seperti kemiringan lereng dan vegetasi.

Berdasarkan hasil survey, Gunung Abang memiliki kemiringan lereng  $40^\circ - 45^\circ$ , dengan jenis vegetasi sebagian besar berupa semak belukar yang diselingi sedikit hutan pohon liar. Di kaki lereng sebagian masyarakat membuka lahan pertanian dengan vegetasi sayur mayur. Pada jalur lembah dan sungai *intermittent* yang biasanya menjadi lintasan mengalirnya bahan rombakan saat musim hujan telah ditanami vegetasi pohon bambu tetapi tidak efektif dalam menahan arus longsor bahan rombakan. Analisis hidrologi untuk memperkuat interpretasi pada pemodelan didapatkan intensitas hujan harian tertinggi sebesar 125 mm/hari dan analisis infiltrasi dalam durasi hujan lima jam, berpengaruh menyebabkan gerakan tanah. Hal ini disebabkan karena infiltrasi menyebabkan tanah menjadi jenuh dan menyebabkan kenaikan tekanan air pori.

Penelitian pada lereng terbatas menunjukkan terjadinya perubahan angka aman lereng pada kondisi lereng yang mendekati kondisi jenuh terjadi pada hujan jam ke 2 menuju jam ke 5, dan infiltrasi air menyebabkan perubahan angka aman dari 0,965 sampai 0,623, artinya lereng tersebut tidak stabil. Berdasarkan catatan sejarah, telah terjadi longsor bahan rombakan di wilayah lereng Gunung Abang terhadap desa di bawahnya yaitu: Desa Abang Batudinding dan Desa Terunyan, yang hampir setiap tahun terancam bahaya tanah longsor khususnya longsor bahan rombakan seperti pada Gambar 3 dan 4.



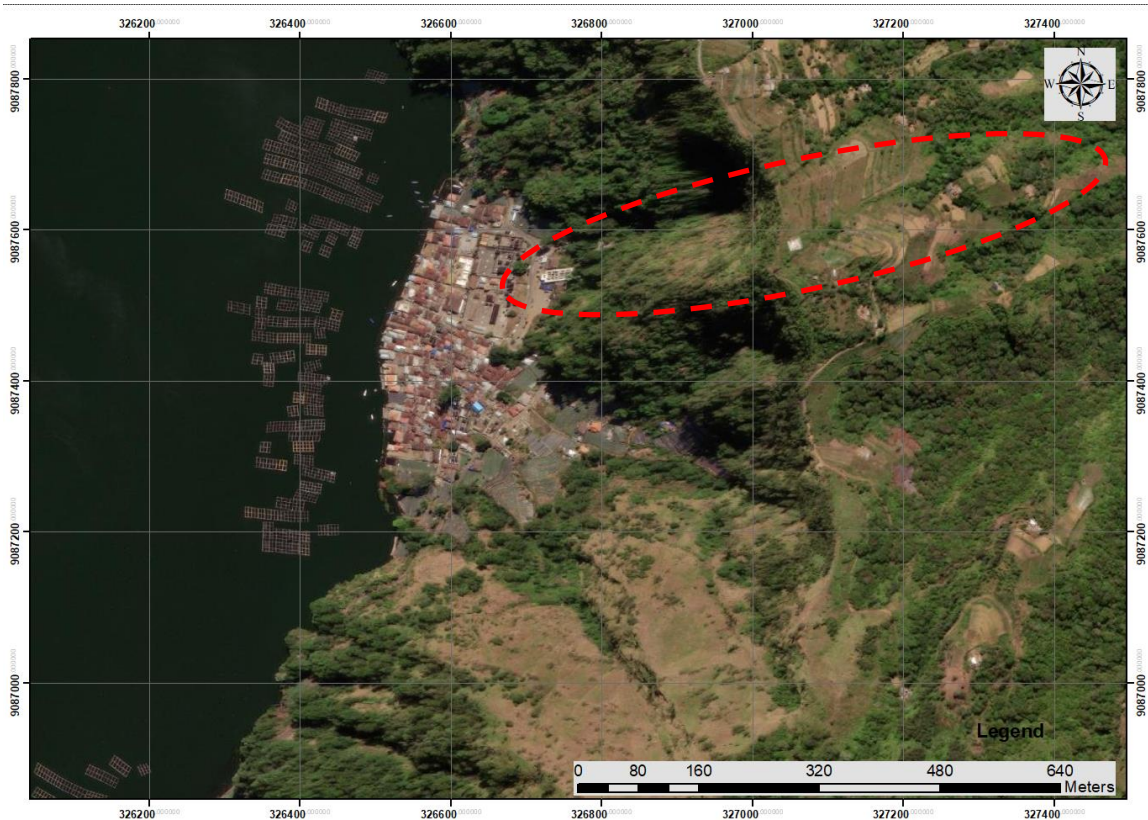
Gambar 2. Ilustrasi perhitungan volume pada DFLOWZ (Matteo Berti & Simoni, 2007)



Gambar 3. Longsor debris menutup Pura Tuluk Biyu dan keratan longsor



Gambar 4. Penampakan timbunan longsor



Gambar 5. Citra satelit di Gunung Abang, Kintamani

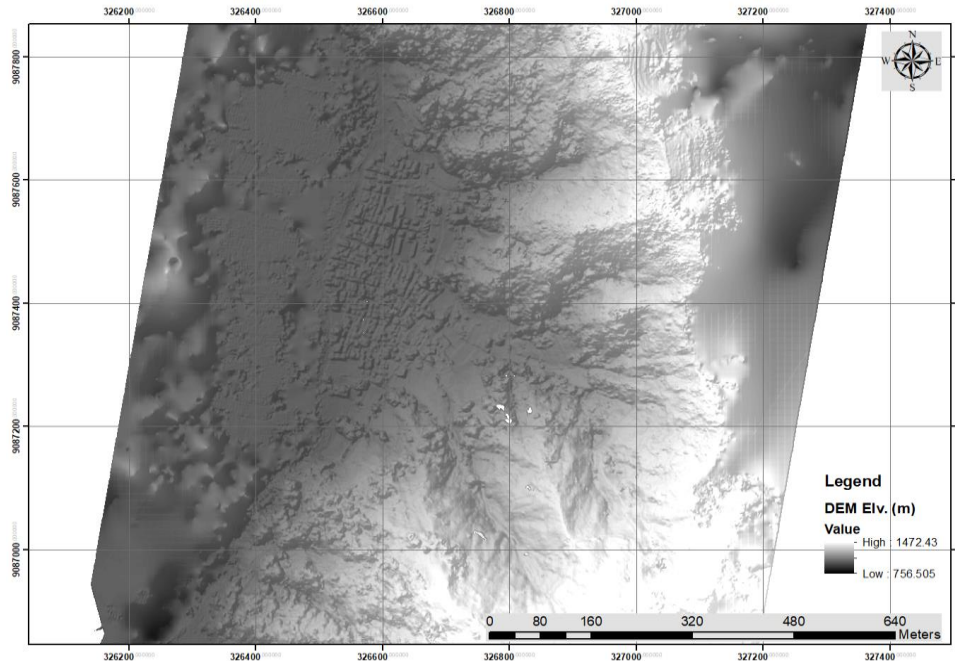
Gambar 4 menunjukkan lokasi timbunan akibat longsor rombakan, kemudian Gambar 3 menunjukkan longsor rombakan besar yang terjadi pada tahun 1917, yang menimbun pura Tuluk Biyu dan permukiman sekitarnya yang menyisakan gapura pura saja, sehingga pura tersebut sampai saat ini tidak difungsikan karena hampir setiap tahun disaat musim hujan akan dialiri oleh banjir bandang. Keratan longoran mulai menonjol mulai dari tahun 2010 akibat kikisan kecil erosi setiap musim hujan, sehingga desa-desa di bawah lereng Gunung Abang sangat terancam terulangnya bencana longsor besar, khususnya longsor bahan rombakan. Bagian dari hasil kajian ini, untuk interpretasi pemodelan di *software*

DFLOWZ terhadap kondisi geologi dan jenis tanah penyusun lereng dilakukan pengujian resistivitas lapisan tanah dengan metode geolistrik menggunakan dua lintasan masing-masing lintasan sepanjang 150 m menunjukkan lapisan tanah terdiri dari; lanau berpasir, batu pasir, hingga andesit terdapat rongga dengan batuan yang cukup lapuk, pada kedalaman 2-3 meter.

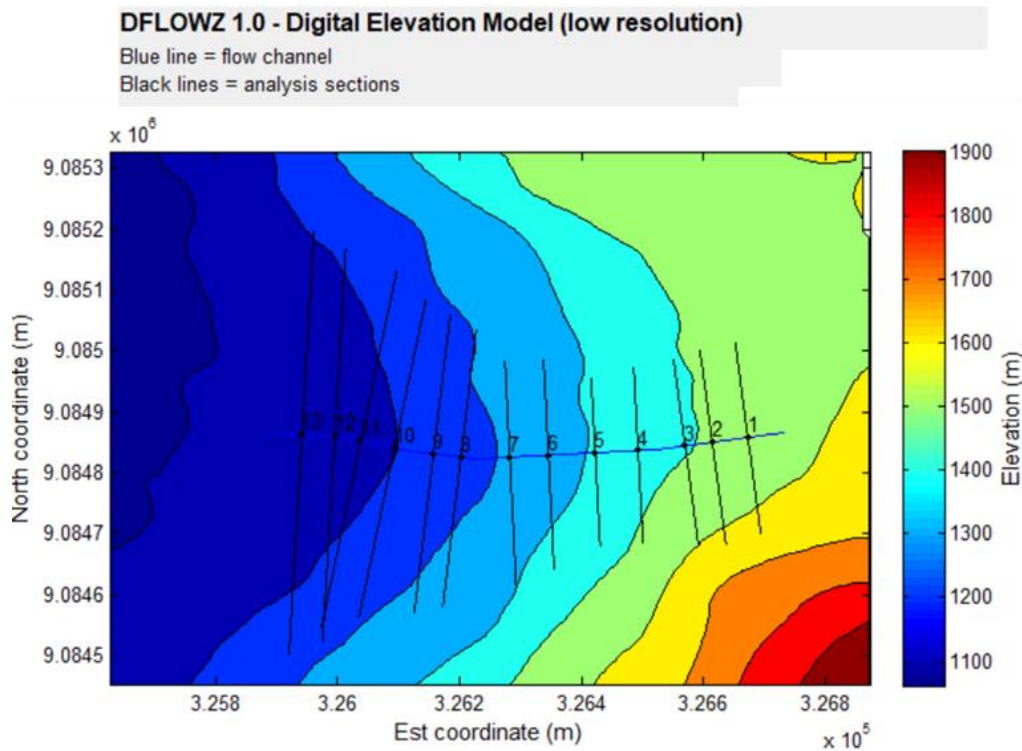
Analisis menunjukkan juga dengan kemiringan lereng  $40^{\circ}$ - $45^{\circ}$ , dan lapisan tanah yang porus menyebabkan erosi dan masuknya air ke celah-celah pasir dan kerikil, sehingga dapat mendorong terjadinya longsor bahan rombakan. Singkapan lereng pada kedalaman 2-3 m dengan batuan

penyusun serta komposisi batuan penyusun dalam kondisi batuan lapuk dengan komposisi 60% adalah breksi vulkanik dan sebagian kecil masih dalam kondisi fresh dan sisanya adalah lanau berpasir dengan kepadatan rendah. Analisis dan pemodelan longsor bahan rombakan (*debris flow*) dengan menggunakan perangkat lunak DFLOWZ

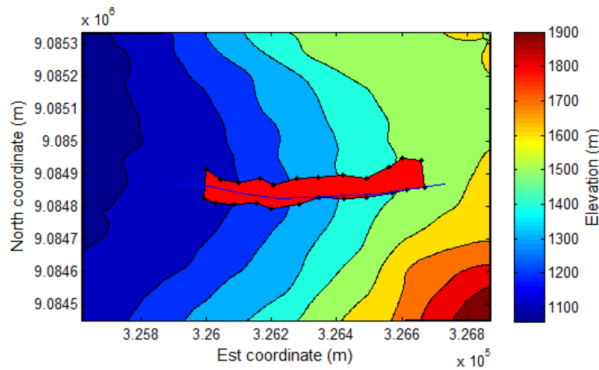
untuk mengetahui perilaku aliran bahan rombakan yang berhubungan dengan jarak jangkauan, luas genangan dan volume genangan dimulai dengan Gambar 5 adalah citra satelit, sedangkan Gambar 6 adalah *Digital Elevation Model (DEM)*, dengan file berekstensi .asc sehingga tergambar hitam putih.



Gambar 6. DEM Gunung Abang



Gambar 6. Flowpath dan section aliran bahan rombakan pada program DFLOWZ



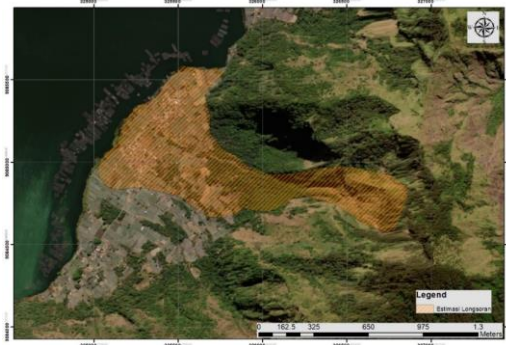
Gambar 8. Hasil analisis DFLOWZ

Warna DEM hitam putih menunjukkan ketinggian atau elevasi daerah aliran dimana warna hitam sama dengan elevasi paling rendah, sedangkan elevasi paling tinggi berwarna putih. Pada Gambar 5 menunjukkan vegetasi yang jarang atau kosong menjadi arah dari aliran dengan asumsi mengalami erosi pada bagian yang dilingkari merah. Pemodelan ini, terhadap asumsi arah aliran menjadi sangat penting dalam analisis arah aliran, luas genangan dan volume material dari longsoran rombakan.

Gambar 7 menunjukkan pemodelan posisi *flowpath* dan *section* setelah diinput pada program DFLOWZ untuk selanjutnya dilakukan proses analisis identifikasi *flowpath* dari longsor rombakan. *Flowpath* ini terbentuk dengan garis pada lereng dengan asumsi arah *flowpath* berdasarkan jumlah vegetasi. Gambar 7 ini menjadi penentu dalam melakukan pemodelan, dimana analisis penampang dan penempatan garis hulu sebagai tempat awal pengendapan longsor rombakan penting untuk diramalkan dan diharapkan terjadi, pada umumnya dipuncak bidang kipas longsor. Namun, jika saluran aliran menoreh ke dalam kipas, atau jika terhalang oleh vegetasi atau batuan lainnya di sepanjang jalur, pengendapan dapat mulai lebih jauh ke hilir atau hulu. Oleh karena itu, titik awal pengendapan merupakan parameter masukan penting yang harus dipilih berdasarkan rincian survei geomorfologi.

Pengaruh parameter geomorfologi seperti pada Gambar 8, model dievaluasi melalui analisis pada penampang melintang yang berbeda-beda. Model geometris sederhana ini, tidak memperhatikan vegetasi atau penghambat sekitar aliran. Analisis DFLOWZ memerlukan interpretasi awal dalam penggambaran *flowpath*, yang membutuhkan pengetahuan yang cukup terhadap lokasi penelitian yang menyangkut, kondisi geologi, jenis tanah dan batuan penyusun lereng dan vegetasi lingkungan.

Hasil simulasi menunjukkan potensi ancaman longsor rombakan akibat kemiringan lereng



Gambar 9. Estimasi volume longsoran debris flow (warna merah)

berdasarkan data DEM dan seksion yang dibuat seperti pada Gambar 7, menunjukkan luas deposit tertahan berpotensi menyebabkan longsoran rombakan seluas 49.830 m<sup>2</sup>, dan tinggi genangan setebal 5 – 7 m. Gambar 9 menunjukkan simulasi longsor yang telah bercampur dengan air dan mengalir sebagai aliran bahan rombakan. Longsoran mulai terdeposit pada 1500 mdpl, dan berhenti pada ketinggian 1150 mdpl dengan selisih elevasi 350 m. Sedangkan luapan genangan seluas 288.586 m<sup>2</sup> dengan volume kumulatif aliran bahan rombakan adalah sebesar 144.293 m<sup>3</sup> dan ketebalan rata-rata 0,50 meter.

Berdasarkan hasil pemodelan dengan *software* DFLOWZ sebagai perangkat lunak gratis untuk memprediksi potensi longsor bahan rombakan meliputi; arah aliran, daerah genangan dan ketebalan endapan, yang didasarkan pada hubungan penskalaan empiris yang tidak menggambarkan dinamika kompleks aliran bahan rombakan. Model ini dapat menjadi alternatif untuk model numerik yang lebih komprehensif ketika data kalibrasi atau data validasi tidak tersedia. Interface grafis DLOWZ memungkinkan input data yang mudah dan memberikan representasi hasil berupa grafis, yang membuat pengguna dapat dengan cepat merancang mitigasi bencana *debris flow* melalui mitigasi struktural dengan membuat konstruksi pencegahan dan Non struktural berupa sosialisasi ancaman bencana guna meningkatkan kewaspadaan masyarakat.

## Kesimpulan

Pemodelan dengan perangkat lunak DFLOWZ adalah analisa numerik dengan pendekatan statistik menghasilkan hasil simulasi longsor bahan rombakan (*debris flow*) berdasarkan; topografi lereng, vegetasi, jenis tanah dan resolusi DEM. Hasil simulasi memberikan informasi luas genangan potensi longsor bahan rombakan sebesar 49.830 m<sup>2</sup>, dengan tebal genangan mencapai 5-7 m mulai pada ketinggian 1500 mdpl dan berakhir pada

ketinggian 1150 mdpl dan luapan genangan bercampur air seluas 288.586 m<sup>2</sup> dan volume kumulatif aliran bahan rombakan adalah sebesar 144.293 m<sup>3</sup> dengan ketebalan rata-rata 0,50 m.

Untuk mendapatkan hasil pemodelan dengan DFLOWZ menjadi lebih baik, sebaiknya menggunakan resolusi peta citra satelit DEM 1-3 m, serta mempertimbangkan kompleksnya longsor bahan rombakan (*debris flow*) dengan survei lapangan mendetail serta penelitian pendahuluan seperti hidrogeologi, geologi, dan geomorfologi secara terperinci agar mampu menggambarkan *flowpath* dengan tepat untuk mendeteksi jalur dan arah gerakan longsor rombakan yang mengalir keluar dari lembah.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada RISTEK DIKTI yang sudah memberikan dana melalui skema Hibah Penelitian Dasar tahun 2019-2020. Terimakasih juga diucapkan untuk teknisi laboratorium Mekanika Tanah Program Studi Teknik Sipil Universitas Warmadewa.

### Daftar Pustaka

Bemmelen, R. W. V. (1949). *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Government Printing Office, The Hague 1949.

Berti, M., & Simoni, A. (2014). DFLOWZ: A free program to evaluate the area potentially inundated by a debris flow. *Computers and Geosciences*, 67(June), 14–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2014.02.002>

Berti, Matteo, & Simoni, A. (2007). Prediction of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships. *Geomorphology*, 90(1–2), 144–161.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.01.014>

BSN. (2005). SNI 13-7124-2005: Penyusunan peta zona kerentanan gerakan tanah. In *Badan Standardisasi Nasional*. [http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni\\_main/sni/cetak\\_detail\\_sni/7138](http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sni/cetak_detail_sni/7138)

Cruden, D. M., & Vernes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. In T. R. Board (Ed.), *Landslides: Investigation and mitigation*.

Hardiyatmo, H. C. (2012). Tanah longsor dan erosi: kejadian dan penanganan. *Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta*.

Jakob, M., & Hungr, O. (2005). Debris-flow Hazards and Related Phenomena. In M. S. Dr Philippe Blondel, C.Geol., F.G.S., Ph.D. (Ed.), *Appl. Phys. A* (1st ed., Vol. 73). ISBN 3-540-20726-0 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Rustan, R., & Purqon, A. (2016). Pemodelan Aliran Debris Flow Untuk Analisis Potensi Longsoran Studi Kasus: Pegunungan Fishhawk, California. *Journal Online of Physics*, 2(1), 6–10.  
<https://doi.org/10.22437/jop.v2i1.3446>

Schilling, S. P. (1998). LAHARZ; GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones. In *U.S. Geological Survey; Information Services [distributor]*.  
<https://doi.org/10.3133/ofr98638>

Sinarta, I. N., & Ariyana, I. (2019). Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner di Lereng Gunung Abang Kintamani. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)-13*, 2, 36-42.

Sinarta, I. N., Ika Wahyuni, P., & Aryastana, P. (2019). Debris Flow Hazard Assessment Based on Resistivity Value and Geological Analysis In Abang Mountain, Geopark Batur, Bali. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(11), 11–18.  
<http://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=11>

Sinarta, I. N., Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2016). Pemetaan Ancaman Gerakan Tanah berdasarkan Indeks Stabilitas pada ekstensi SINMAP di Kabupaten Bangli, Bali. In *Seminar Nasional Geoteknik 2016 HATTI Yogyakarta* (Vol. 1, No. 1, pp. 101-108). HATTI Yogyakarta.

Sinarta, I. N., Rifa'i, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2020). Spatial Analysis of Safety Factors due to Rain Infiltration in the Buyan-Beratan Ancient Mountains. *International Review of Civil Engineering (I. RE. CE)*, 11(2), 90-97.  
<https://doi.org/10.15866/irece.v11i2.17668>

Sutawidjaja, I. S. (2009). Ignimbrite Analyses of Batur Caldera, Bali, based on 14 C Dating. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(3), 189–202.  
<http://ijog.bgl.esdm.go.id>

Tim tanggap darurat gerakan tanah, B. (2017). *Laporan Singkat Bencana Gerakan Tanah Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali*.