

Dynamic Movement of Rapid Landslide

Webinar Manajemen Risiko Longsor

Indra A. Dinata

Imam A. Sadisun

Lambok M. Hutasoit





Indra A. Dinata ST., MT.

Asisten Akademik KKGIT FITB ITB



+62 85794292701

01

Pendidikan

- S1 dan S2 Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung (ITB), 2011 dan 2017
- Kandidat Doktor, Institut Teknologi Bandung (ITB) 2020

02

Konsultan

- Tim Review Criteria Desain Kereta Cepat, KCIC
- Ahli Geologi Teknik pada Beberapa Ruas Jalan Tol

03

Sertifikat Profesional

Ahli Geoteknik Madya – Construction Services Development Board of Indonesia.

04

Penulis

Mengenal Aliran Bahan Rombakan dan Bahayanya, ISBN 978-623-7568-76-6, Penerbit ITB, Bandung



Setiap lereng ...

... rawan terjadi
longsoran.

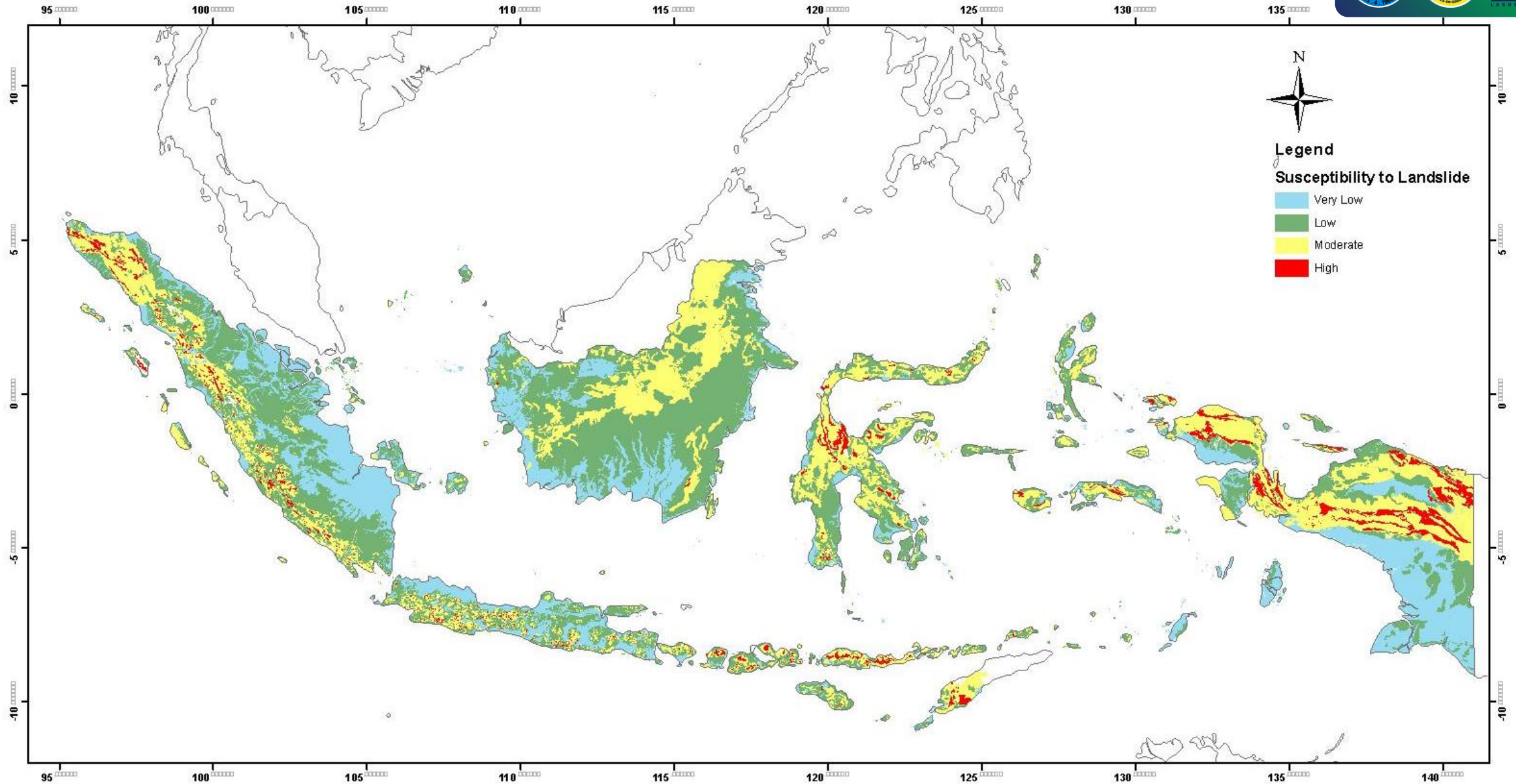


Gerakan tanah banyak terjadi pada area dengan lereng terjal sampai sangat terjal, proses pelapukan yang intensif, dan curah hujan tinggi.

Indonesia adalah negara yang **sangat rawan terhadap bencana gerakan tanah.**

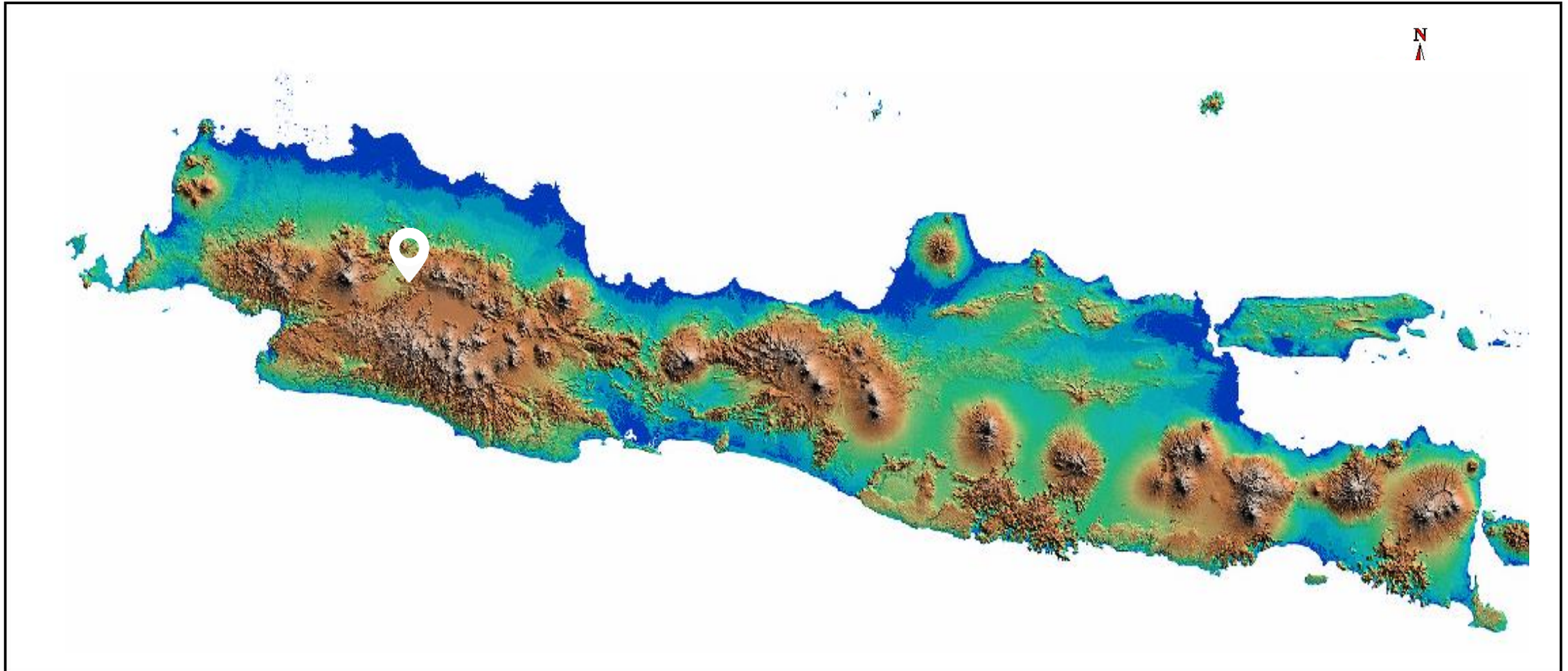


LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ZONE MAP OF INDONESIA



(Djadja and Suparman/ Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation, 2008)

Landslide Distribution Map of Java (1990-2000)



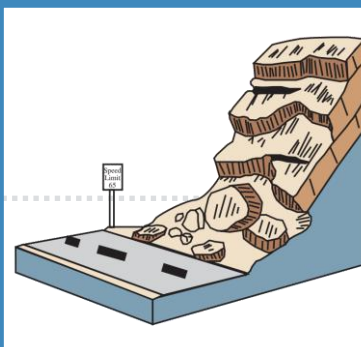
Jawa Barat - area terbanyak terjadinya gerakan tanah di Indonesia. Gerakan tanah menyebabkan banyak korban jiwa dan kerugian ekonomi yang besar.

Gerakan tanah biasanya dikarakterisasikan sebagai **masalah lokal** ...

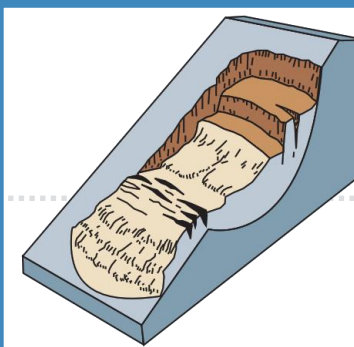


... tapi efek yang ditimbulkan sering **tidak dapat ditangani pemerintah lokal** dan mungkin menjadi masalah provinsi atau bahkan nasional.

Ilustrasi tipe pergerakan longsoran oleh Varnes (1978)

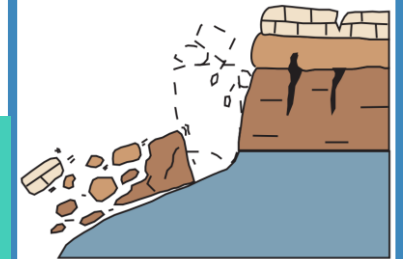


Jatuhan Batu

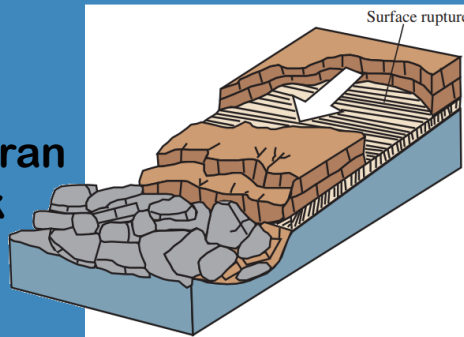


Longsoran Rotasional

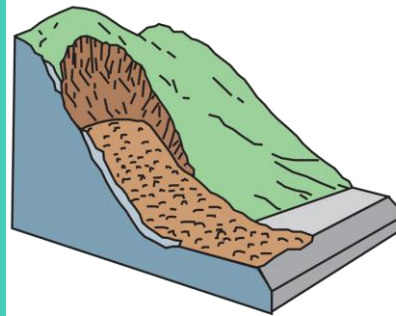
Robohan Batu



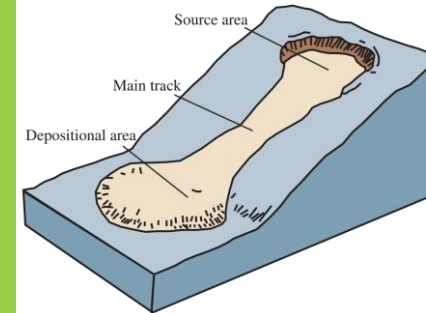
Gelinciran Blok



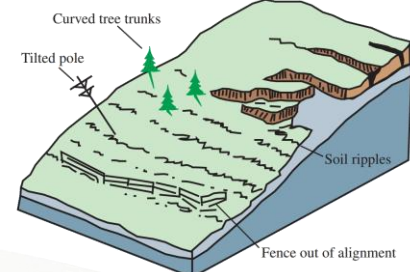
Debris Avalance



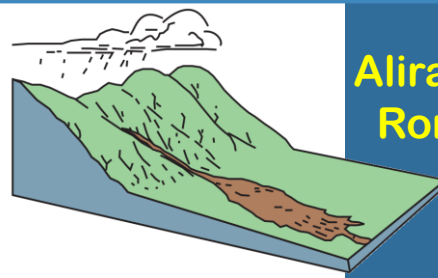
Aliran Tanah



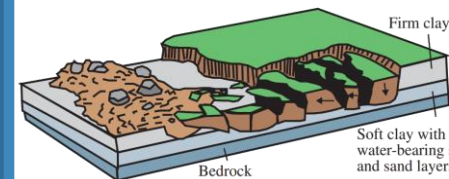
Longsoran Translational



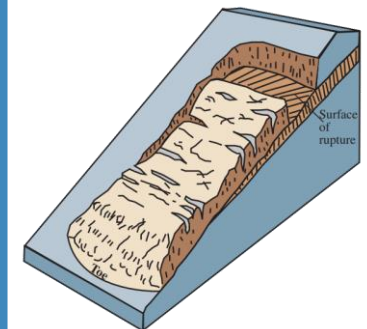
Rayapan

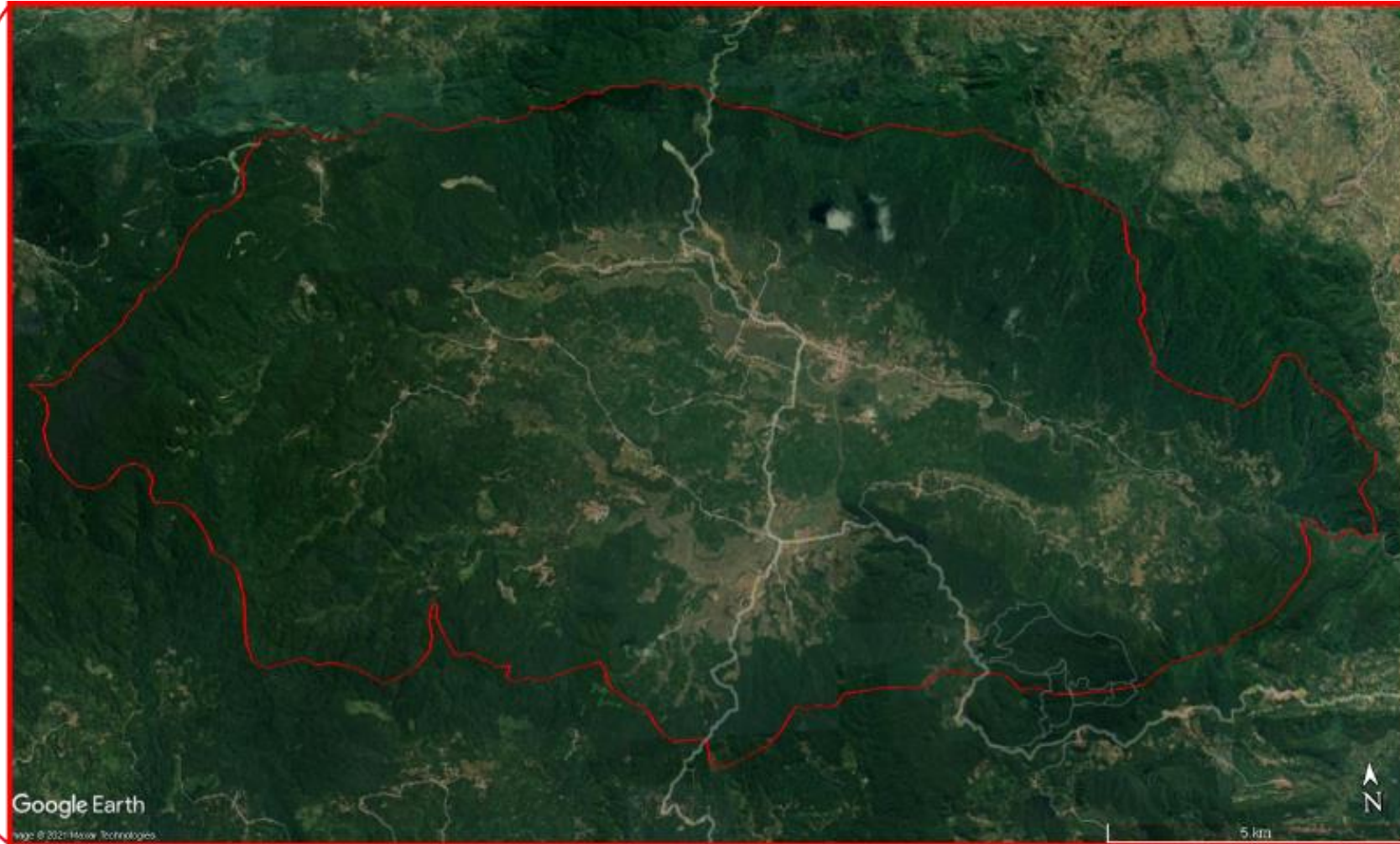
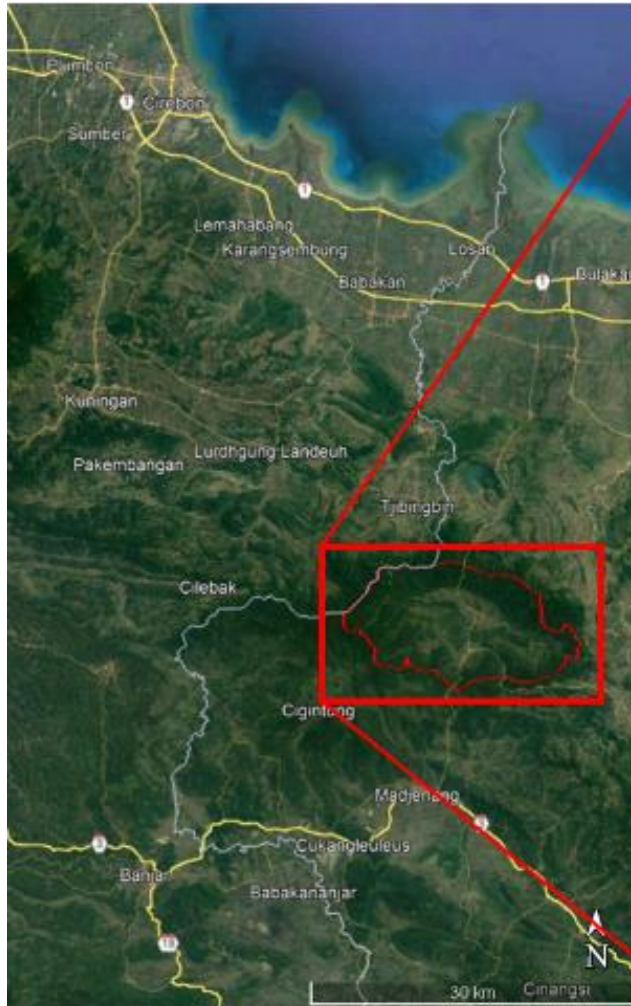


Aliran Bahan Rombakan



Sebaran Lateral





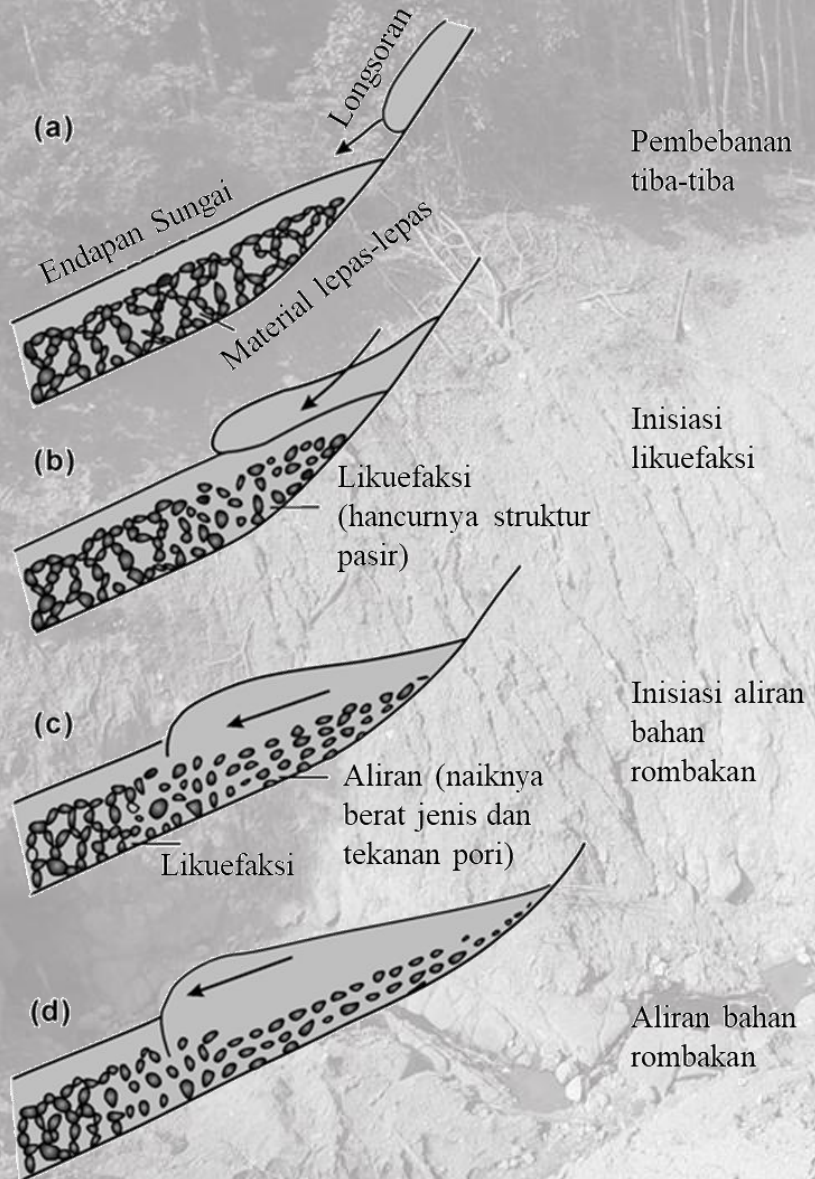
Aliran Bahan Rombakan



... suatu massa yang mengandung material padat, air, dan udara yang mengalir sebagai aliran cair.

(Varnes 1978, dalam Blijenberg, 2007)

Mekanisme



Jenis Aliran Bahan Rombakan



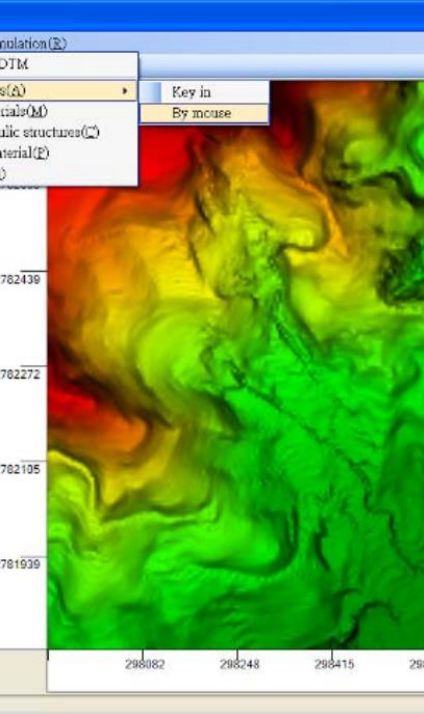
Aliran Bahan Rombakan *Hillslope*



Aliran Bahan Rombakan *Channelised*

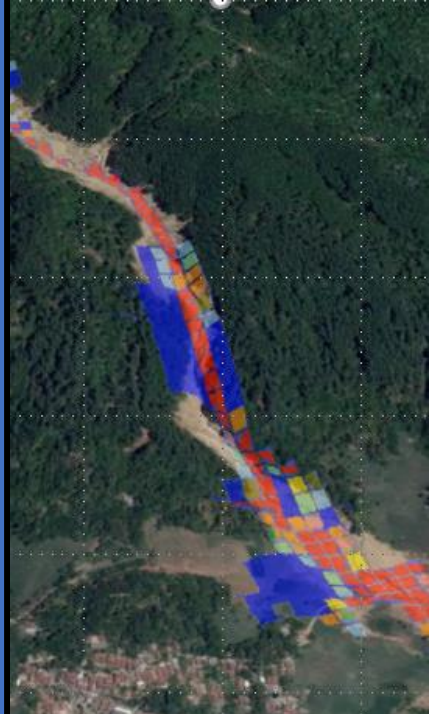


Topik	Peneliti
Studi Regional	Currie dkk. (1999); Gardner (1986); Gottesfeld (1991); Scheikl dan Powell (2019); serta Slaymaker (1999)
Studi Aliran Bahan Rombakan Tunggal	Boreggio dkk. (2019); Cruden dan Lu (1992); Hungr dan Evans (1984); Jackson dkk. (1989); Jakob dkk. (1997); Triana dkk. (2013); dan Sadisun dkk. (2013)
Transportasi dan Deposisi	Boyer (1999)
Reologi	Galay (1992); Hungr (1985); Hungr dan Evans (1997); Hungr dan Morgenstern (1984); Hungr dkk. (1984); Iverson (1997); serta Jakob dan Hungr (2005)
<i>Run-out</i>	Ayotte dkk. (1999); Hungr (1990); Hungr (1995); Nettleton dkk. (2005); Nakatani dkk. (2008); serta Nakatani dkk. (2011)
Mekanisme Aliran	Atkin dan Craine (1976); Bagnold (1954); Buser dan Frutiger (1980); serta Savage dan Hutter (1989)
Perangkat Lunak	Agostino dan Tecca (2006); Hsin dkk. (2013); Hsu dan Liu (2019); Hsu dkk. (2019); Laigle dan Hubl (2006); Liu dan Huang (2006); Liu dan Wu (2010); serta Mamondou dkk. (2013)



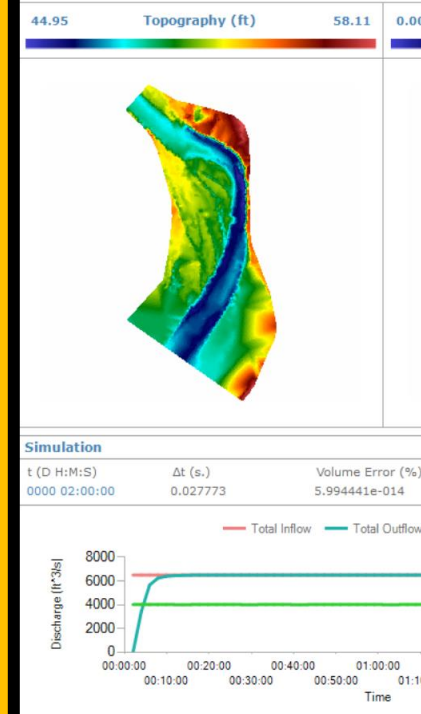
FLOW2D

Hasil simulasi distribusi aliran cenderung *overestimate* dari kondisi sebenarnya



RAMMS

Tidak memperhitungkan interaksi antara fase padat dan fase cair



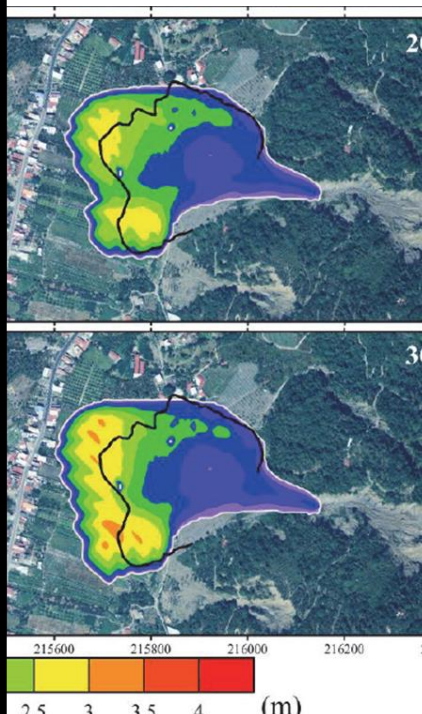
TRIGRS

Tidak ada penambahan volume dari proses erosi



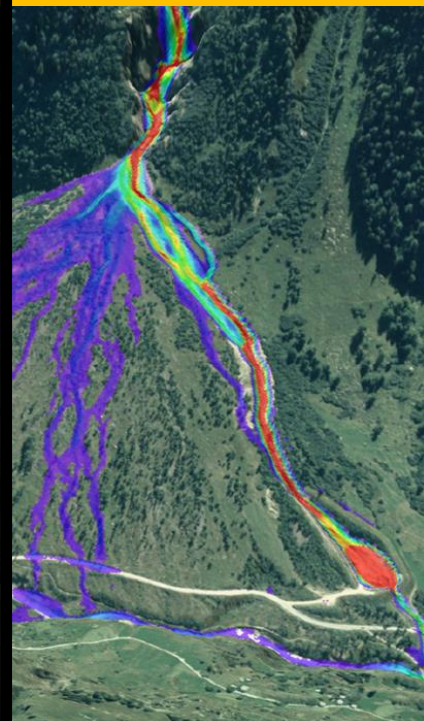
DEBRIS2D

Volume material yang bergerak tetap dan ditentukan di awal simulasi



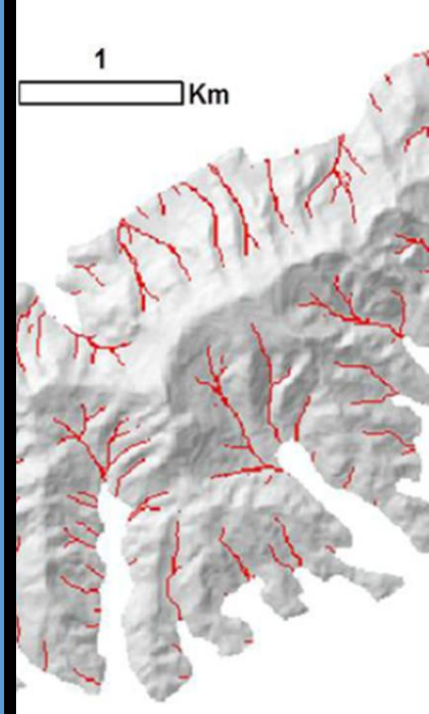
KANAKO2D

Distribusi besar butir dianggap seragam selama simulasi (volume tetap)



RIVERFLOW

Viskositas aliran bahan rombakan yang disimulasikan tetap



Persamaan Dasar Mekanika Tanah

$$\sigma = \sigma' + u$$

σ = Tegangan total

σ' = Tegangan efektif

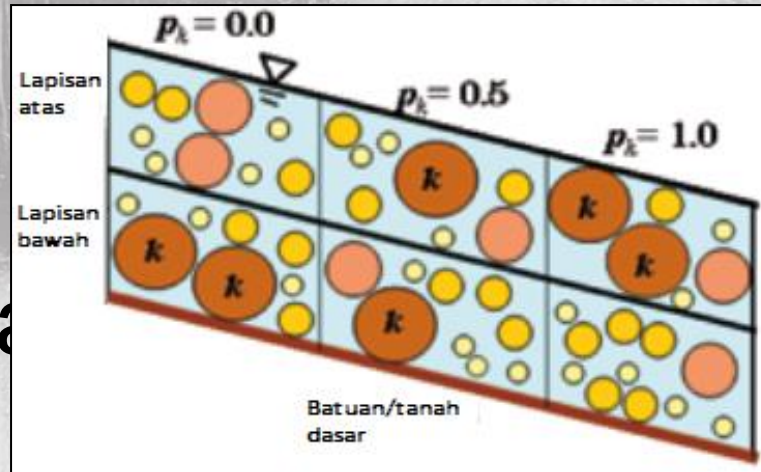
u = Tekanan air

Simulasi Numerik Distribusi *Run-out* Aliran Bahan Rombakan



$$d_m = \frac{C_1 d_1 + C_2 d_2 + \dots + C_k d_k + \dots + C_{ke} d_{ke}}{C_1 + C_2 + \dots + C_k + \dots + C_{ke}}$$

Persamaan

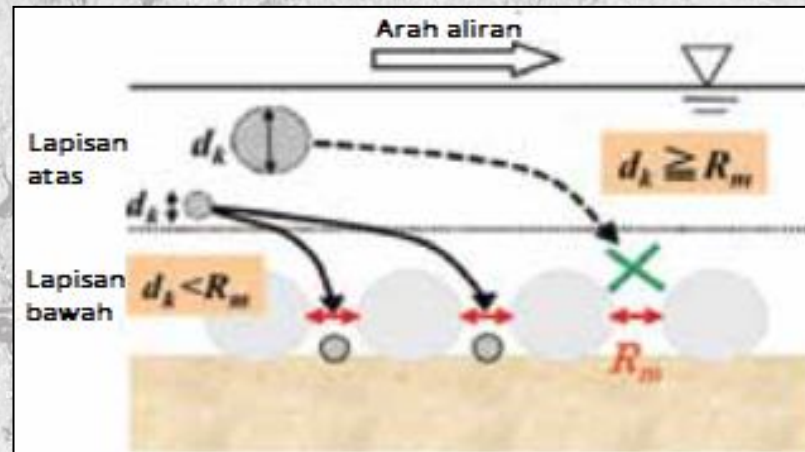


$$p_k = \frac{C_{Uk}}{C_{Uk} + C_{Lk}}$$

dan Tanah

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$q_{bk} = u_0 h C_k \left(\frac{1}{2} + p_k \right)$$



$$R_m = k_1 d_{Lm} = k_1 \frac{\sum_{k=1}^{ke} d_k C_{Lk}}{\sum_{k=1}^{ke} C_{Lk}}$$

Model Dua Layer

(Nakatani dkk., 2011)

Erosi dan Kecepatan Pengendapan

$$r_k = k_2 C_{UK} |u_0| = 2k_2^k p_k C_k |u_0| \quad r'_k = k_3 C_{LK} |u_0| = 2k_3^k (1 - p_k) C_k |u_0| \quad i = \delta_d \frac{C_\infty - C}{C_*} \frac{q}{h}$$

$$i_k = i \frac{C_k}{C} \quad d_m = \frac{C_1 d_1 + C_2 d_2 + \dots + C_k d_k + \dots + C_{ke} d_{ke}}{C_1 + C_2 + \dots + C_k + \dots + C_{ke}} \quad p_k = \frac{C_{UK}}{C_{UK} + C_{LK}} \quad i = \delta_e \frac{C_\infty - C}{C_* - C_\infty} \frac{q}{d_{mbed}}$$

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$i_k = \begin{cases} if_{bk} & (u_* < u_{*ck}) \\ 0 & (u_* > u_{*ck}) \end{cases} \quad q_{bk} = u_0 h C_k \left(\frac{1}{2} + p_k \right) \quad R_m = k_1 d_{Lm} = k_1 \frac{\sum_{k=1}^{ke} d_k C_{LK} i_k}{\sum_{k=1}^{ke} C_{LK}} = \begin{cases} if_{bk} & (d_k < h) \\ 0 & (d_k \geq h) \end{cases}$$

$$\frac{\partial f_{bk}}{\partial t} = \begin{cases} \frac{-i_k + if_{ok}}{\delta_m} & (i \geq 0) \\ \frac{-i_k + if_{bk}}{\delta_m} & (i < 0) \end{cases} \quad i_k = \begin{cases} -w_{ok} C_k + i \frac{C_k}{C} & (u_* < w_{ok}) \\ i \frac{C_k}{C} & (u_* \geq w_{ok}) \end{cases} \quad \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Ch}{d_m^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Cuh}{d_m^3} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Cvh}{d_m^3} \right) = \frac{iC_*}{d_m^3}$$

Simulasi Numerik Distribusi *Run-out* Aliran Bahan Rombakan



$$r_k = k_2 C_{UK} |u_0| = 2k_2^k p_k C_k |u_0| \quad r'_k = k_3 C_{LK} |u_0| = 2k_3^k (1 - p_k) C_k |u_0| \quad i = \delta_d \frac{C_\infty - C}{C_*} \frac{q}{h}$$

$$i_k = i \frac{C_k}{C} \quad d_m = \frac{C_1 d_1 + C_2 d_2 + \dots + C_k d_k + \dots + C_{ke} d_{ke}}{C_1 + C_2 + \dots + C_k + \dots + C_{ke}} \quad p_k = \frac{C_{UK}}{C_{UK} + C_{LK}} \quad i = \delta_e \frac{C_\infty - C}{C_* - C_\infty} \frac{q}{d_{mbed}}$$

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$i_k = \begin{cases} if_{bk} & (u_* < u_{*ck}) \\ 0 & (u_* \geq u_{*ck}) \end{cases} \quad q_{bk} = u_0 h C_k \left(\frac{1}{2} + p_k \right) \quad R_m = k_1 d_{Lm} = k_1 \frac{\sum_{k=1}^{ke} d_k C_{Lk}}{\sum_{k=1}^{ke} C_{Lk}} \quad i_k = \begin{cases} if_{bk} & (d_k < h) \\ 0 & (d_k \geq h) \end{cases}$$

$$\frac{\partial f_{bk}}{\partial t} = \begin{cases} \frac{-i_k + if_{ok}}{\delta_m} & (i \geq 0) \\ \frac{-i_k + if_{bk}}{\delta_m} & (i < 0) \end{cases} \quad i_k = \begin{cases} -w_{ok} C_k + i \frac{C_k}{C} & (u_* < w_{ok}) \\ i \frac{C_k}{C} & (u_* \geq w_{ok}) \end{cases} \quad \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Ch}{d_m^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Cuh}{d_m^3} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Cvh}{d_m^3} \right) = \frac{iC_*}{d_m^3}$$

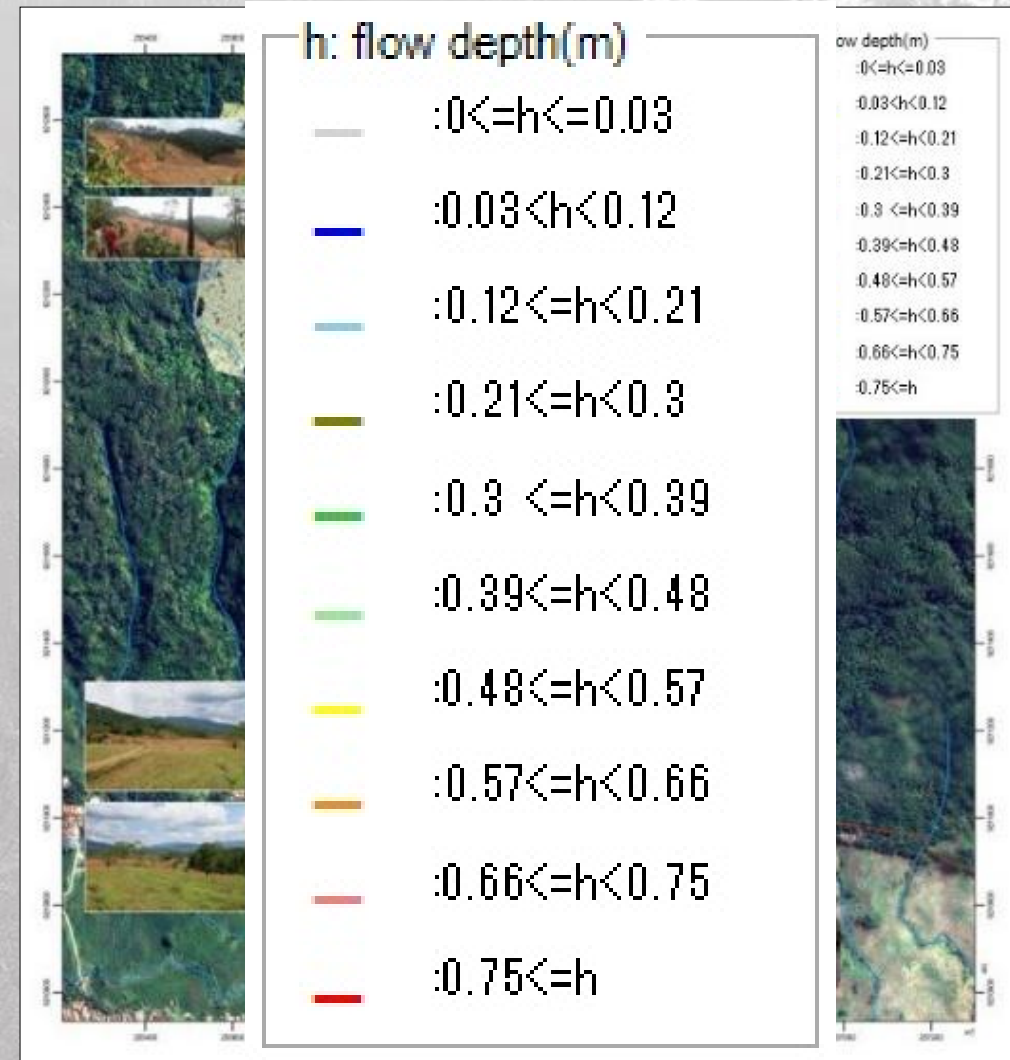
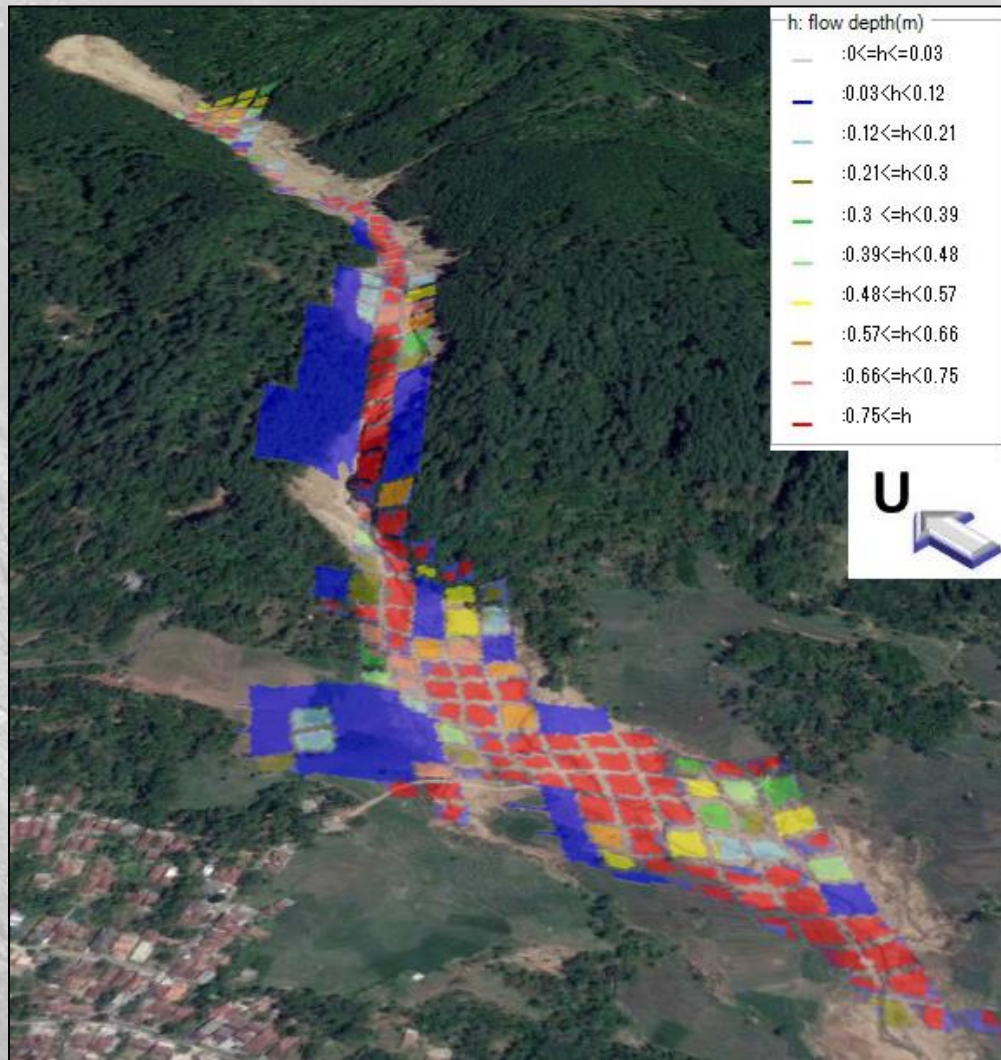
Simulasi Numerik Distribusi *Run-out* Aliran Bahan Rombakan



c	Kohesi	δ_d	Koefisien erosi pertama
φ	Sudut geser dalam tanah	u_{*ck}	Kecepatan friksi kritikal pada besar butir k^{th}
u_0	Kecepatan aliran rata-rata pada keseluruhan kedalaman aliran	w_{ok}	Kecepatan terendap
d_m	Diameter partikel rata-rata	δ_e	Koefisien erosi kedua
d_k	Diameter partikel pada subscript k	d_{mbed}	Rata-rata diameter partikel pada permukaan batuan/tanah dasarnya
C_k	Konsentrasi pada subscript k	u_*	Tegangan geser
ke	Besar butir terbesar	g	Gaya gravitasi
p_k	Perubahan vertikal dalam konsentrasi sedimen	θ_w	Kemiringan air permukaan
U	Lapisan atas	δ_m	Lapisan pertukaran partikel
L	Lapisan bawah	f_{bk}	Rasio volume pada besar butir k^{th} dengan keseluruhan partikel pada permukaan jalur aliran
k^{th}	Urutan besar butir	f_{ok}	Rasio volume pada besar butir k^{th} dengan keseluruhan partikel pada lapisan bawah
q_{bk}	Keseluruhan sedimen yang dikeluarkan pada besar butir k^{th}	u	Kecepatan erosi horizontal
h	Elevasi dasar	v	Kecepatan erosi vertikal
d_{Lm}	Diameter partikel rata-rata pada lapisan bawah	C_*	Konsentrasi dari lapisan yang bergerak
k_1	Koefisien perubahan diameter partikel rata-rata pertama	σ	Massa jenis material dasar
R_m	Jarak antar partikel	ρ	Massa jenis kondisi cair
r_k	Laju partikel	θ	Kemiringan lereng pada jalur sungai
k_2	Koefisien perubahan diameter partikel rata-rata kedua	C_d	Konsetrasi sedimen pada aliran bahan rombakan
k_3	Koefisien perubahan diameter partikel rata-rata ketiga	Q_{sp}	Puncak suplai sedimen perdetik
C_∞	Konsentrasi kesetimbangan sedimen	ΣQ	Total material yang bergerak
C	Konsentrasi sedimen yang sebenarnya	V_{dq}	Volume sedimen
i	Kecepatan erosi		
q	Keluaran sedimen		

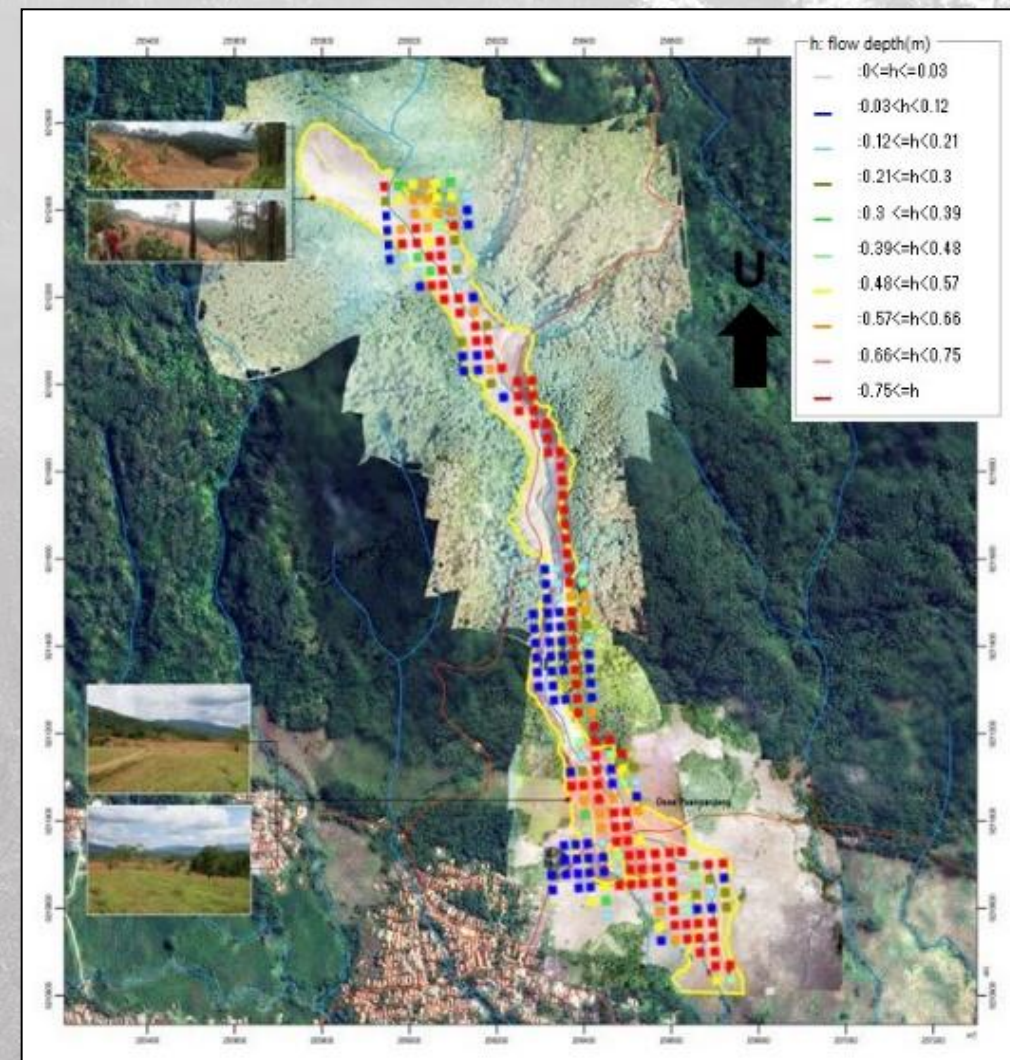
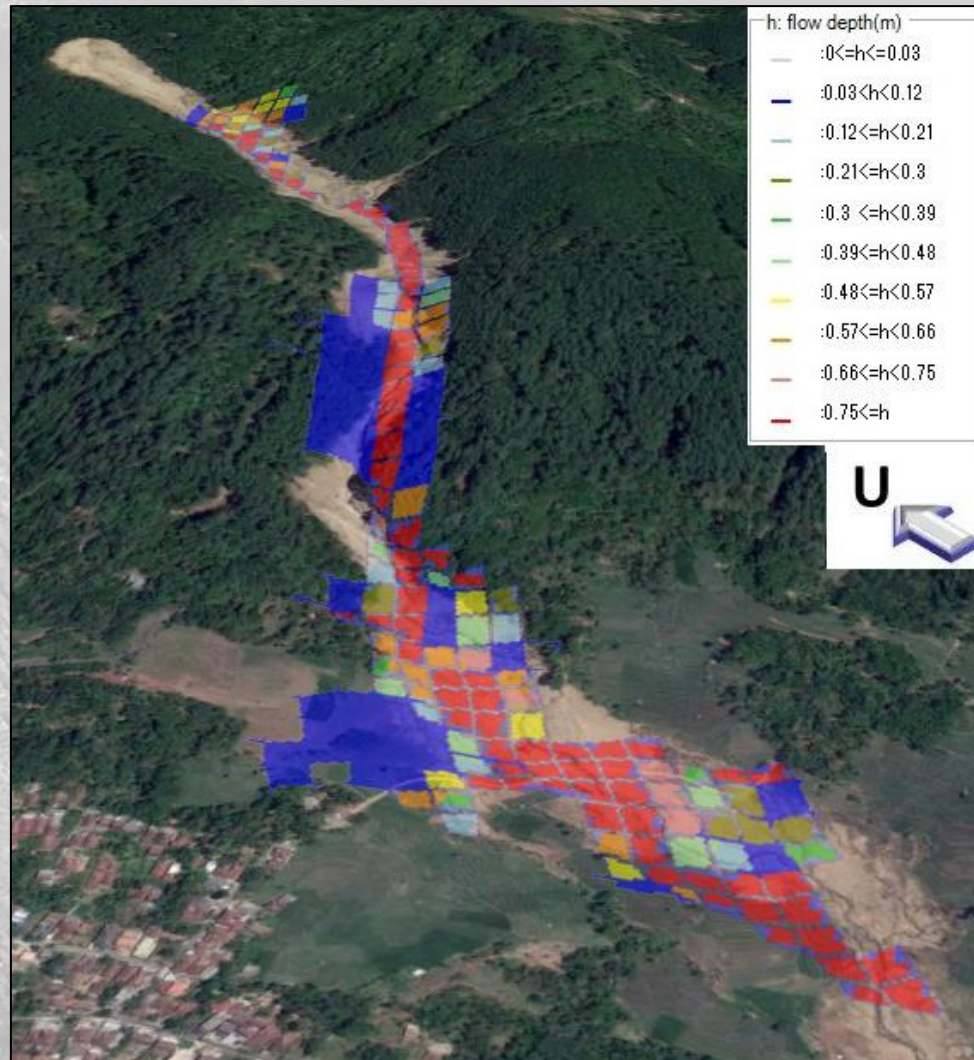
Pemodelan Distribusi Run-out Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018

Skenario nilai konsentrasi 0,25 memberikan hasil persebaran material bahan rombakan pada area pengendapan tersebar paling luas dengan kecepatan maksimum aliran sebesar **40 km/jam**.



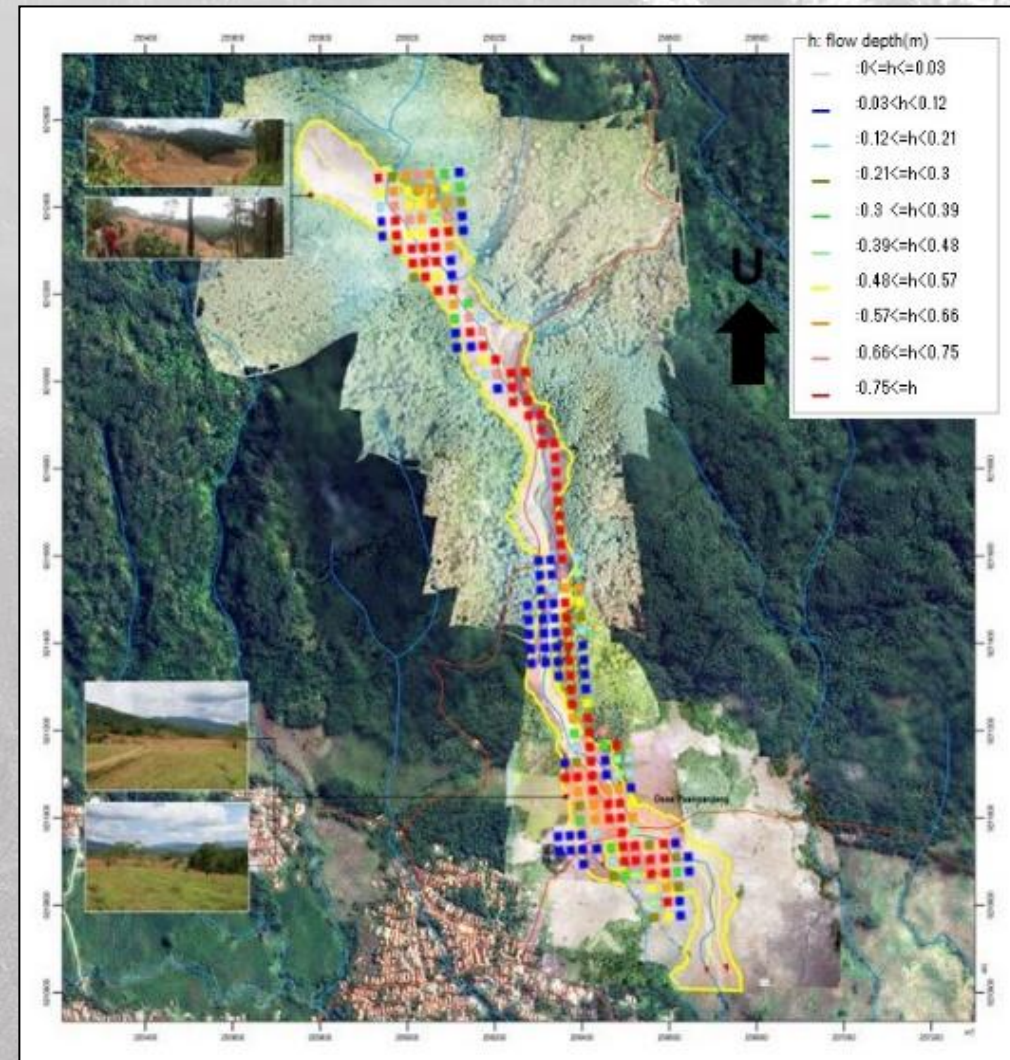
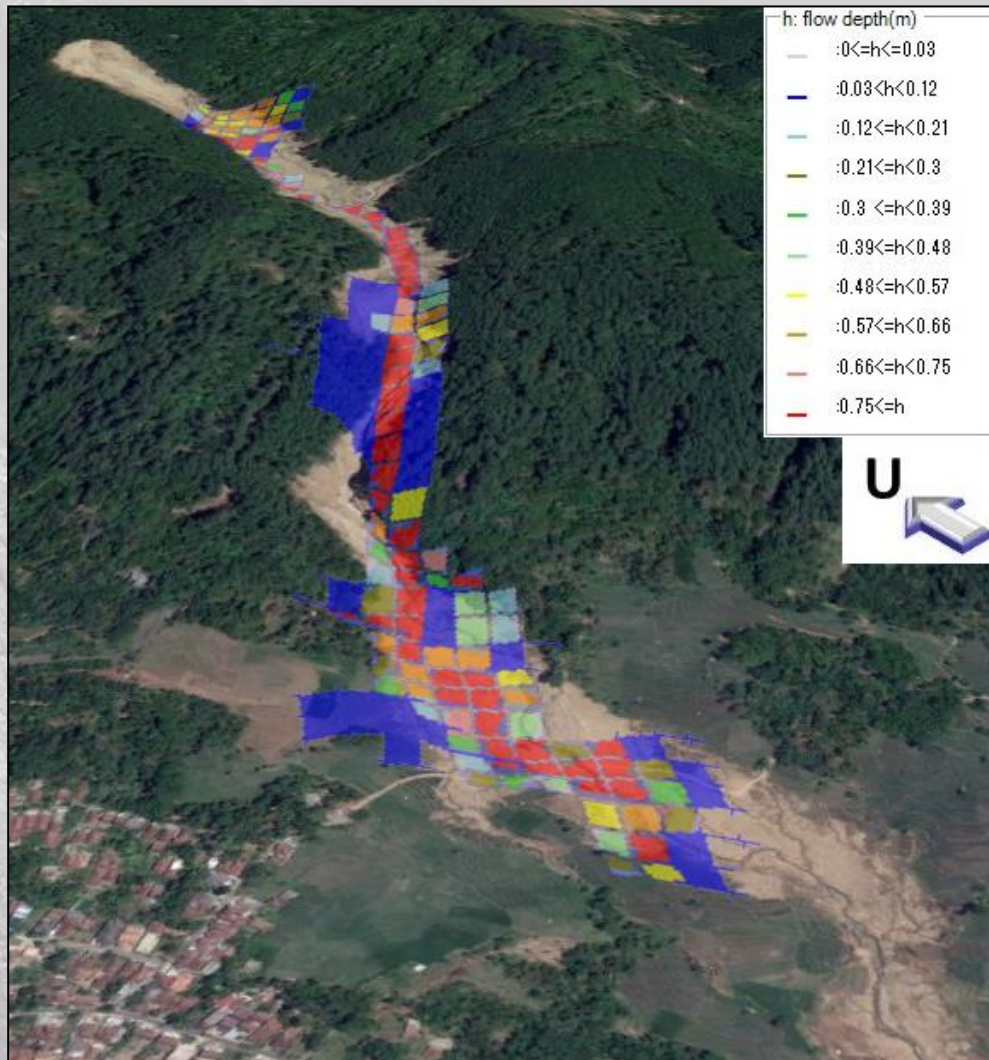
Pemodelan Distribusi Run-out Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018

Skenario nilai konsentrasi 0,3 memberikan hasil persebaran material bahan rombakan pada area pengendapan tersebar luas dengan kecepatan maksimum aliran sebesar **26 km/jam**.



Pemodelan Distribusi Run-out Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018

Skenario nilai konsentrasi 0,35 memberikan hasil persebaran material bahan rombakan hanya sampai jalur aliran dengan kecepatan maksimum aliran sebesar **19 km/jam**.

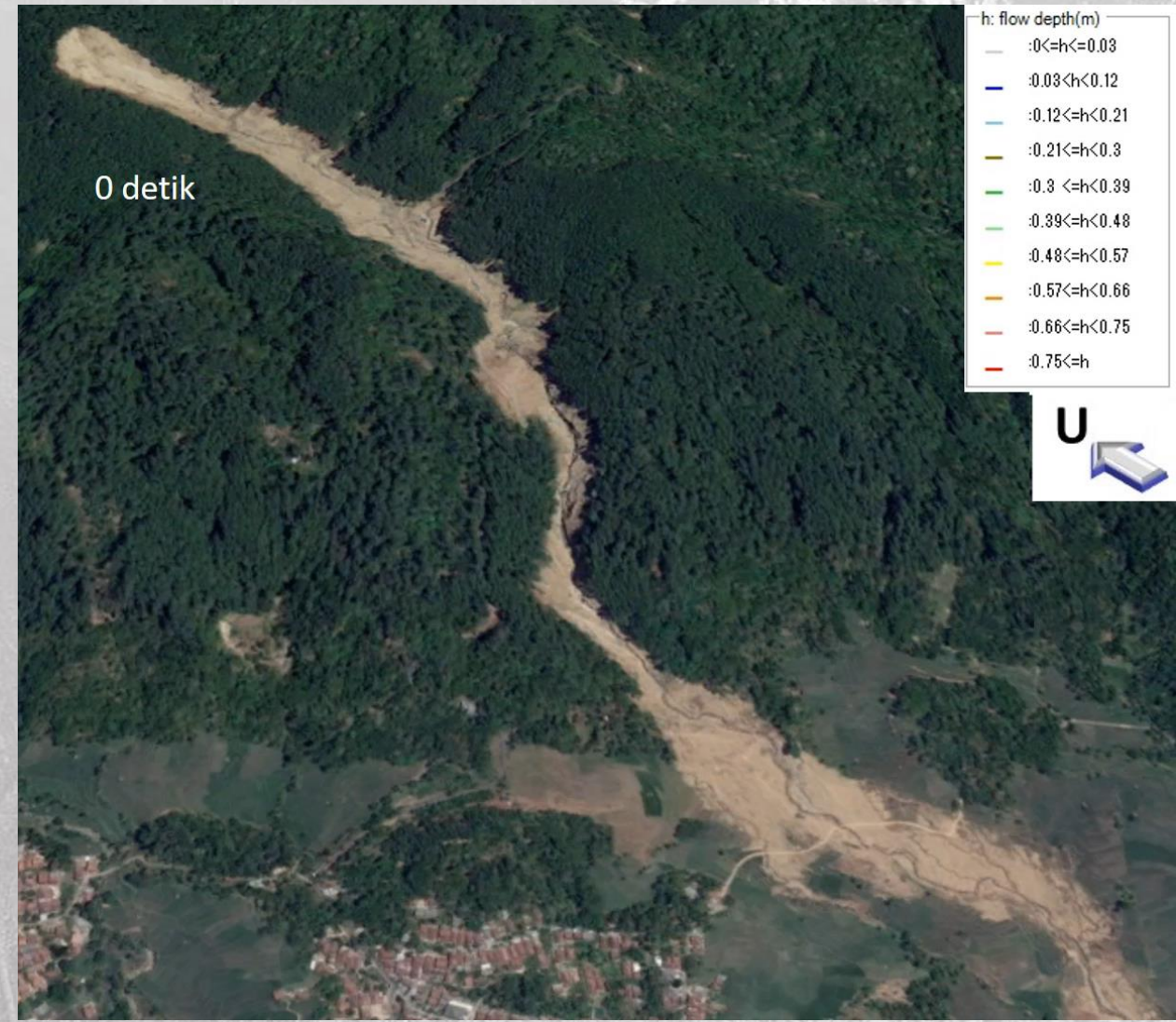


Pemodelan Distribusi Run-out Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018



Berdasarkan skenario-skenario yang telah dilakukan, skenario konsentrasi 0,3 memiliki hasil yang paling sesuai dengan kondisi sebenarnya.

- Material bahan rombakan pada detik ke-80 (1,3 menit) terakumulasi di kaki lereng yang menjadi area sumber. Kejadian ini disebabkan pada awal mula sumbatan alam yang roboh di bagian puncaknya.
- Sumbatan alam **roboh seluruhnya** pada detik ke-160 (2,6 menit) dengan material bahan rombakan mulai masuk jalur aliran.
- Pada detik ke-240 (4 menit) dan seluruh material bahan rombakan mulai dari material sumbatan alam dan hasil erosi sudah masuk dalam aliran.
- Aliran bahan rombakan tepat berada di utara jembatan jalan provinsi detik ke-320 (5,3 menit).
- **Jalan provinsi tersebut hancur** diterjang aliran bahan rombakan pada detik ke-400 (6,6 menit) dengan ketebalan aliran bahan rombakan >75 cm dan mulai berbelok ke selatan mengikuti sungai yang ada.
- Kecepatan maksimum didapatkan pada detik ke-480 (8 menit) kerana didukung oleh bentukan sungai yang semakin menyempit dan lurus.
- Aliran bahan rombakan mulai masuk di area pengendapan pada detik ke-560 (9,3 menit).



Pemodelan Distribusi Run-out Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018



Berdasarkan skenario-skenario yang telah dilakukan, skenario konsentrasi 0,3 memiliki hasil yang paling sesuai dengan kondisi sebenarnya.

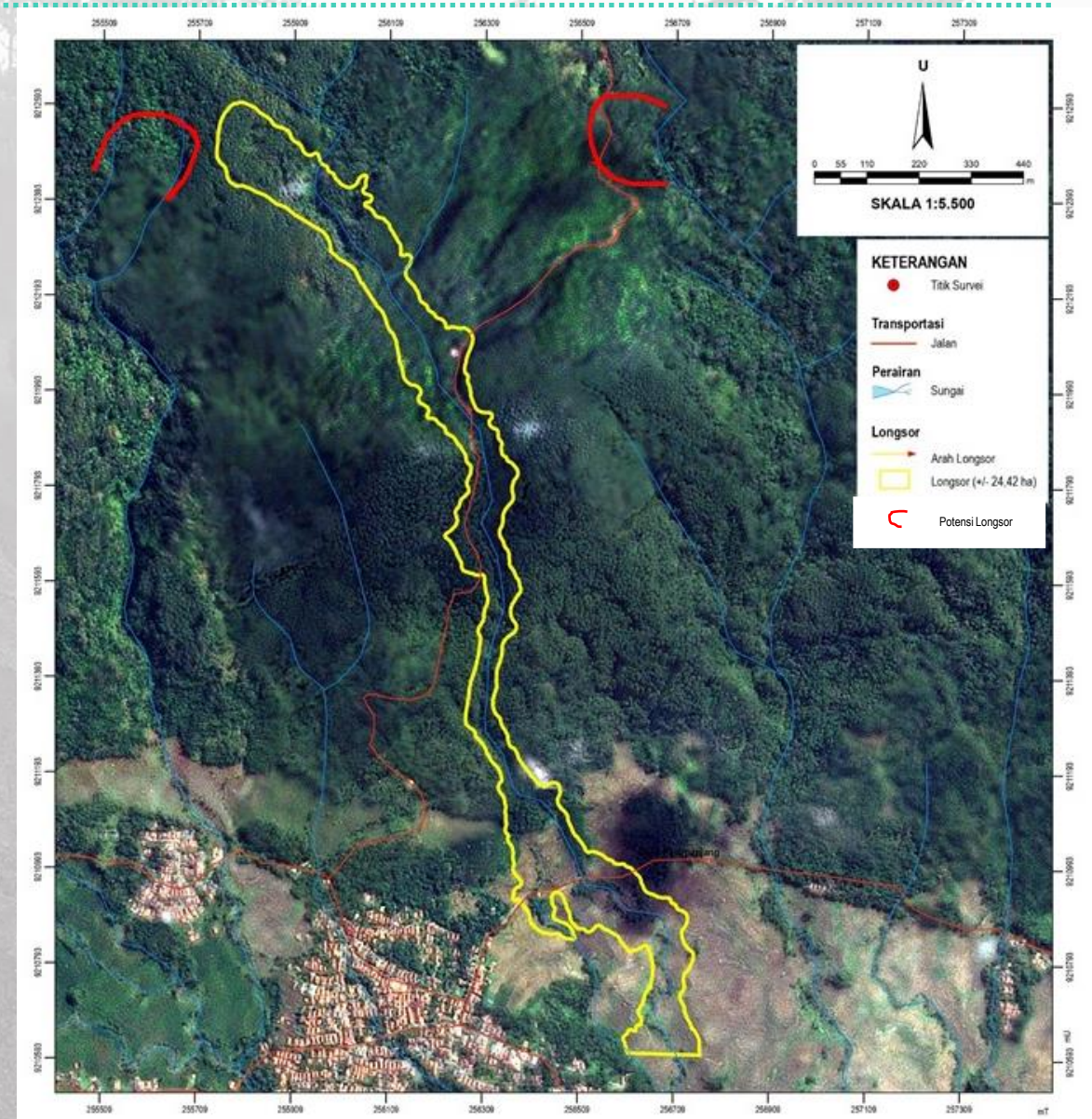
- **Bukit kecil yang berada di utara area pengendapan diterjang** oleh material bahan rombakan pada detik ke-640 (10,6 menit).
- Aliran bahan rombakan mulai berbelok ke tenggara kerana material yang berukuran lebih kecil tidak mampu melewati bukit kecil dan mengikuti arah aliran sungai pada detik ke-720 (12 menit).
- Material aliran bahan rombakan mulai tersebar luas dan mengendap di area pengendapan di detik ke-800 (13,3 menit).
- Aliran bahan rombakan telah **berada di ujung area pengendapan** pada detik ke-878 (14,6 menit).
- Aliran bahan rombakan tersebut sebenarnya masih mengalir jauh ke tenggara dengan ketebalan material yang relatif tipis. Namun, berdasarkan data di lapangan, pada ujung area pengendapan di detik ke-878 merupakan ujung dari endapan aliran bahan rombakan yang memiliki **ketebalan >75 cm**.



Potensi Aliran Bahan Rombakan yang lain di Desa Pasir Panjang

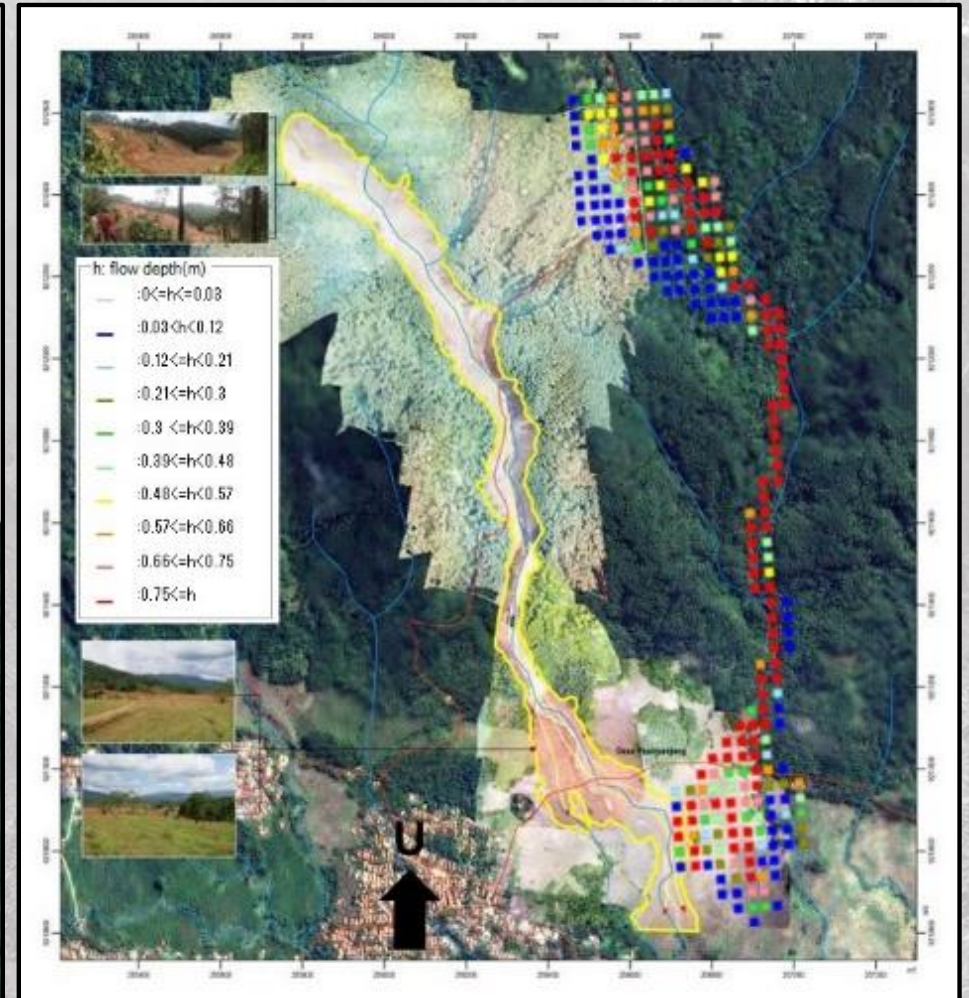
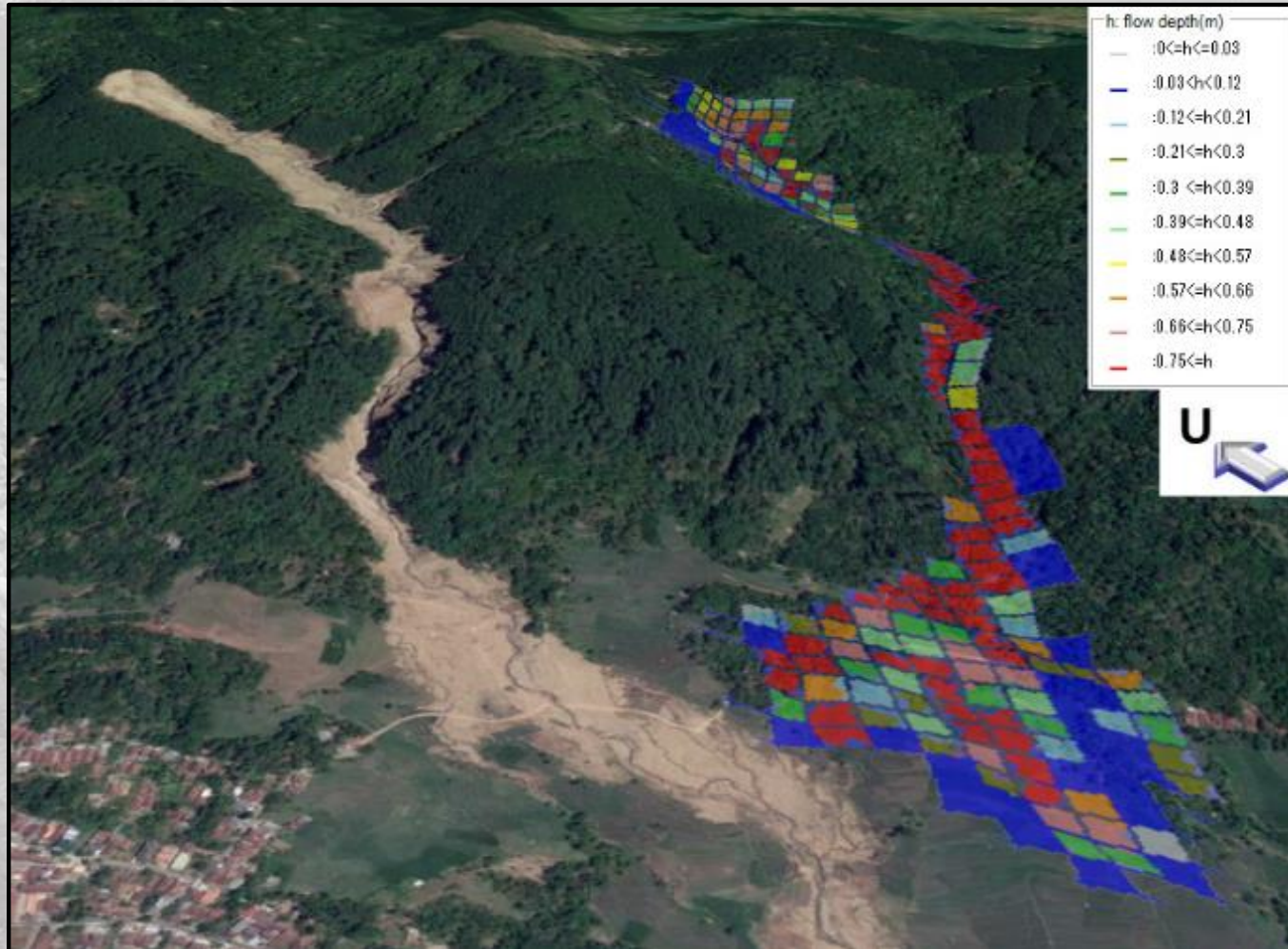


- Berdasarkan data survei lapangan, terdapat dua lokasi yang berpotensi untuk terjadi gerakan tanah yang berkembang menjadi aliran bahan rombakan. Lokasi-lokasi potensi gerakan tanah tersebut berada di **sebelah timur dan barat dari area sumber** Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018.
- Apabila kedua potensi gerakan tanah tersebut berkembang menjadi aliran bahan rombakan **akan sangat mirip** mekanismenya dengan Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018.
- Hal tersebut dikarenakan miripnya **kondisi morfologi, geologi, dan fisik** yang mempengaruhi mekanisme pergerakannya.
- Oleh karena itu, pemodelan dengan **parameter sama** dengan Aliran Bahan Rombakan Pasir Panjang 22 Februari 2018 dapat dilakukan untuk memperkirakan distribusi *run-out* aliran bahan rombakannya.



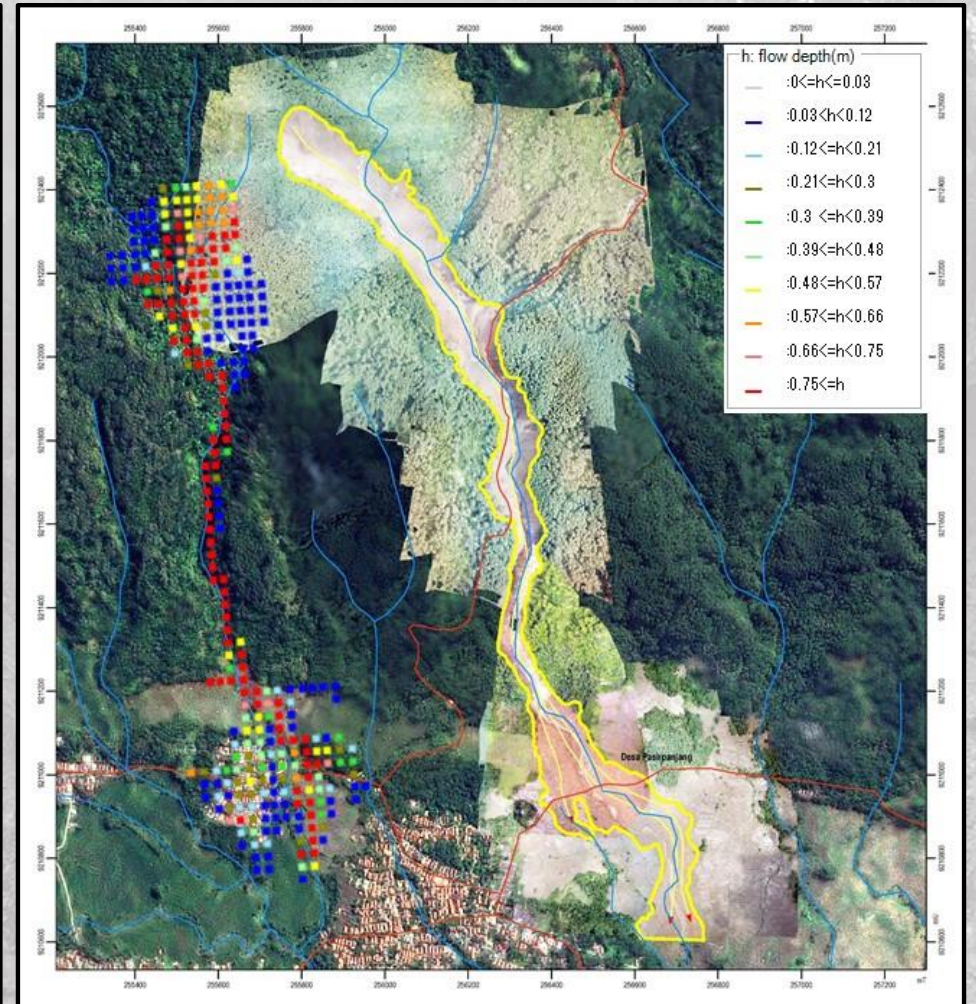
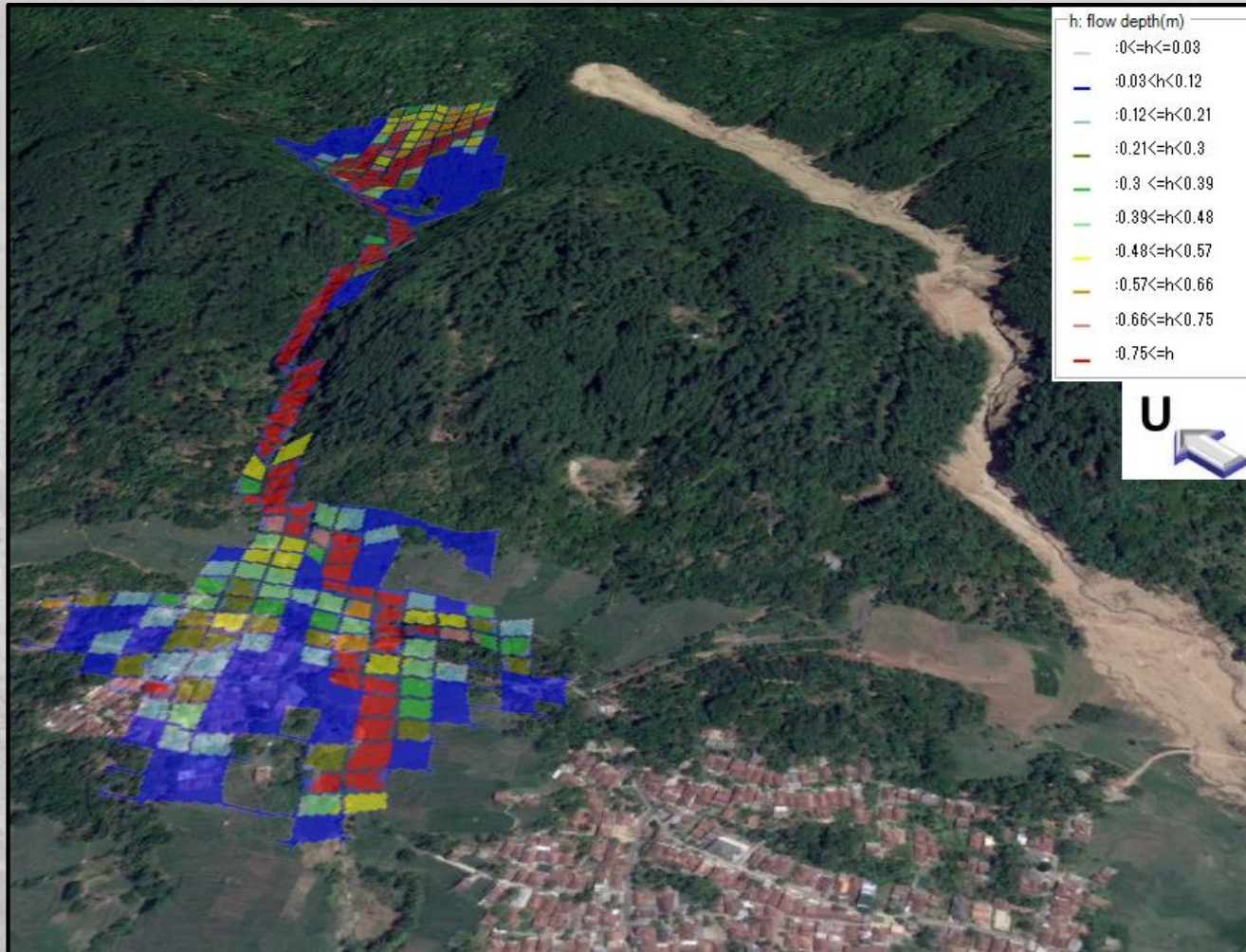
Potensi Aliran Bahan Rombakan di Sebelah Timur

Skenario nilai konsentrasi 0,3 memberikan hasil persebaran material bahan rombakan pada area pengendapan tersebar luas dengan kecepatan maksimum aliran sebesar 24 km/jam.



Potensi Aliran Bahan Rombakan di Sebelah Barat

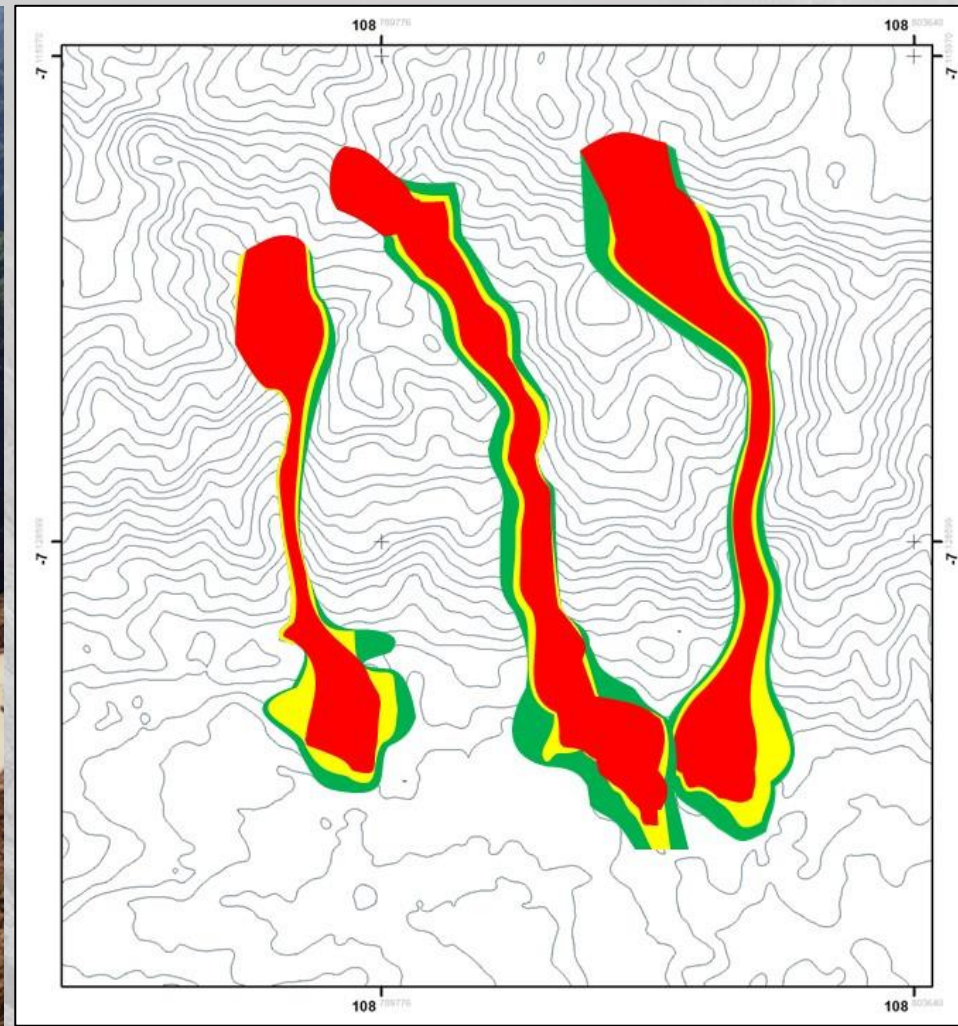
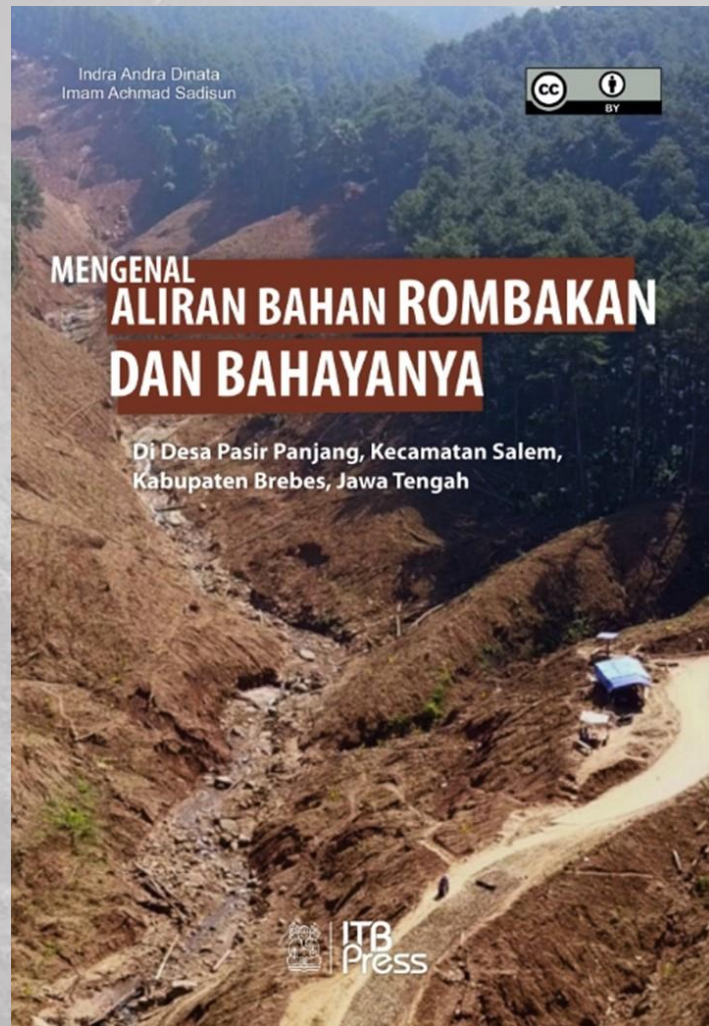
Skenario nilai konsentrasi 0,3 memberikan hasil persebaran material bahan rombakan pada area pengendapan tersebar luas dengan kecepatan maksimum aliran sebesar 25 km/jam.



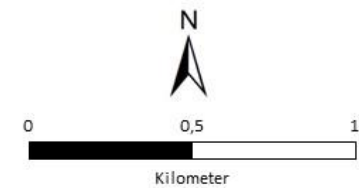
Peta bahaya aliran bahan rombakan Desa Pasir Panjang



Dalam penelitian ini, peneliti mencoba mengelompokkan tingkatan bahaya dari distribusi *run-out* aliran bahan rombakan berdasarkan ketebalan aliran bahan rombakan. Tingkatan bahaya tersebut dibagi menjadi **tiga (3) tingkat**, yaitu tingkat bahaya rendah (0-25 cm), tingkat bahaya sedang (25-50 cm), tingkat bahaya **tinggi (>50 cm)**.



Peta Bahaya Aliran Bahan Rombakan Desa Pasir Panjang, Kec. Saleem, Kab. Brebes, Jawa Tengah



Keterangan

- Rendah**; memiliki ketebalan material bahan rombakan 0-25 cm, merupakan level dasar, aliran bahan rombakan dianggap masih relatif aman, proses erosi tidak terlihat, dan memiliki kecepatan aliran lambat.
- Sedang**; memiliki ketebalan material bahan rombakan 25-50 cm, merupakan di atas level normal, aliran bahan rombakan belum mampu merusak bangunan dengan pondasi beton, proses erosi mulai terlihat, dan material berukuran bongkah mulai terlihat di depan aliran.
- Tinggi**; memiliki ketebalan material bahan rombakan >50 cm, merupakan area yang harus segera dihindari, aliran bahan rombakan mampu merusak bangunan dengan pondasi beton, proses erosi terlihat jelas, dan banyak material bongkah di depan aliran yang mengalir dengan cepat.

A Bitter Lesson from Cimanggung Landslide of Sumedang, Indonesia



The Cimanggung landslide occurred on Saturday, 9 January 2021 just **after very heavy rainfall**. The landslide was a complex landslide showing a **change from slide to flow mechanism of debris**. It was evidenced that the landslide was not a single event, but at least **four landslides** occurred as **retrogressive developments** of the crown.



After First Landslide

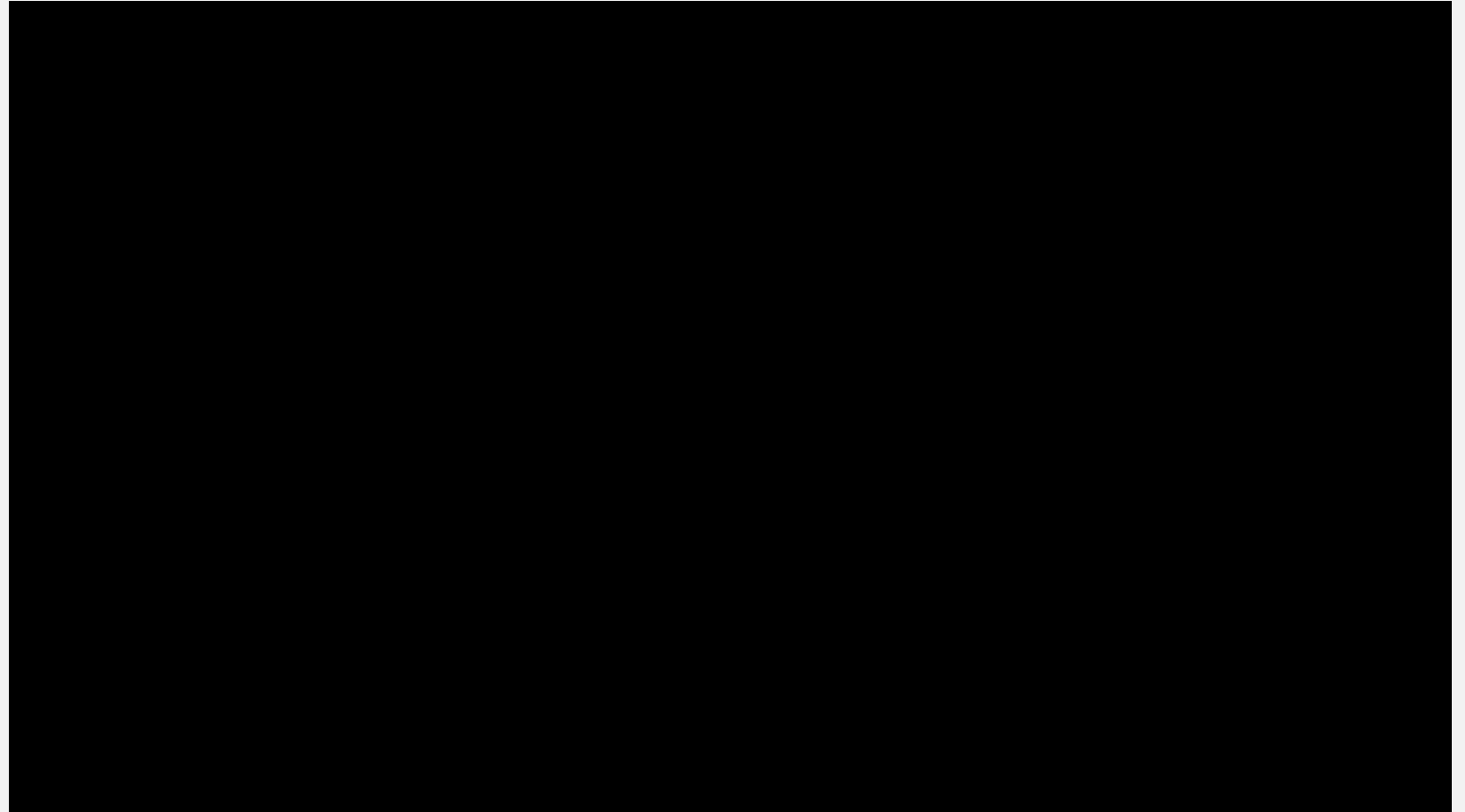


Second Landslide



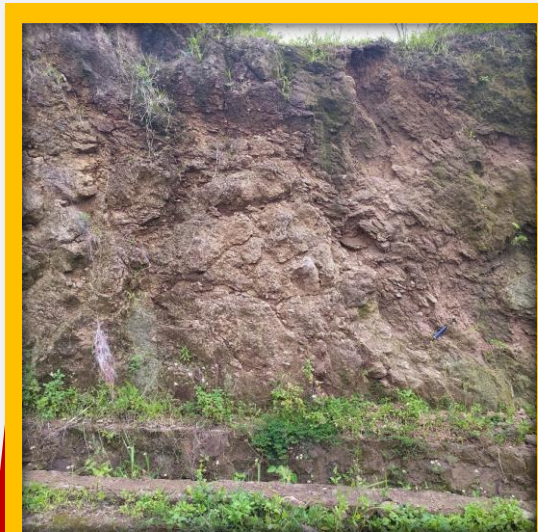
Fourth Landslide Aftermatch

Fourth landslide is **much larger** than the first, from about 20 m crowns with a length of up to 45 m, to 50 m crowns with a **debris outflow reaching of up to 120 m**. In this case, the third and fourth landslides tended to occur locally in the second landslide scarp.



Lithologies

33



Lightly weathered breccia tuffs



Strongly weathered breccia tuffs

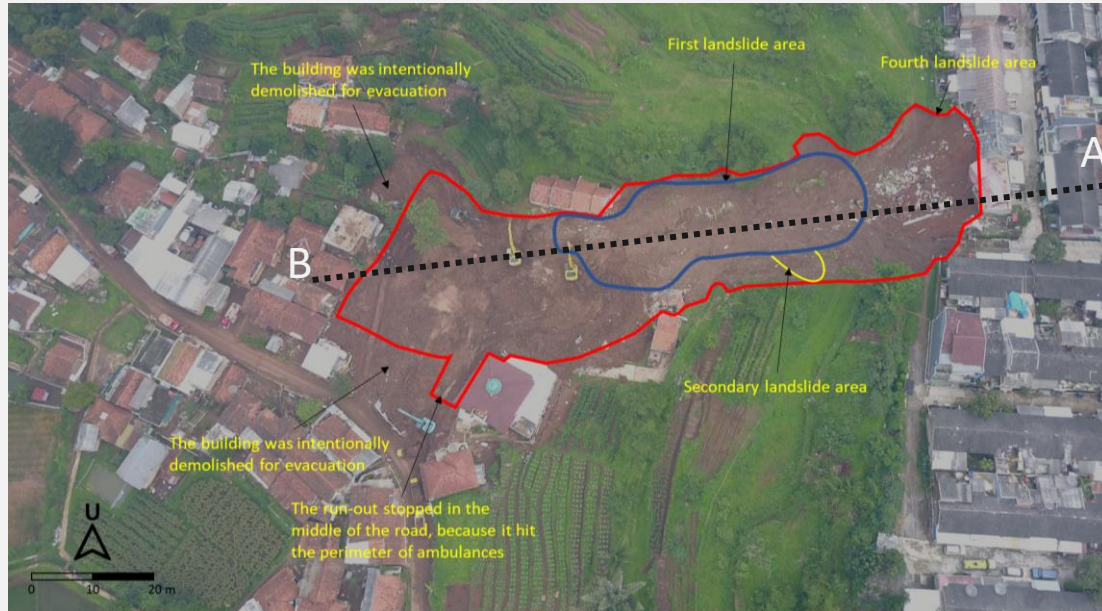


Residual soils

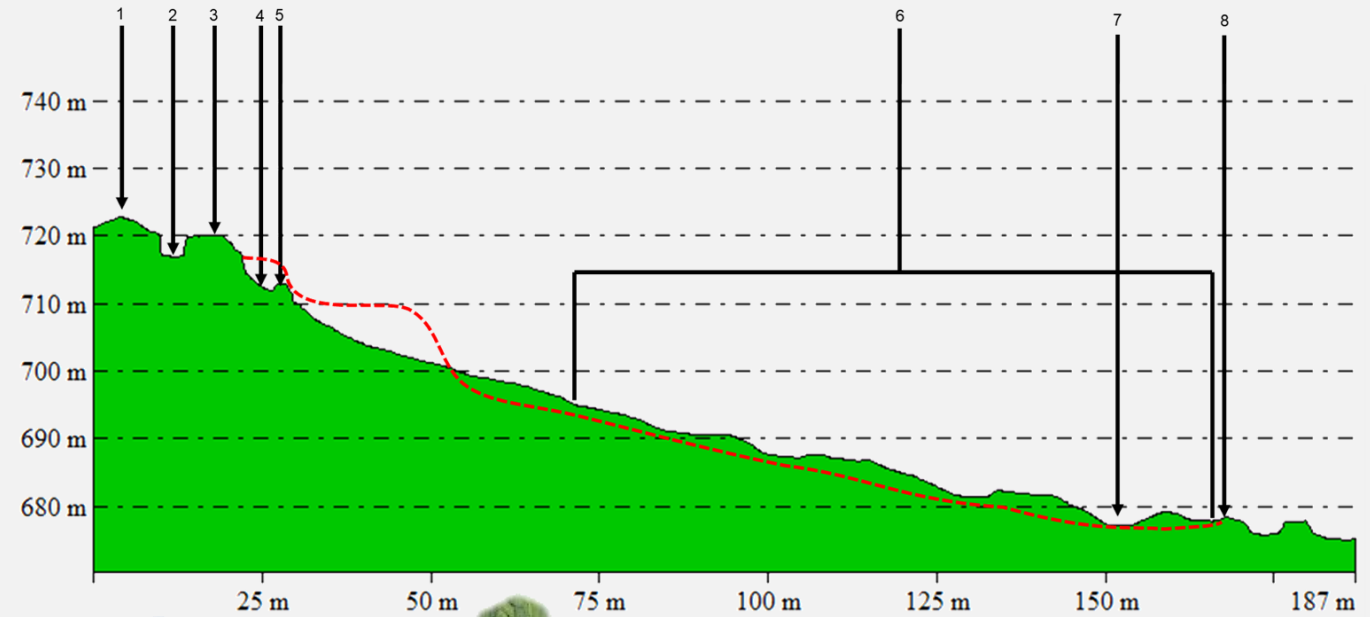


landfill

Surface Condition

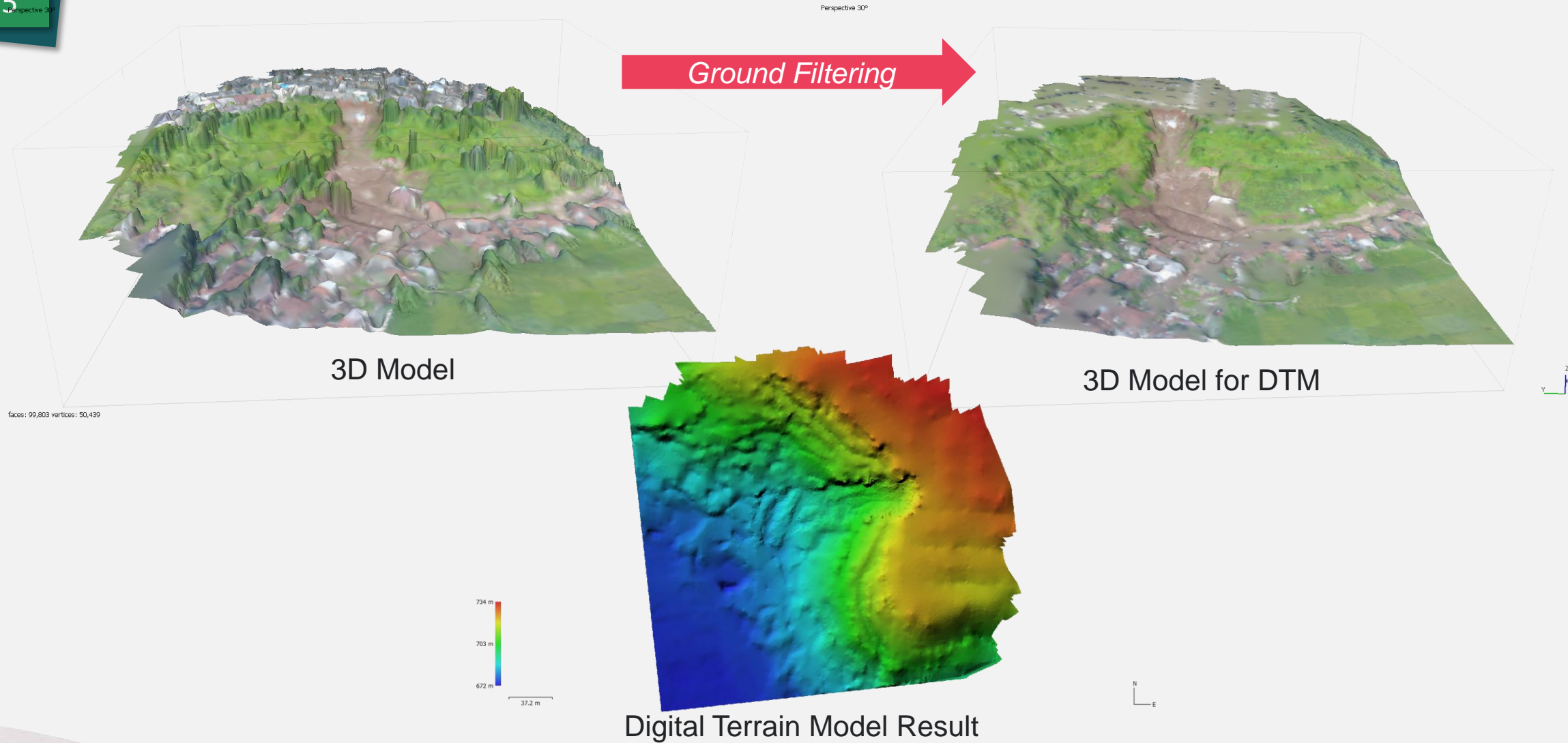


- 1. House
- 2. Fractured road
- 3. House affected by fourth landslide
- 4. Last landslide scarp
- 5. Additional landslide material
- 6. Settlements affected by landslides
- 7. New road to clear landslide material
- 8. Landslide toe
- Surface before landslides



Surface Condition

35



Subsurface Condition

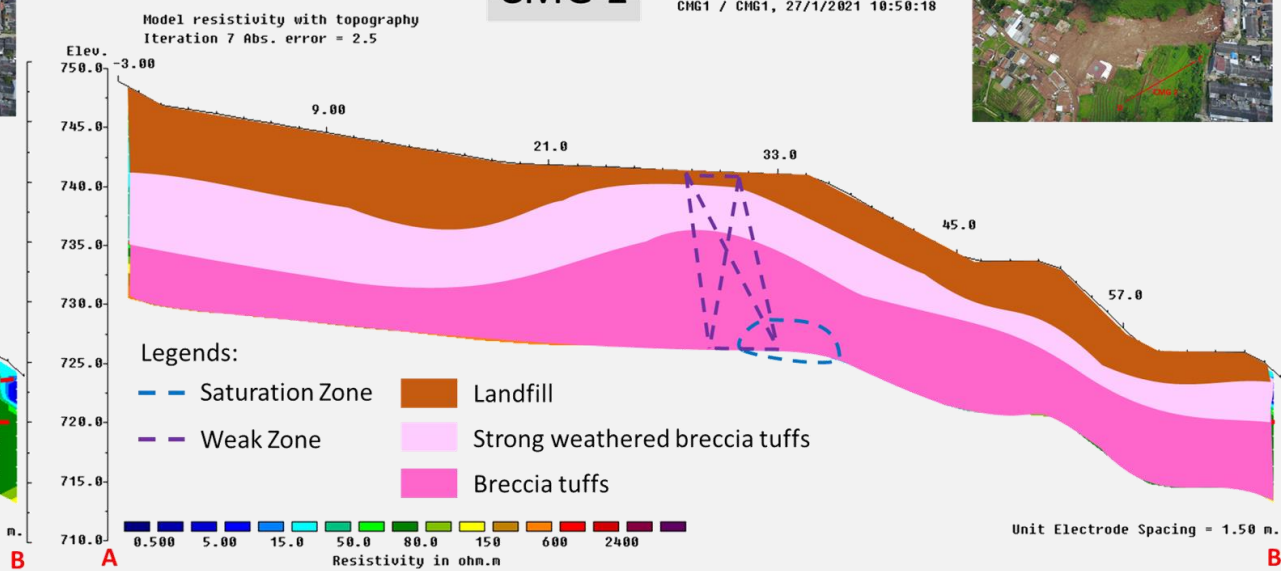
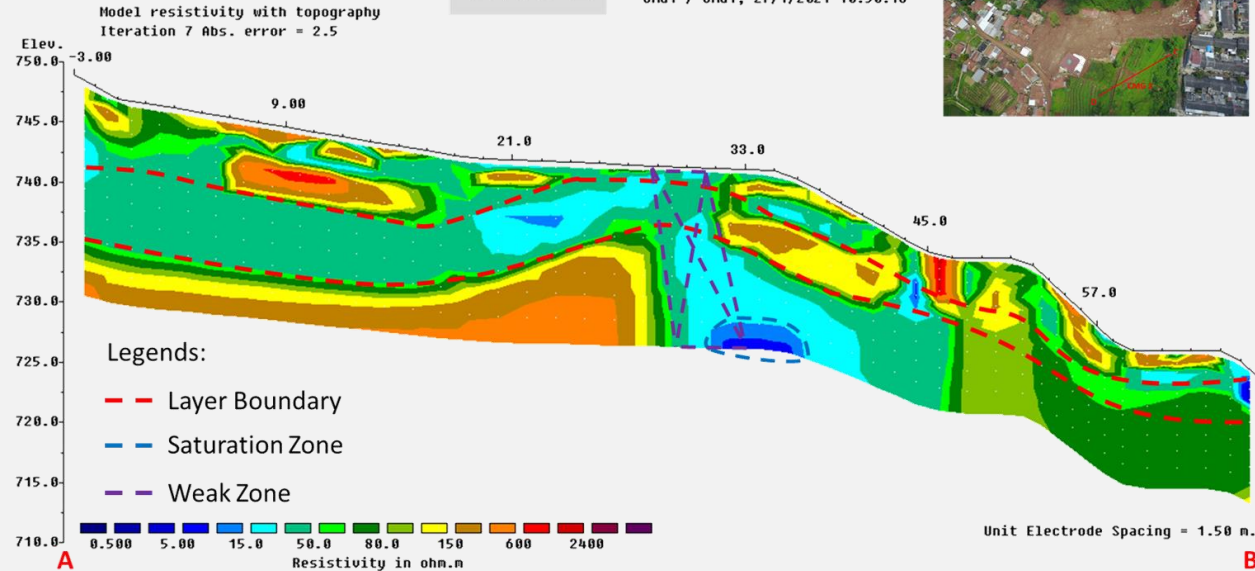
CMG 1

CMG1 / CMG1, 27/1/2021 10:50:18



CMG 1

CMG1 / CMG1, 27/1/2021 10:50:18



Horizontal scale is 27.34 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.62
First electrode is located at -3.0 m.
Last electrode is located at 67.5 m.

Horizontal scale is 27.34 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.62
First electrode is located at -3.0 m.
Last electrode is located at 67.5 m.



Subsurface Condition

37



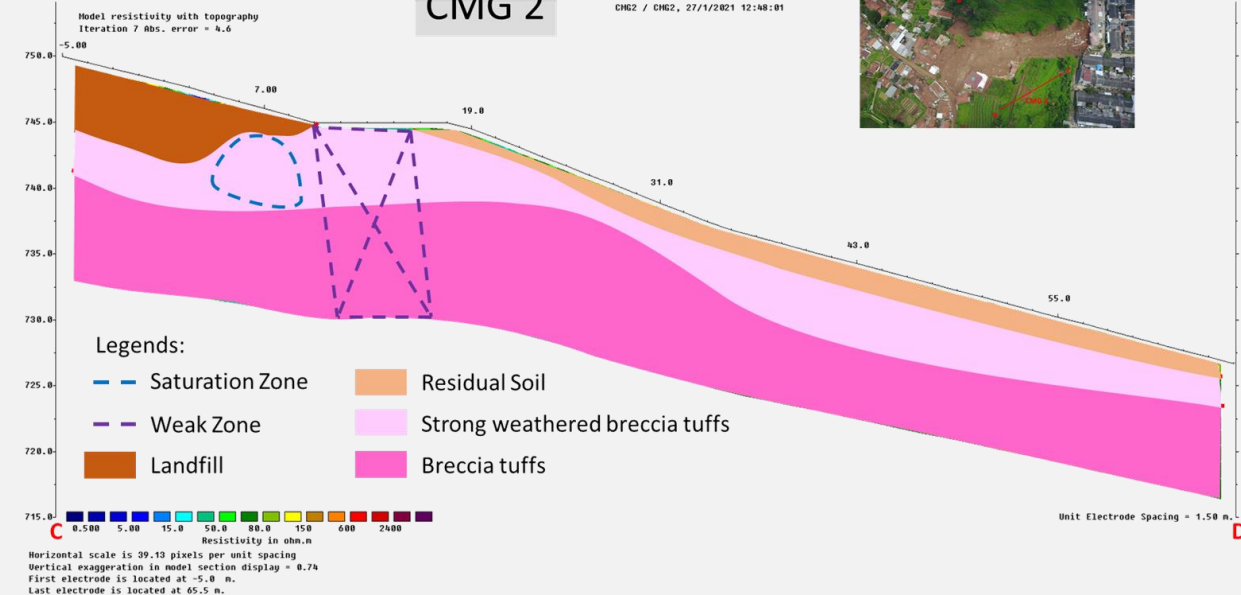
CMG 2

CMG2 / CMG2, 27/1/2021 12:48:01

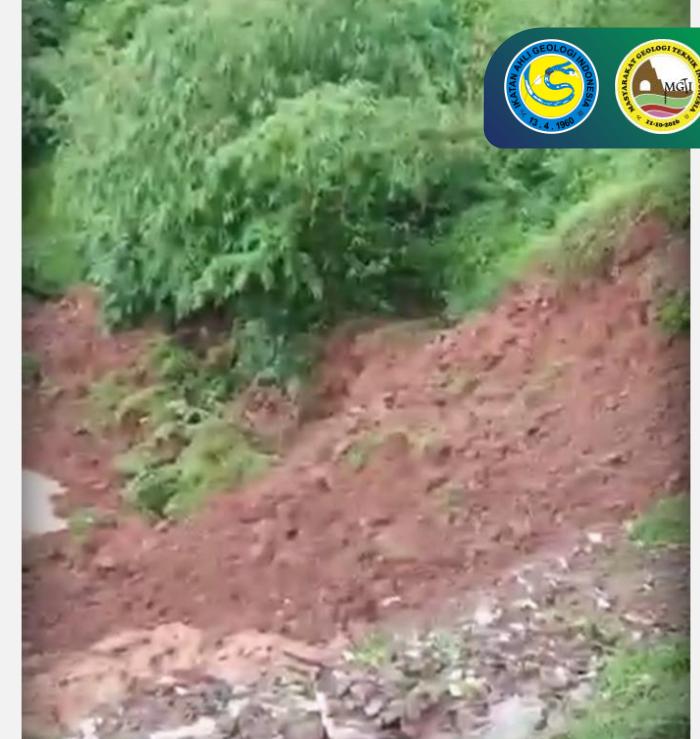


CMG 2

CMG2 / CMG2, 27/1/2021 12:48:01

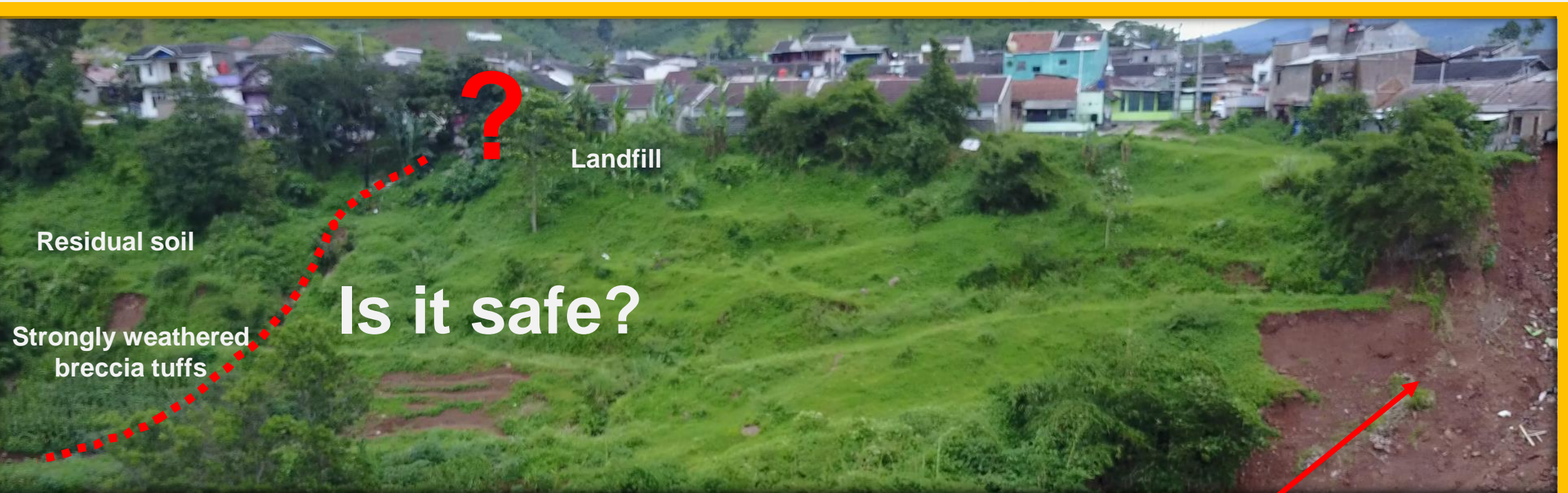


Run-out Distribution Model



	Unit	Value
Grid	m x m	3 x 3
Volume	m ³	5,369
Maximum Flowtrack	Km/h	17.3
Viscosity	-	0.75
Average Debris Depth	m	2.5-3.5

Concluding Remark



Complex landslide showing a **change from slide to flow mechanism of debris** with viscosity 0.75 and maximum flowtrack 17.3 km/h.

Terima Kasih

