

# PEMETAAN KERENTANAN GERAKAN TANAH DAN PEMODELAN DEBRIS FLOW



SUMARYONO

**PUSAT VULKANOLOGI DAN MITIGASI BENCANA GEOLOGI**  
**BADAN GEOLOGI**  
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral



[www.geologi.esdm.go.id](http://www.geologi.esdm.go.id)



[@kabargeologi](https://twitter.com/kabargeologi)



Badan Geologi



Badan Geologi

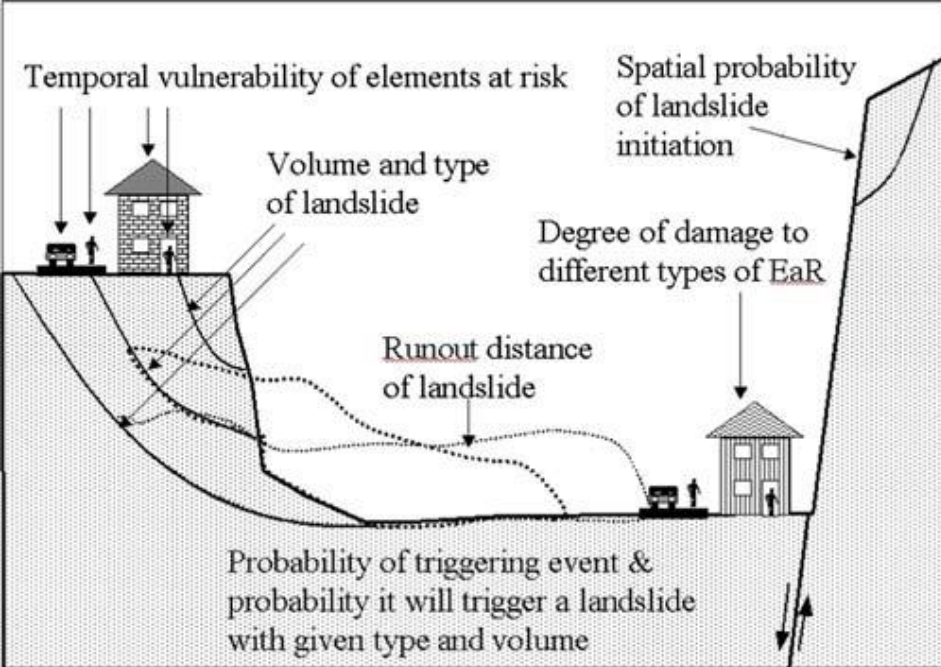


[@kabargeologi](https://www.instagram.com/kabargeologi)

# POKOK BAHASAN

1. Latar Belakang
2. Prinsip Dasar Pemetaan Kerentanan Gerakan Tanah
3. Metode Pemetaan Gerakan Tanah
4. Workflow Analisa Kerentanan Gerakan Tanah Statistik
5. Contoh Peta Gerakan Tanah Methoda Statistik dan Deterministik
6. Contoh Pemodelan Debris Flow
7. Kesimpulan



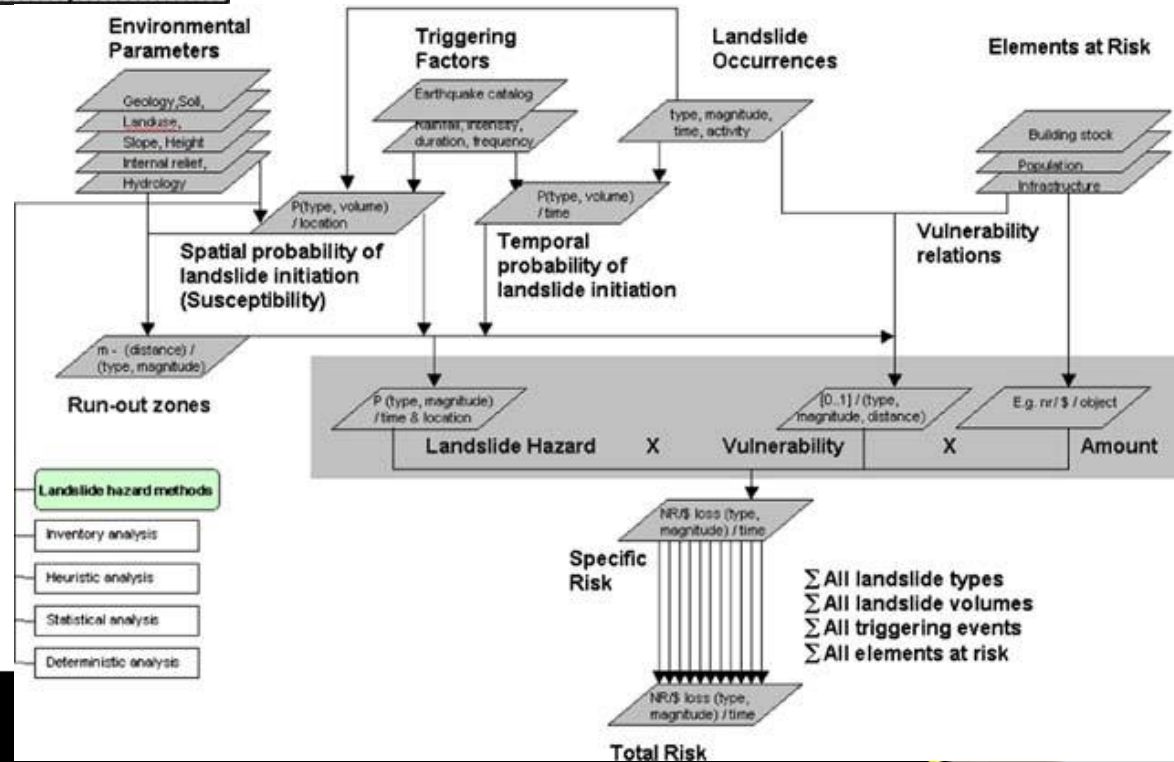


C.J. van Westen  
T.W.J. van Asch  
R. Soeters

## Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult?

### Difficulties related to landslide inventory mapping

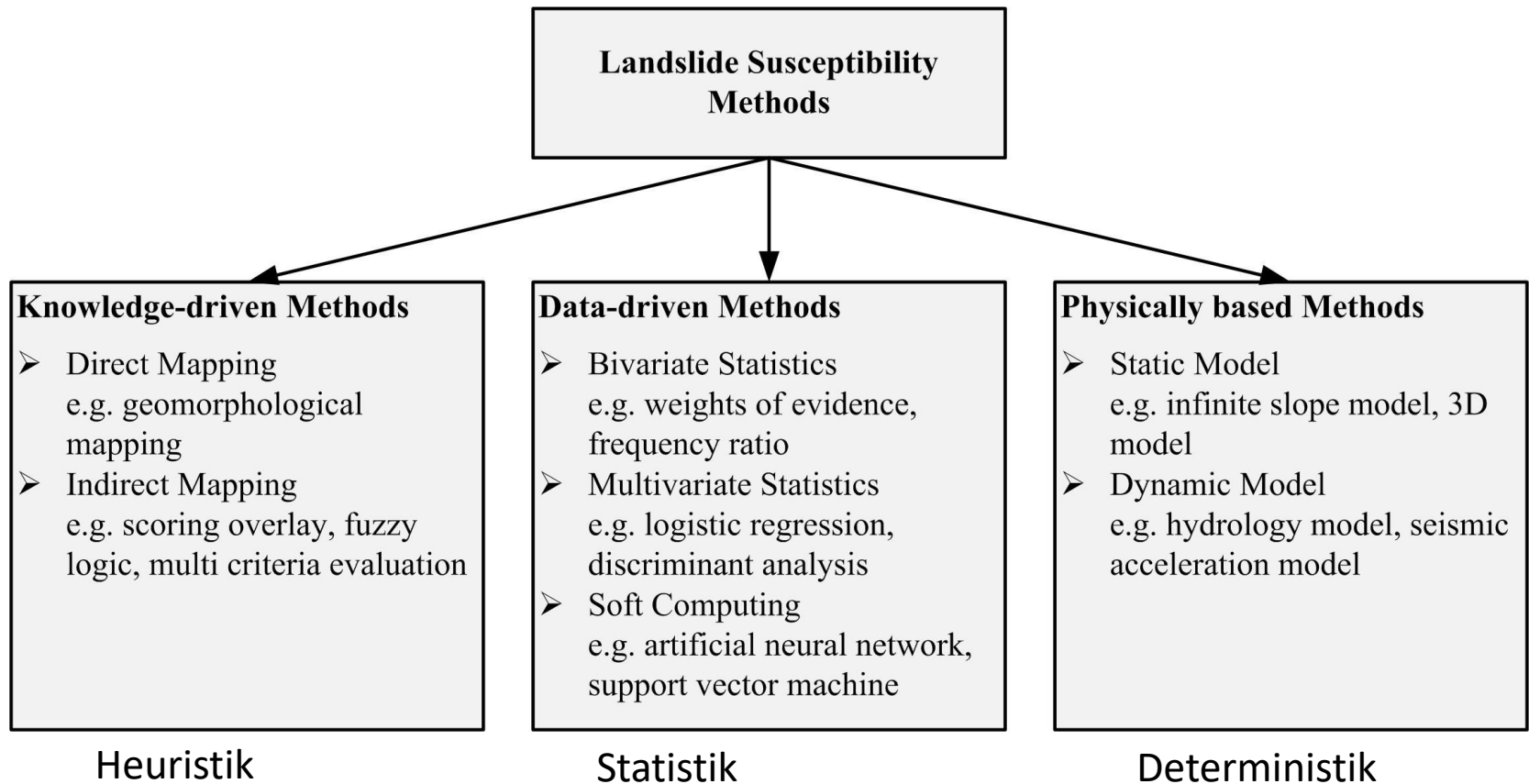
Landslides are generally isolated processes which individually may not be very large in size but which can occur with a high frequency in a region. Unlike hazardous events that affect large areas, such as earthquakes or flooding, the generation of landslide inventory maps and databases is a tedious procedure. Landslides have to be mapped and described one by one, and each one might have different characteristics. In most countries there is no single agency that has the responsibility for maintaining a landslide database. At



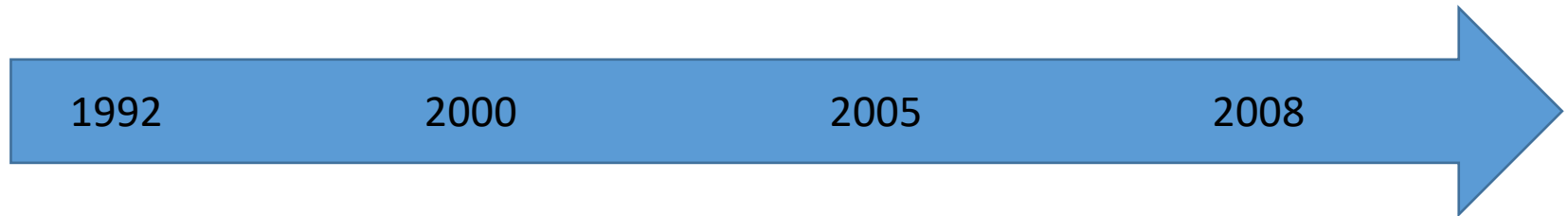
Material	ROCK	DEBRIS	EARTH
<b>FALLS</b>	<p>Scar Rock fall Rock fall of debris</p>	<p>Scar Debris fall Scree Debris cone</p>	<p>Scar Earth fall Colluvium Debris cone</p>
<b>TOPPLES</b>	<p>Rock topple</p>	<p>Debris topple Debris cone</p>	<p>Cracks Earth topple Debris cone</p>
<b>SLIDES</b>	<p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	<p>Crown Head Scarp Multiple rotational slide Minor Scarp Failure surface</p>	<p>Successive rotational slides</p>
	<p>Rock slide</p>	<p>Debris slide</p>	<p>Earth slide</p>
<b>SPREADS</b>	<p>Cap rock Normal sub-horizontal structure Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge structure (planed off by erosion) Clay shale Thinning of beds Plane of décollement Competent substratum</p>	<p>e.g. cambering and valley bulging</p>	<p>Earth spread</p>
<b>FLOWS</b>	<p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	<p>Debris flow</p>	<p>Earth flow (mud flow)</p>
<b>COMPLEX</b>	<p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>	<p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>	



# Metode Pemetaan Longsor



# Perkembangan Methode Pemetaan Gerakan Tanah Skala Menengah



Pembobotan  
Anbalagain,

AHP  
Barredo

Statistik Bivariate  
Multivariate  
WoE, Frequeancy Ratio  
LR  
Lee & Talib

Machine  
Learning  
Random Forest,  
SVM  
Yao, dkk



# Gerakan Tanah/Tanah longsor

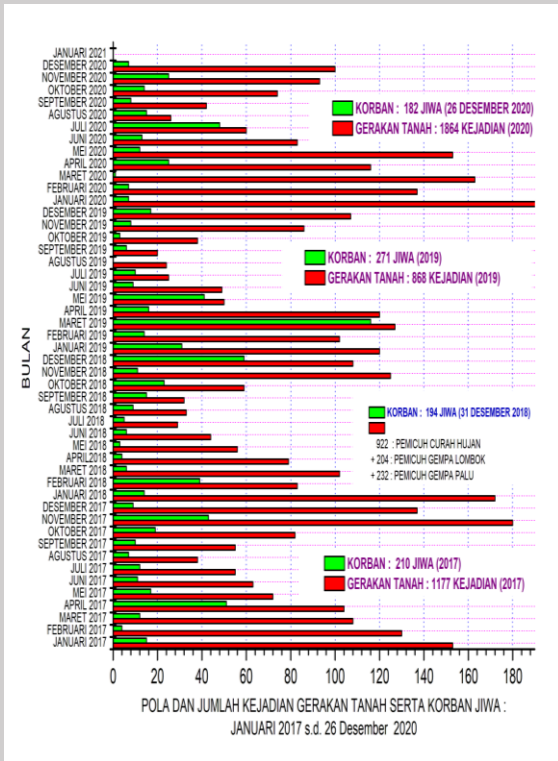
Didefinisikan secara sederhana sebagai pergerakan masa batuan, *debris* atau tanah menuju bagian bawah lereng (Cruden, 1991 dalam Cornforth, 2004).

Gerakan Tanah adalah perpindahan bahan pembentuk lereng (Tanah, Batuan, bahan timbunan atau campuran diantaranya) bergerak ke bawah dan keluar lereng (Cruden and Varnes 1996)



# KARAKTERISTIK BENCANA GERAKAN TANAH

## Ancaman Gerakan Tanah



### TREND KEJADIAN GERAKAN TANAH

Kejadian Gerakan Tanah **semakin meningkat** pada **Zona Kerentanan Gerakan Tanah Menengah - Tinggi**

### FAKTOR PENGONTROL

Geologi (batuan/tanah, Struktur Geologi), morfologi/kelerengan, hidrologi, Penggunaan lahan, manusia (antropogenik)

### FAKTOR PEMICU

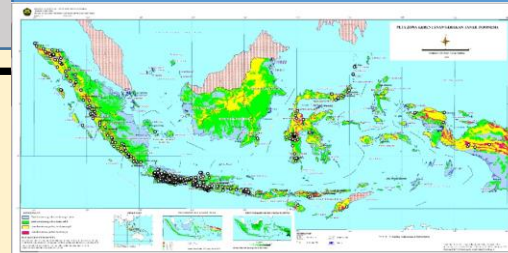
Curah hujan, Gempabumi, Aktivitas Manusia

### KARAKTERISTIK

a. Sangat lokal, b. Tiap jenis gerakan tanah penanggulangannya berbeda, c. Bisa terjadi dimana saja, d. Menimbulkan kerugian dan korban, e. Kemungkinan relokasi sebagai alternatif terakhir

Miss Managemen  
Penggunaan Lahan

Pentingnya Kolaborasi  
dalam penanganan  
bencana dan  
identifikasi bahaya





## 2. PRINSIP DASAR PEMETAAN KERENTANAN GERAKAN TANAH (Varnes, 1984)

- Masa lalu dan sekarang adalah kunci masa depan. Dimasa mendatang gerakan tanah akan terjadi pada kondisi geologi, geomorfologi dan kondisi hidrologi yang sama dengan kejadian gerakan tanah pada masa sekarang dan masa lalu.
- Faktor pengontrol dan pemicu dapat diidentifikasi; seperti kondisi topografi, kondisi geologi, efek muka air tanah, mekanisme gerakan tanah dan faktor pemicunya .
- Derajat bencana/ kerentanan dapat di estimasi berdasarkan faktor pengontrol/pemicu gerakan tanah, dan dicerminkan dalam sebuah peta baik secara kualitatif maupun kuantitatif



### 3. METODE PEMETAAN

Sumber: Van Western, 1997; Glade and Croizer, 2005 dan Cascini, 2008

SNI 8291 2016

"PENYUSUNAN DAN PENENTUAN ZONA  
KERENTANAN GERAKAN TANAH

Metode  
Pemetaan  
Kerentanan  
Gerakan  
Tanah

Kualitatif/  
Heuristik

Geomorfologi  
Analisis

Kombinasi  
kualitatif

EXPERT  
KNOWLEDGE,  
EXPERIENCE,  
JUDGMENT

Kuantitatif

Statistik/  
Probabilistik  
Analisis

Bivariate

Multivariate

Analisis  
Geoteknik

Deterministik

Yang  
dilakukan  
di PVMBG

Tujuannya  
Apa dan biasanya  
untuk konstruksi  
penting dan  
skala detil



“PENYUSUNAN DAN PENENTUAN ZONA KERENTANAN GERAKAN TANAH

Tabel 2 - Kebutuhan data tiap metode penyusunan dan penentuan zona kerentanan gerakan tanah

Data	Parameter	Metode		
		Heuristik	Statistik	Deterministik
Digital Elevation Model	Kemiringan lereng	wajib	wajib	wajib
Geologi	Jenis batuan	wajib	wajib	wajib
	Ketebalan tanah pelapukan	*	*	wajib
	Struktur geologi (kekar, sesar)	*	wajib	wajib
	Sifat geoteknik (Ukuran butir, kohesi, sudut friksi, densitas)	*	pilihan	wajib
Hidrologi	Kedalaman muka air tanah	*	*	Wajib
Tata guna lahan	Peta tata guna lahan	wajib	wajib	*
Distribusi gerakan tanah	Lokasi dan/atau luasan gerakan tanah	*	wajib	*
	Tipe gerakan tanah	*	*	wajib
Kegempaan	Nilai <i>Peak Ground Acceleration</i> (PGA)	*	pilihan	pilihan
Curah hujan	Intensitas Curah Hujan	*	pilihan	Pilihan

**CATATAN 1** Masing-masing metode harus dilakukan verifikasi/validasi baik dengan menggunakan data kejadian gerakan tanah ataupun dengan pengecekan kondisi di lapangan.

**CATATAN 2** (\*) tidak diperlukan.

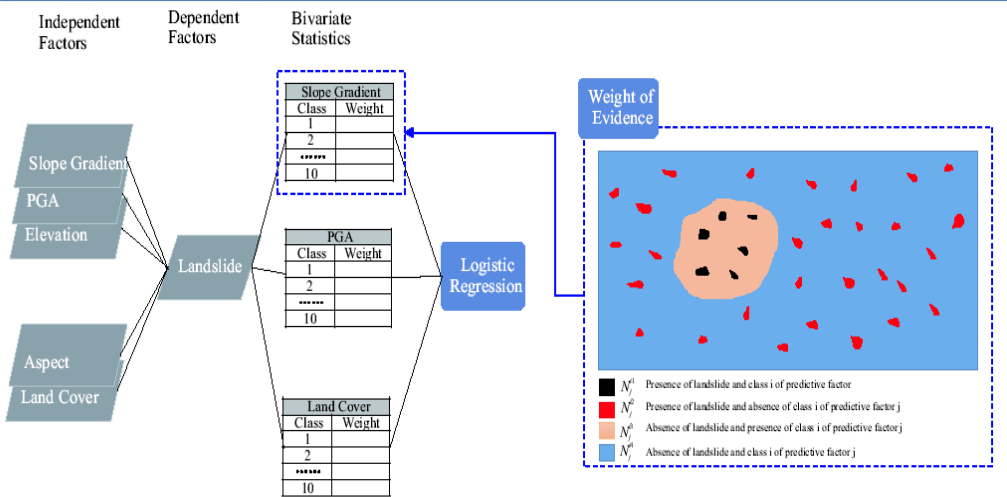
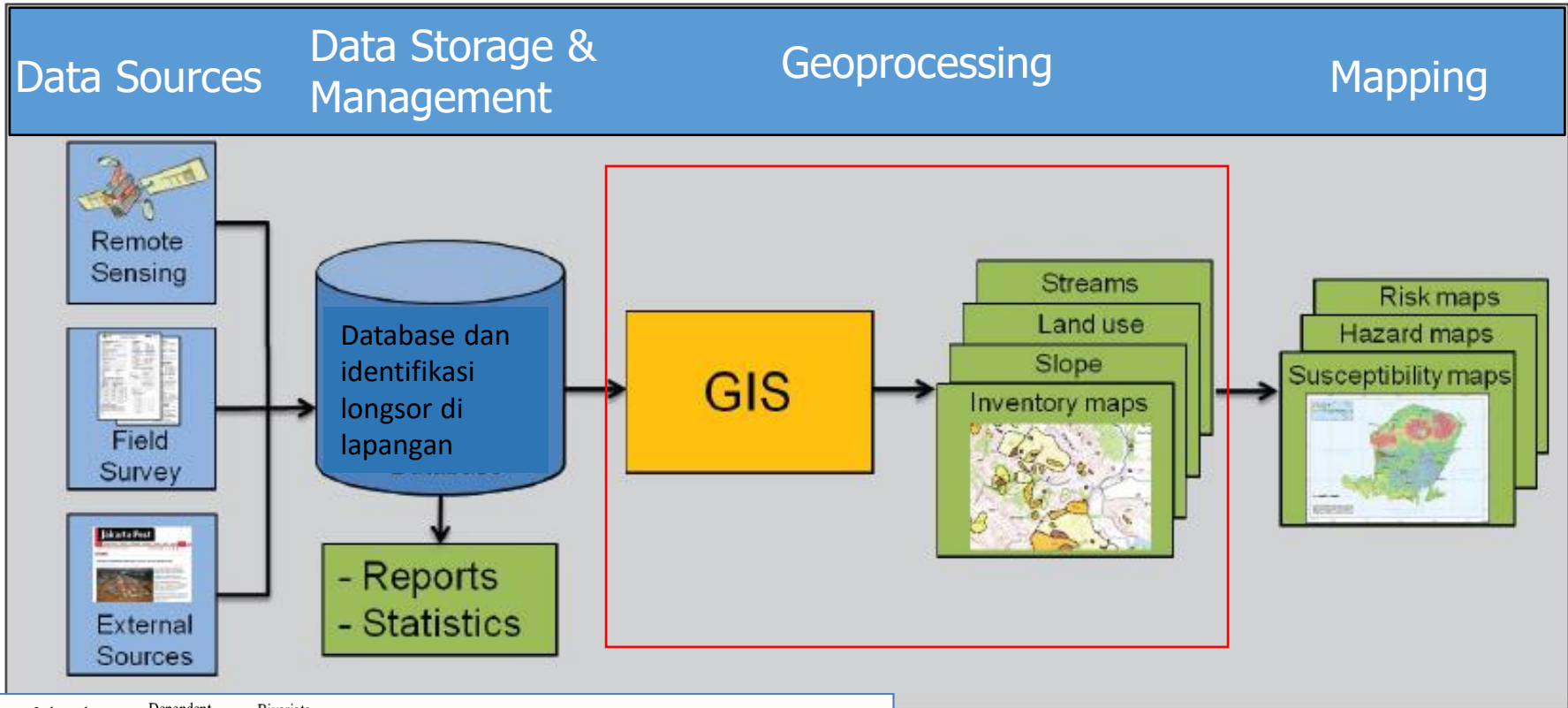
Sumber: Van Western, 1997; Glade and Croizer, 2005 dan Cascini, 2008

Metoda	Prosedure	Input		
		Geomorfologi, Topografi, Geologi Foto Udara, Data Kejadian	+ Data satelit, Faktor Pemicu, geologi, hidrologi, dll	+ parameter geoteknik
Basic	Heuristik			
Intermediate	Statistik			
Sophisticated	Deterministik			

Deskripsi skala	Skala	Metode Zonasi			Tujuan
		Heuristik/ Basic	Statistik/ Intermediate	Deterministik/ Sophisticated	
Kecil	< 1 : 100.000	*			Zonasi Regional Informasi
Medium	1 : 100.000 – 1 : 25.000	*	(*)		Zonasi Regional
Besar	1 : 25.000 – 1 : 5.000	*	*	*	Zonasi lokal
Detil	> 1 : 5.000	X	(*)	*	Zonasi spesifik Faktor Keamanan Lreng



# 4. WORKFLOW ANALISIS GERAKAN TANAH METODE STATISTIK



Ilustrasi perhitungan kelas pembobotan menggunakan metode WoE dan faktor pembobotan menggunakan metode LR (Zhou, dkk., 2016)



# Methoda Pemetaan Gerakan Tanah Statistik WoE

Metode statistik memiliki penilaian kerawanan gerakan tanah yang menjadi 2 faktor yaitu multivariat dan bivariat. Multivariat berasumsikan bahwa faktor yang mempengaruhi gerakan tanah saling terkait antara satu sama lain, sedangkan Bivariat berasumsikan bahwa faktor yang mempengaruhi gerakan tanah tidak terkait (Suzen dan Doyuran, 2004). Metode WoE menggunakan pembobotan data dengan penggabungan baik jenis, kualitas maupun perhitungan tiap data (Chung dan Fabbri, 2003). Formulasi WoE adalah sebagai berikut (Bonham-Carter 1994):

$$W^+ = \ln \left[ \frac{P\{N_j|S\}}{P\{N_j|\bar{S}\}} \right] = \ln \left( \frac{\frac{P(N_j \cap S)}{P(S)}}{\frac{P(N_j \cap \bar{S})}{P(\bar{S})}} \right) = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix \text{ landslide in class}}}{N_{pix \text{ total landslide area}}}}{\frac{N_{pix \text{ stable area in class}}}{N_{pix \text{ total stable area}}}} \right) \dots (1)$$

$$W^- = \ln \left[ \frac{P\{\bar{N}_j|S\}}{P\{\bar{N}_j|\bar{S}\}} \right] = \ln \left( \frac{\frac{P(\bar{N}_j \cap S)}{P(S)}}{\frac{P(\bar{N}_j \cap \bar{S})}{P(\bar{S})}} \right) = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix \text{ landslide outside class}}}{N_{pix \text{ total landslide area}}}}{\frac{N_{pix \text{ stable area outside class}}}{N_{pix \text{ total stable area}}}} \right) \dots (2)$$

$W^+$  : bobot kebolehjadian gerakan tanah disuatu kelas geofaktor (bobot positif).

$W^-$ : bobot ketidakboleh-jadian gerakan tanah disuatu kelas geofaktor (bobot negative)

$N_j$  : jumlah piksel pada kelas parameter

$S$  : jumlah total piksel yang mengandung gerakan tanah pada keseluruhan area.

$P$  : nilai probabilitas.

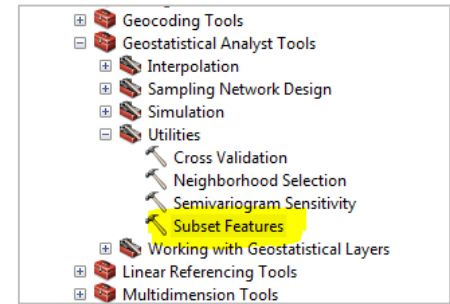


# METODE: BIVARIATE STATISTICAL (WEIGHT OF EVIDENCES)

- Berdasarkan pada teori Bayes (scientifically approved)
- Konsepnya adalah kejadian masa lalu digunakan untuk memprediksikan kejadian yang akan datang.
- Faktor Pengontrol : Tata guna lahan, lithologi, kelerengan, curvature, kelurusan
- Membutuhkan data historis kejadian gerakan tanah-

70% data kejadian gerakan tanah untuk **Success rate** (training data)

30% data kejadian gerakan tanah untuk **Prediction rate** (test data)



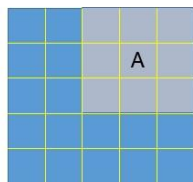
## WEIGHT OF EVIDENCES (WOE)

$$W^+ = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix \text{ landslide in class}}}{N_{pix \text{ total landslide area}}}}{\frac{N_{pix \text{ stable area in class}}}{N_{pix \text{ total stable area}}}} \right) \quad W^- = \ln \left( \frac{\frac{N_{pix \text{ landslide outside class}}}{N_{pix \text{ total landslide area}}}}{\frac{N_{pix \text{ stable area outside class}}}{N_{pix \text{ total stable area}}}} \right)$$

➤  $W^+$  merepresentasikan bobot keboleh-jaadian gerakan tanah di class  $N_j$

➤  $W^-$  Merepresentasikan bobot ketidakboleh-jaadian gerakan tanah di class  $N_j$

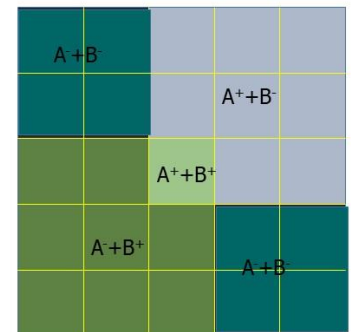
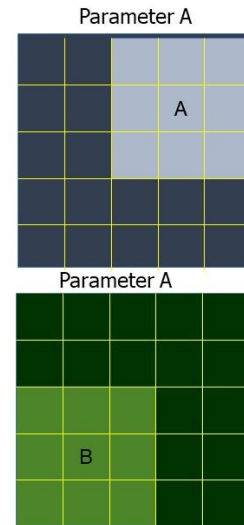
A adalah Pixel Landslide sedangkan warna adalah class



Maka,



Penggabungan 2 Parameter



Penjumlahan bobot tiap cell



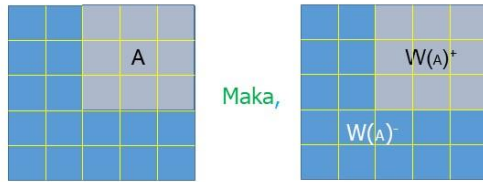
# WEIGHT OF EVIDENCES (WOE)

$$W^+ = \ln \left( \frac{N_{pix \text{ landslide in class } N_j}}{N_{pix \text{ total landslide area}}} \cdot \frac{N_{pix \text{ total stable area}}}{N_{pix \text{ stable area in class } N_j}} \right)$$

$$W^- = \ln \left( \frac{N_{pix \text{ landslide outside class } N_j}}{N_{pix \text{ total landslide area}}} \cdot \frac{N_{pix \text{ total stable area}}}{N_{pix \text{ stable area outside class } N_j}} \right)$$

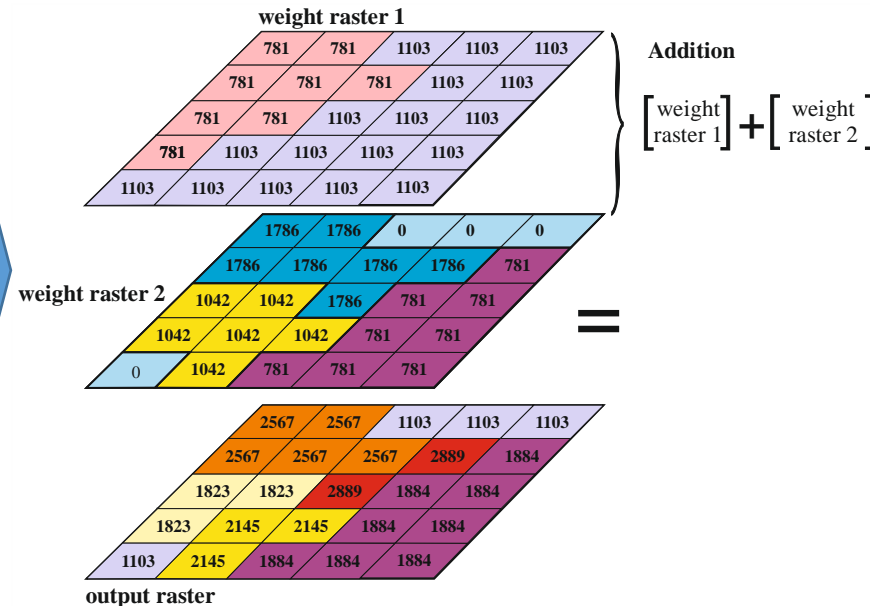
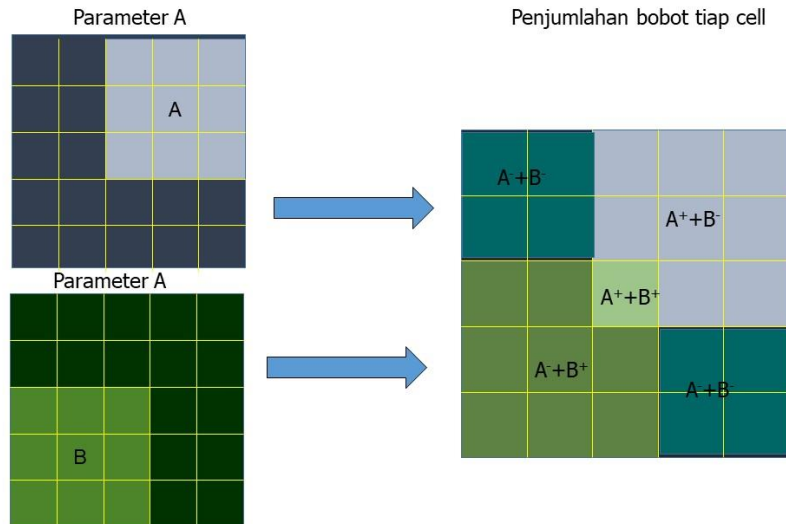
- $W^+$  merepresentasikan bobot keboleh-jadian gerakan tanah di class  $N_j$
- $W^-$  Merepresentasikan bobot ketidakboleh-jadian gerakan tanah di class  $N_j$

A adalah Pixel Landslide sedangkan warna adalah class



Maka,

Penggabungan 2 Parameter



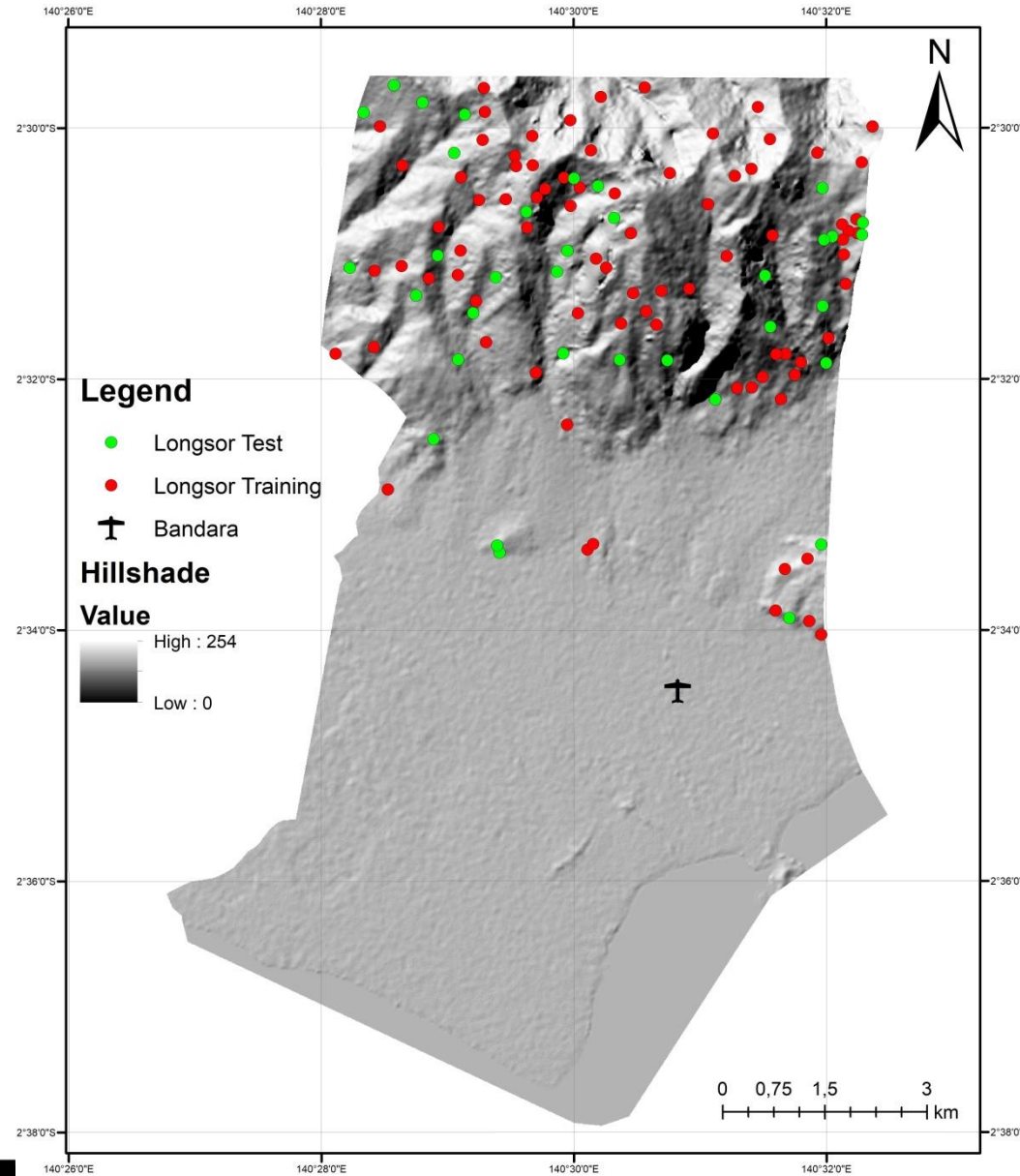


# 5. Contoh Peta Kerentanan Gerakan Tanah Methoda Statistik

## WoE

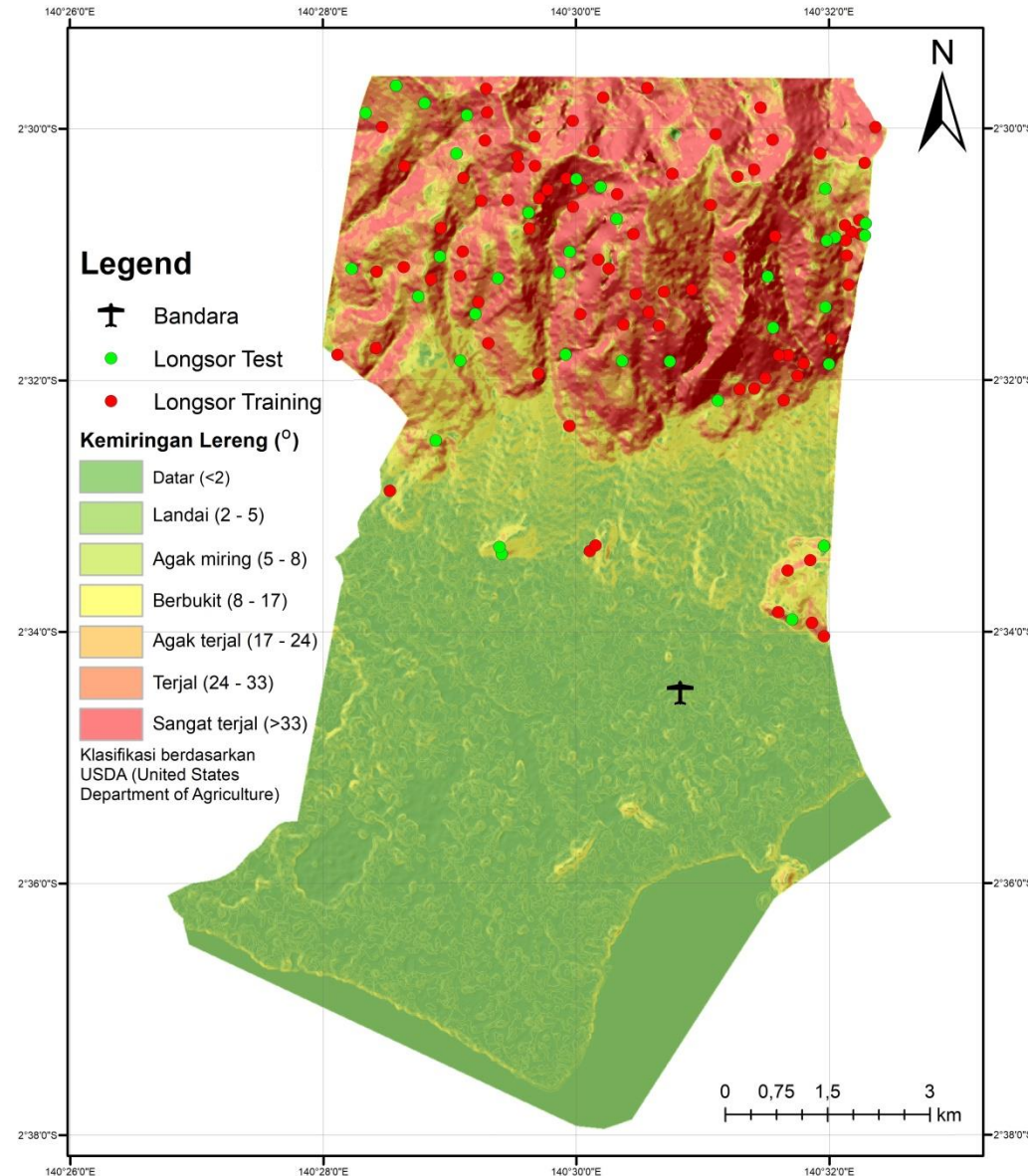
### INVENTARISASI KEJADIAN GERAKAN TANAH

- Kejadian gerakan tanah merupakan data utama yang diperlukan dalam analisis peta kerentanan gerakan tanah.
- Terdapat **116 kejadian gerakan tanah**, 81 kejadian (70%) digunakan untuk penyusunan model dan sebanyak 35 kejadian (30%) untuk pengujian model.



# 1. Kemiringan Lereng

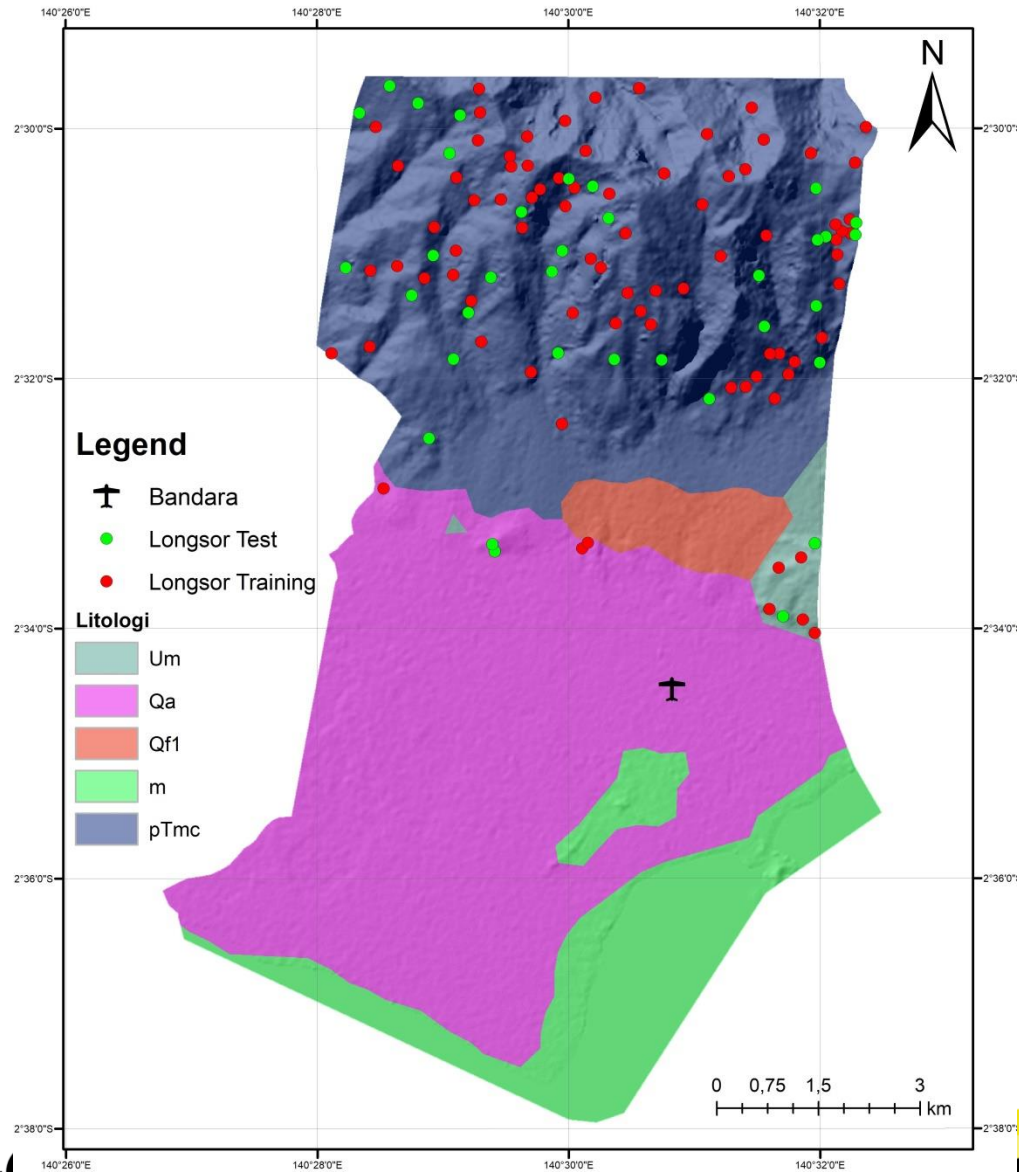
- Kemiringan lereng mengendalikan gaya geser yang bekerja di lereng bukit. Lereng yang datar memiliki frekuensi gerakan tanah yang rendah karena tegangan geser yang lebih kecil.
- Parameter kemiringan lereng merupakan turunan dari Digital Elevation Model (DEM) of TerraSAR X.
- Parameter kemiringan lereng diklasifikasikan menjadi 7 kelas.
- Berdasarkan hasil analisis gerakan tanah paling banyak terjadi pada kelas **kemiringan lereng sangat terjal**.



# 3. Litologi

- Litologi berperan penting dalam kejadian gerakan tanah, karena memiliki karakteristik yang berbeda, seperti kekompakan, komposisi, dan struktur, yang menghasilkan resistensi yang berbeda-beda terhadap gerakan tanah
- Litologi yang digunakan bersumber dari **peta geologi** skala 1:50.000 oleh **Pusat Survei Geologi**.
- Gerakan tanah paling banyak terjadi pada jenis batuan **Grup batuan metamorf Cycloops → pTmc**

73

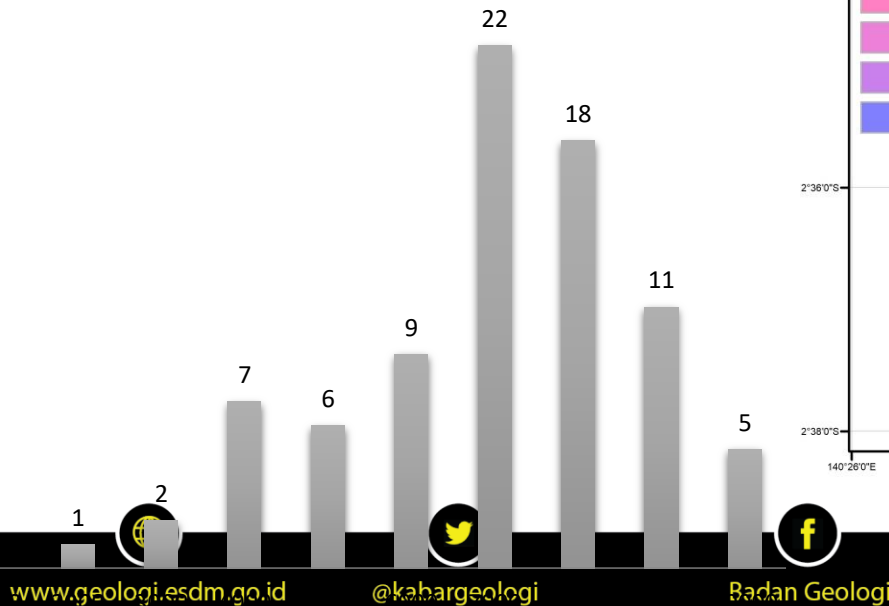
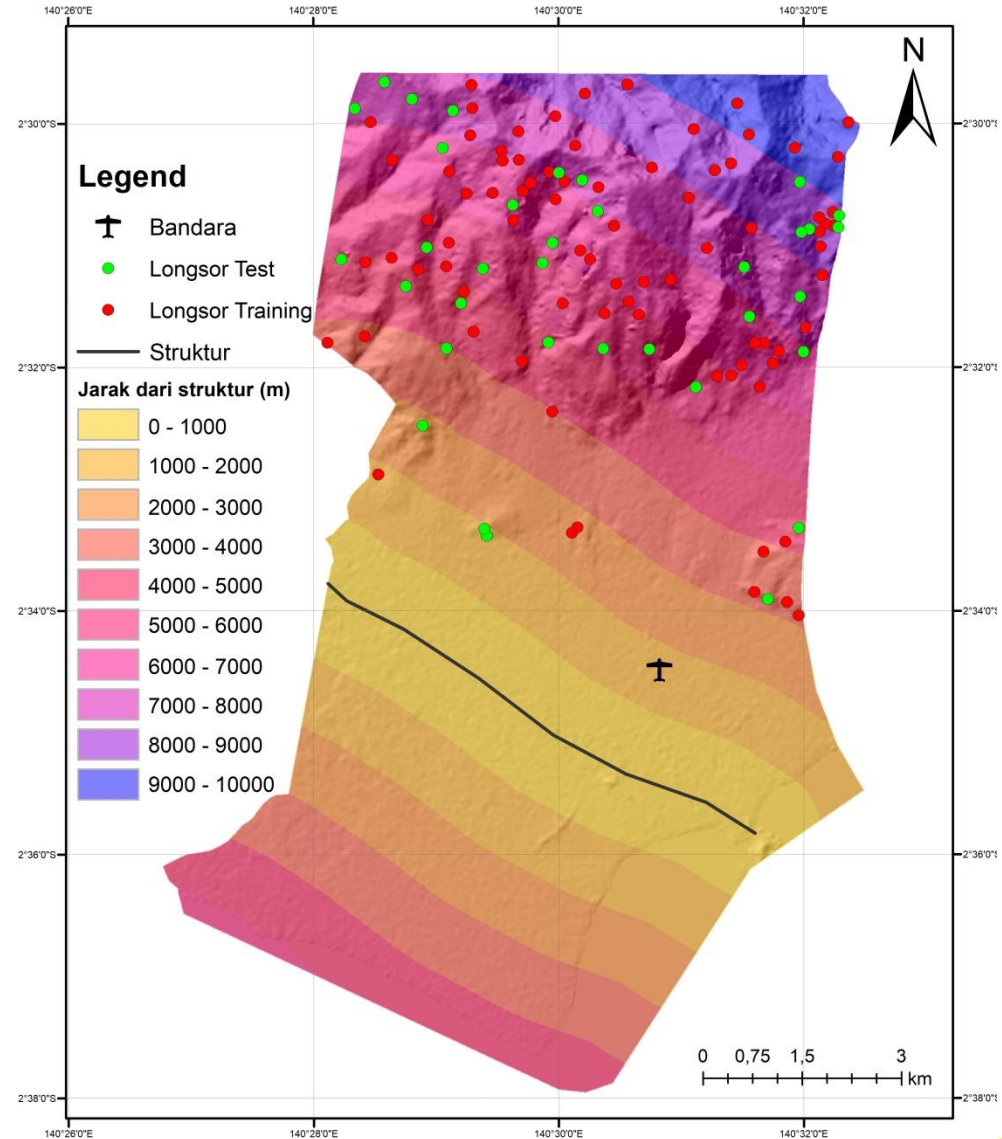


3

0

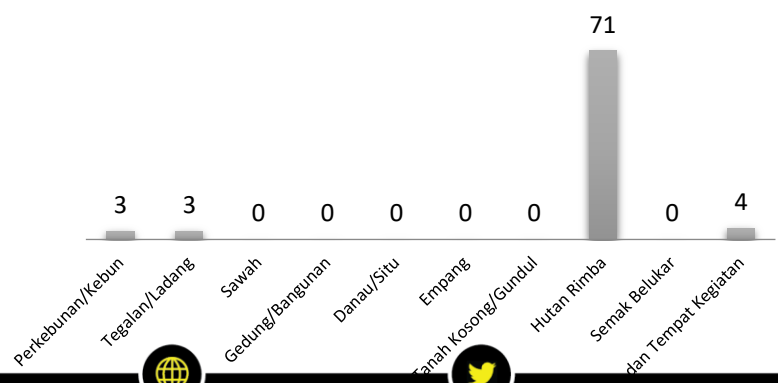
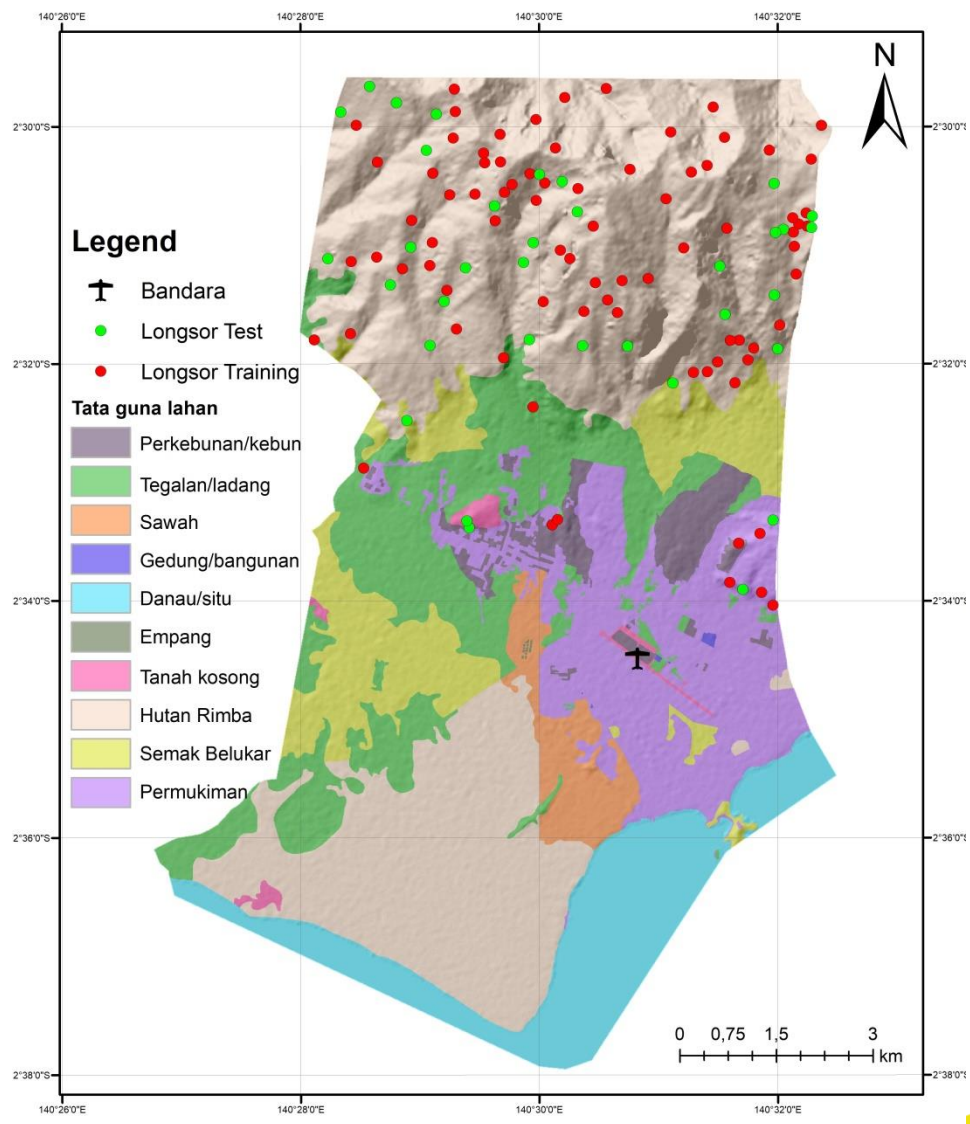
# 4. Jarak dari Struktur

- Kedekatan jarak dari struktur ikut berperan dalam mempengaruhi kestabilan lereng.
- Struktur yang digunakan bersumber dari **peta geologi** skala 1:50.000 oleh **Pusat Survei Geologi**.
- Gerakan tanah paling banyak terjadi pada jarak **7000 - 9000 m** dari struktur.



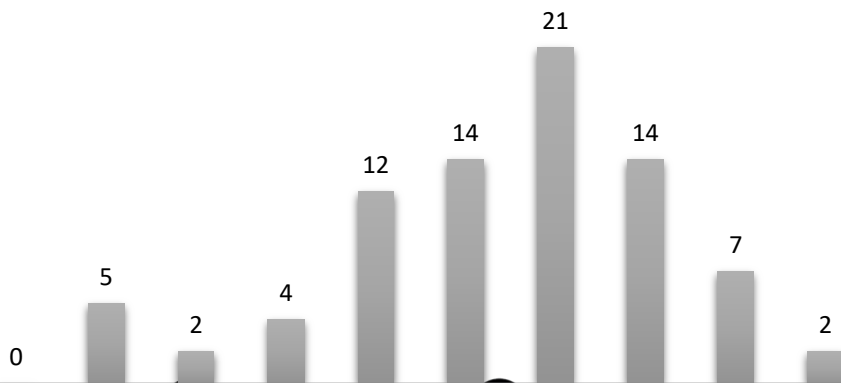
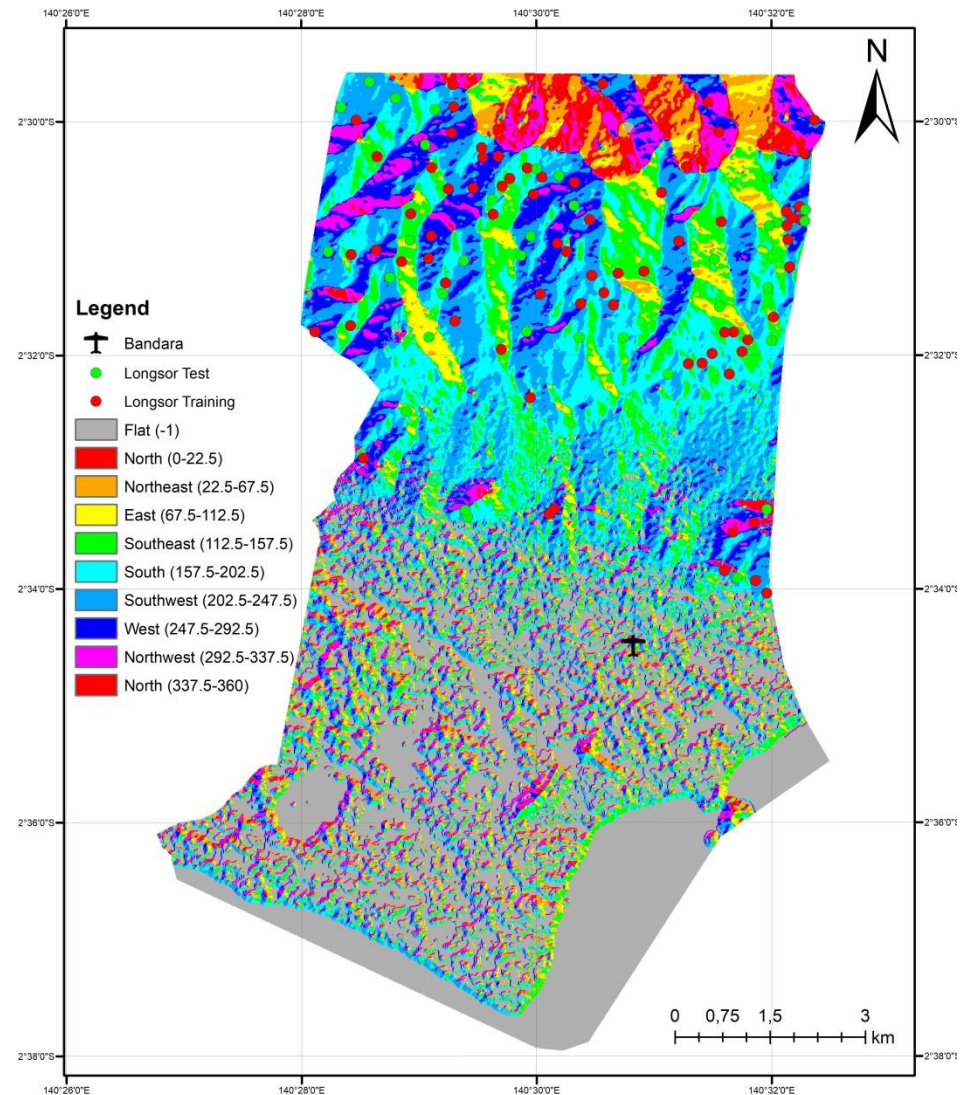
# 5. Tata Guna Lahan

- Variasi tutupan vegetasi permukaan di suatu daerah merupakan faktor dominan yang secara serius mempengaruhi gerakan tanah. Vegetasi meningkatkan kekuatan tanah, sementara permukaan tanah dengan kurangnya tutupan vegetasi lebih rentan terhadap gerakan tanah.
- Berdasarkan data yang diperoleh dari **Badan Informasi Geospasial (2020)**.
- Gerakan tanah paling banyak terjadi **Hutan rimba**.



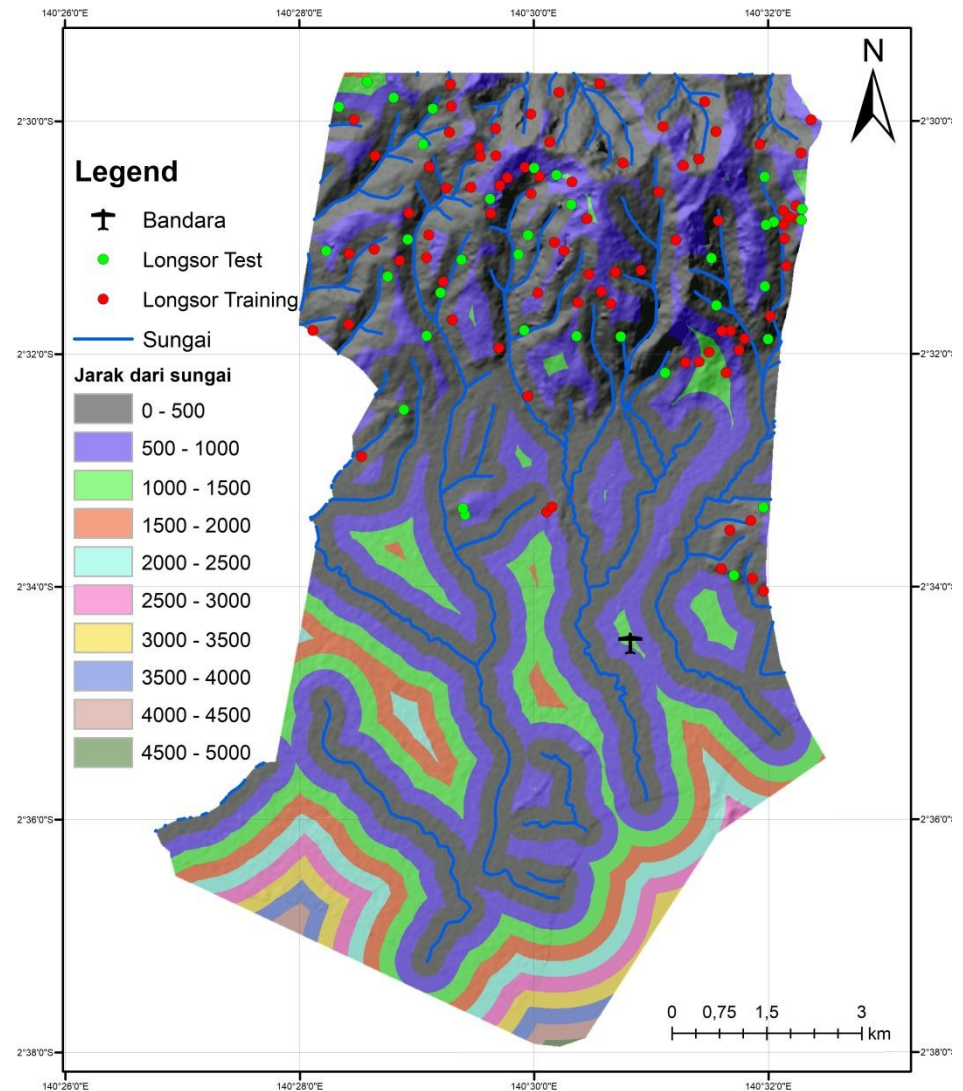
# 6. Arah Lereng

- Arah lereng dipengaruhi oleh **paparan sinar matahari dan angin kering yang** mengontrol kelembaban tanah.
- Kemiringan dan arah lereng dapat mempengaruhi pola vegetasi, hal ini dapat mempengaruhi kekuatan tanah dan membuatnya rentan terhadap gerakan tanah.
- Parameter arah lereng merupakan turunan dari Digital Elevation Model (**DEM of TerraSAR X**).
- Gerakan tanah yang paling banyak terjadi terdapat pada **arah barat daya**.



# 7. Jarak dari Sungai

- Kedekatan jarak dari sungai ikut berperan dalam mempengaruhi kestabilan lereng karena **adanya erosi lateral oleh air**.
- Berdasarkan data yang diperoleh dari **Badan Informasi Geospasial (2020)**.
- Jarak sungai dari lokasi gerakan tanah daerah penelitian diklasifikasikan menjadi 10 kelas dengan interval 500 meter.
- erakan tanah yang paling banyak terjadi terdapat pada **jarak 500 m dari sungai**.

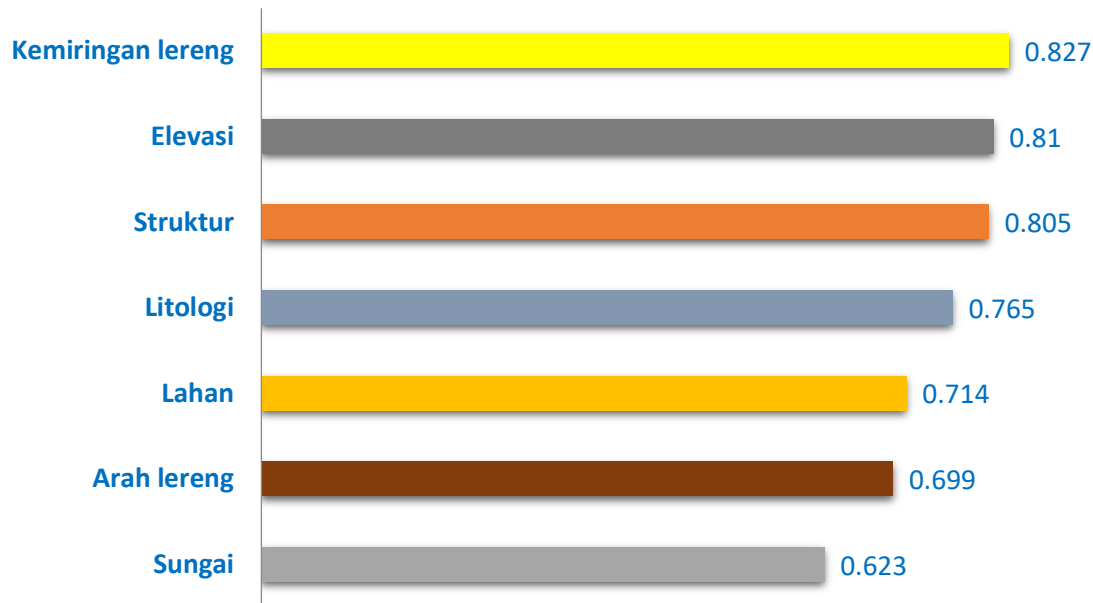


58

19



# VALIDASI PARAMETER



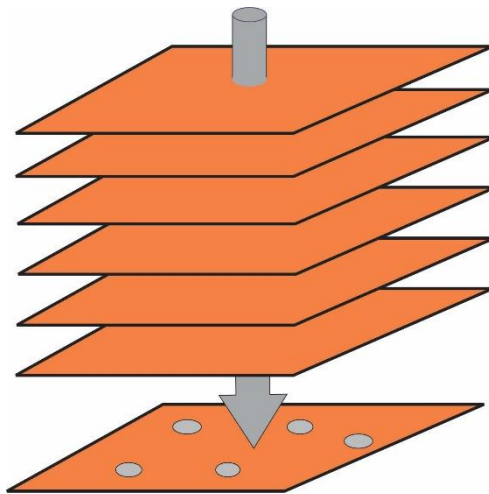
Nilai AUC	Keterangan
0.9	Model Sangat Baik
0.8 – 0.9	Model Baik
0.7 – 0.8	Model Sedang/Cukup Baik
< 0.6	Model Jelek

(Pourghasemi, dkk., 2013)





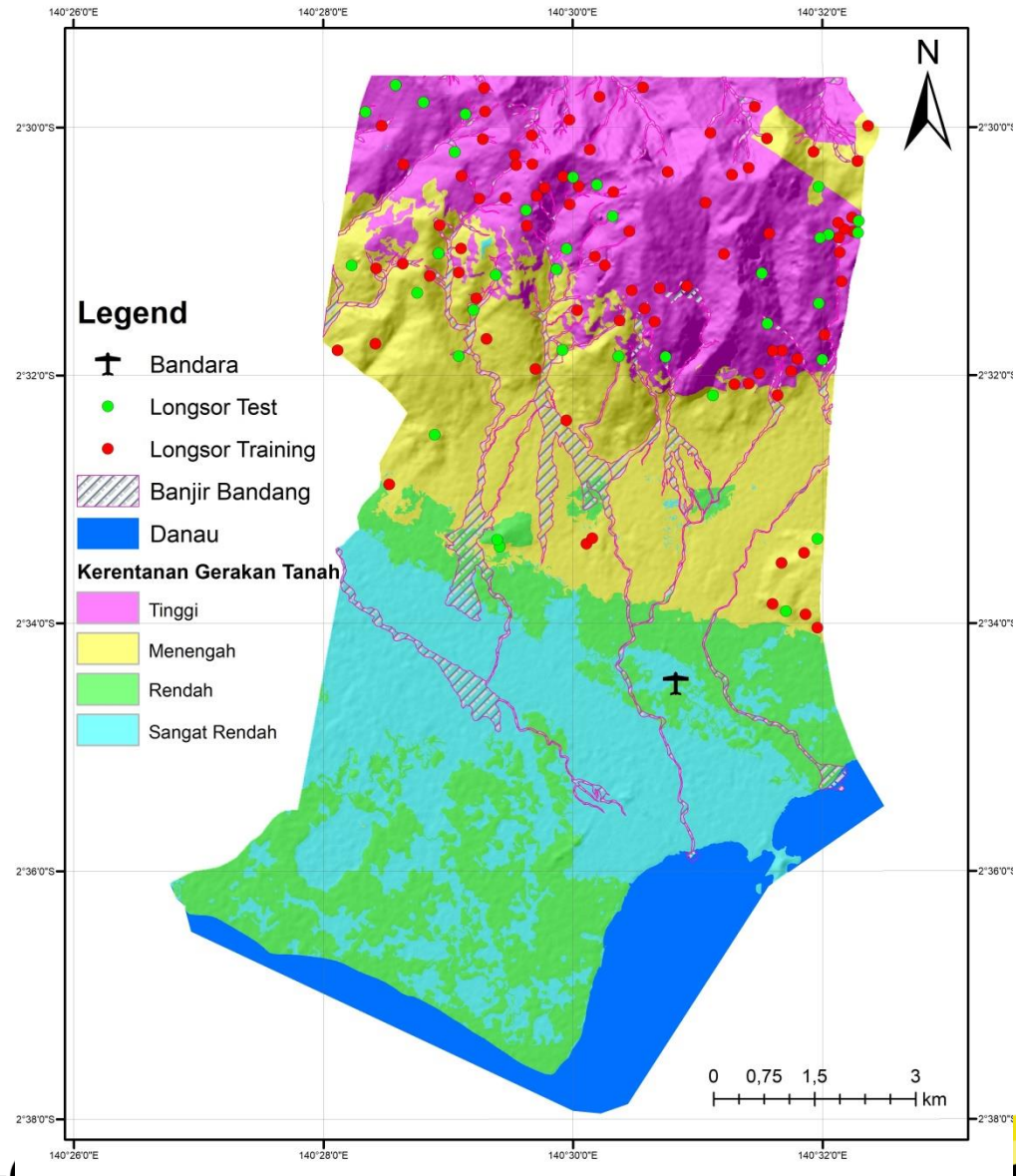
# ZONA KERENTANAN GERAKAN TANAH



Kemiringan lereng  
Elevasi  
Jarak dari struktur  
Litologi  
Lahan

Parameter di jumlahkan  
untuk pembobotan

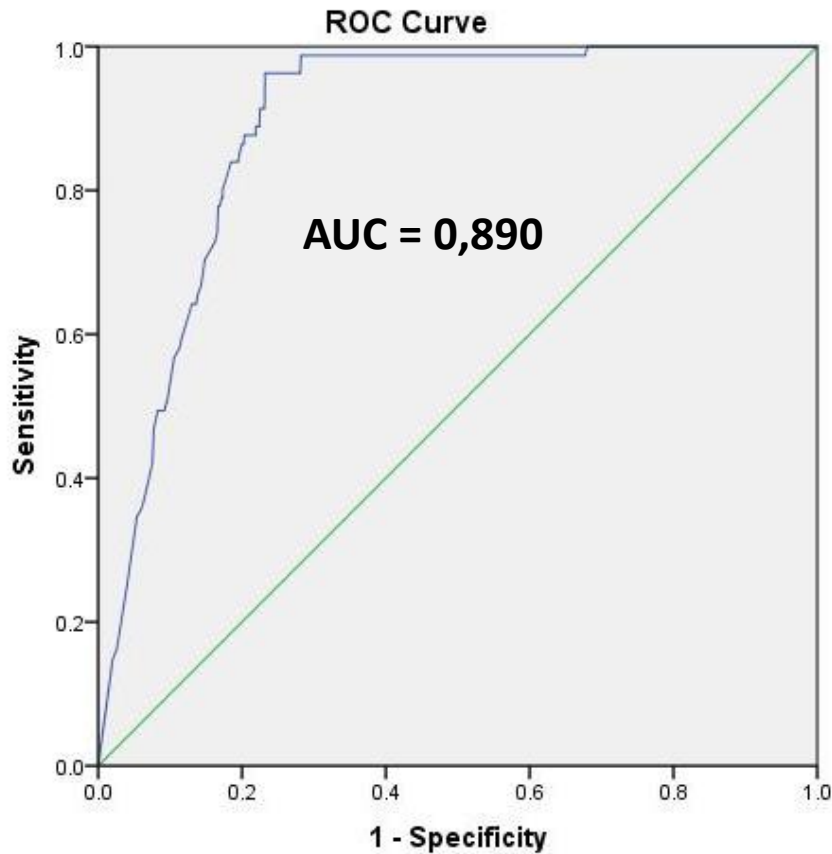
Zona	Total Area (%)
Sangat rendah	31,78
Rendah	19,07
Menengah	26,31
Tinggi	22,82



## Legend

- Bandara
- Longsor Test
- Longsor Training
- Banjir Bandang
- Danau
- Kerentanan Gerakan Tanah**
- Tinggi
- Menengah
- Rendah
- Sangat Rendah

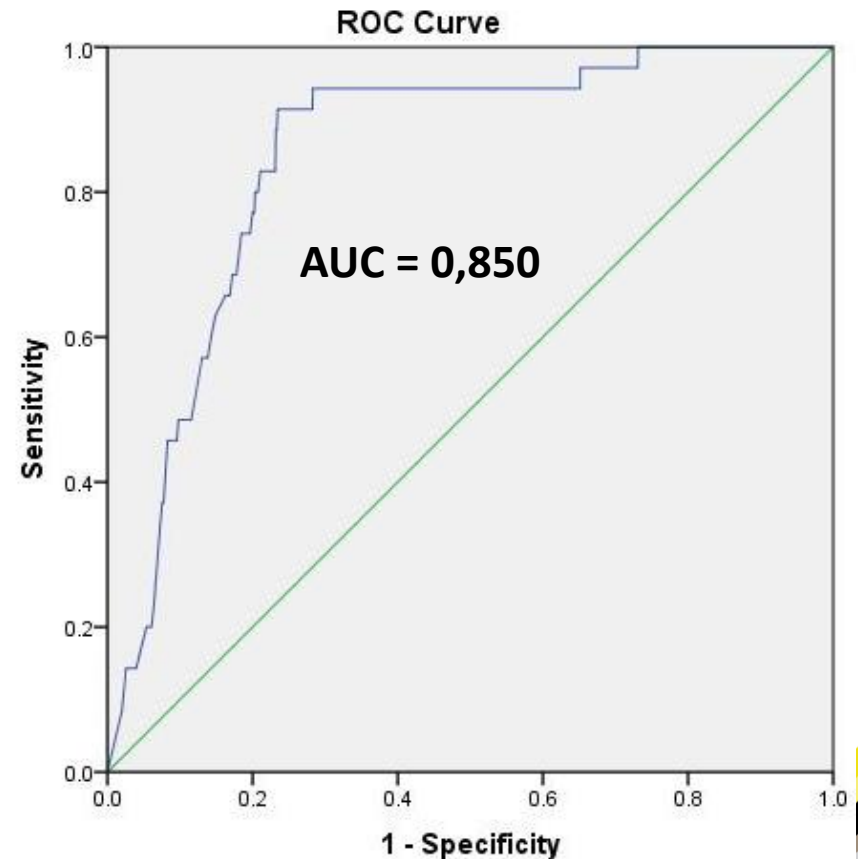
# VALIDASI PETA ZONA KERENTANAN GERAKAN TANAH



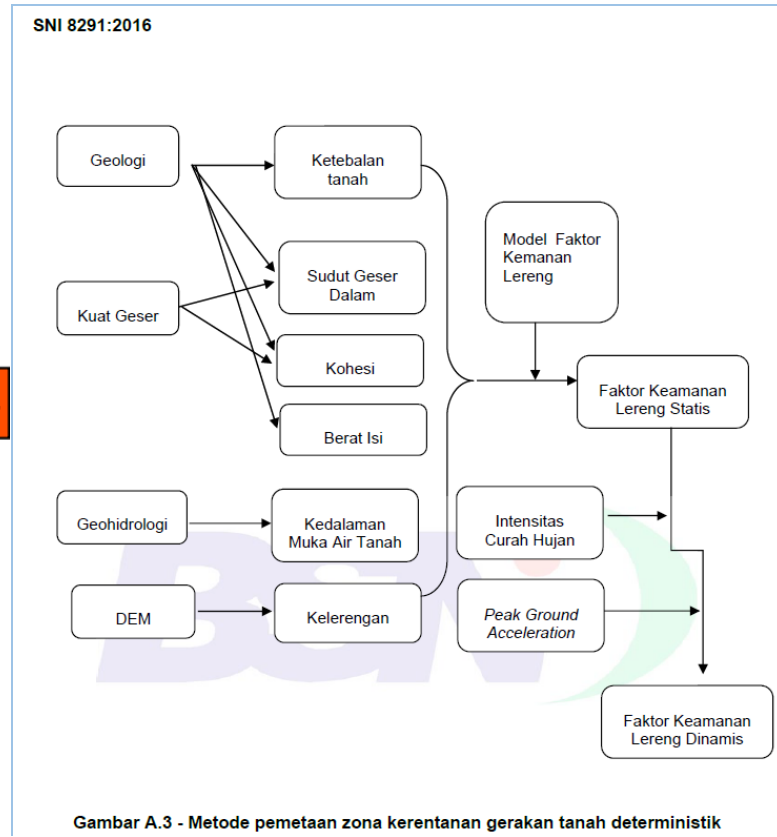
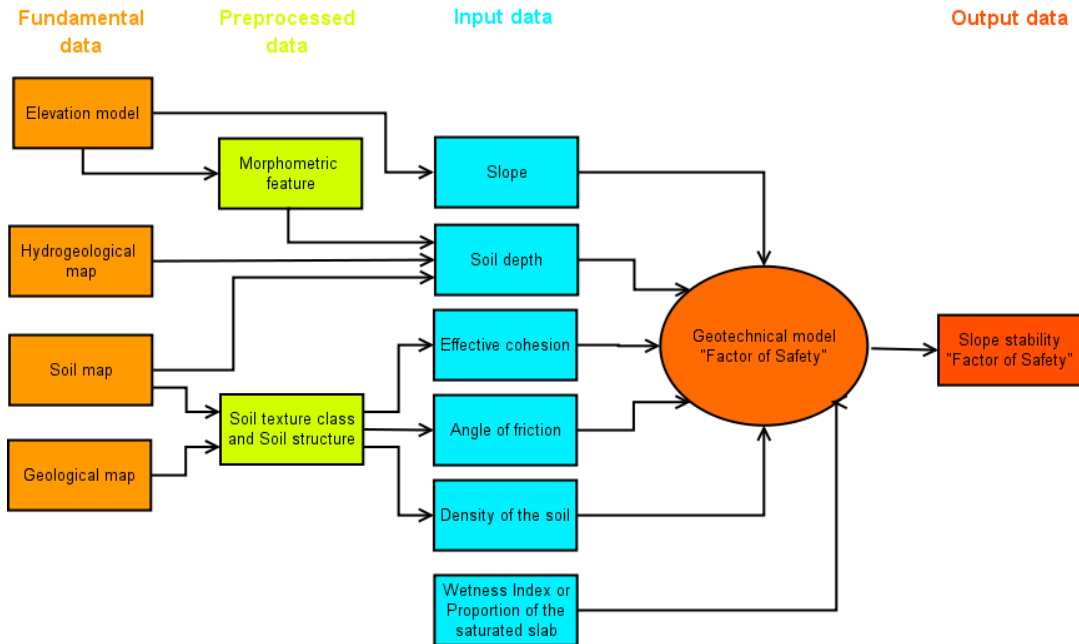
Success Rate (validasi menggunakan training data set 81 kejadian gerakan tanah)



Prediction Rate (validasi menggunakan test data set 35 kejadian gerakan tanah)



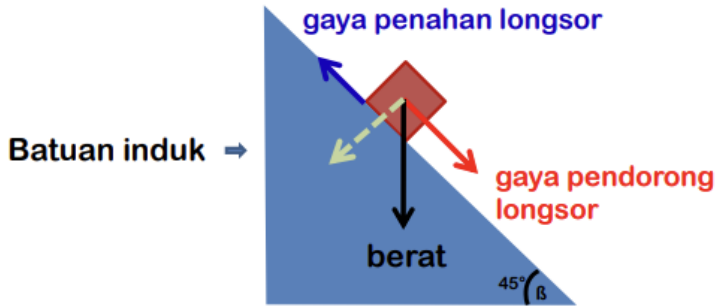
# METHODE DETERMINISTIK



Gambar A.3 - Metode pemetaan zona kerentanan gerakan tanah deterministik



# PEMETAAN GERAKAN TANAH/LONGSOR → PRINSIP FAKTOR KEAMANAN LERENG

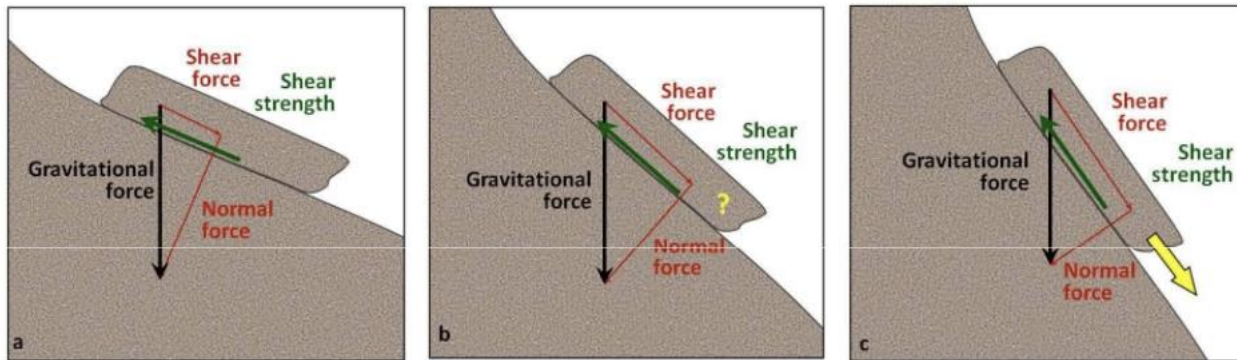


$$\text{Faktor aman} = \frac{\text{gaya penahan longsor}}{\text{gaya pendorong longsor}}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \begin{array}{l} \tau_f = \text{Tahanan geser maksimum} \\ \tau_d = \text{Tegangan geser yang terjadi akibat berat tanah} \end{array}$$

**gaya pendorong longsor > gaya penahan longsor = lereng tidak stabil**

FS < 1 → tidak stabil, FS = 1 → Kritis, FS > 1 → Stabil  
 Umumnya aman stabilitas lereng diambil FS ≥ 1,25



Shear stress =  $W \sin \beta / A$

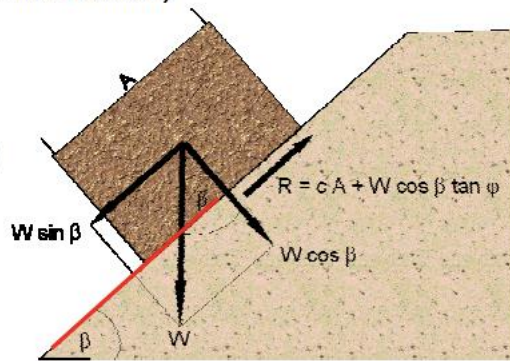
Shear strength (Mohr-Coulomb criterion)

$s = c + \sigma \tan \phi$

$\sigma$  = normal stress =  $W \cos \beta / A$

$c$  = cohesion (KPa)

$\phi$  = angle of internal friction (degrees)



Shear force (tegangan geser)  
shear strength (kuat geser)

Stress = Force / area

Shear stress → gaya lurur

$$\tau = \frac{T}{JK} = \frac{\gamma b Z \sin \beta}{b \cos \beta} = \gamma Z \sin \beta \cos \beta$$

Normal stress/tegangan normal:

$$\sigma_n = \frac{P}{JK} = \frac{\gamma b Z \cos \beta}{b \cos \beta} = \gamma Z \cos^2 \beta$$

Safety factor:

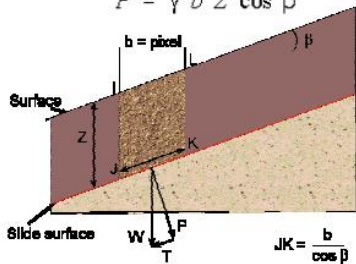
$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta) \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

Shear component of weight:

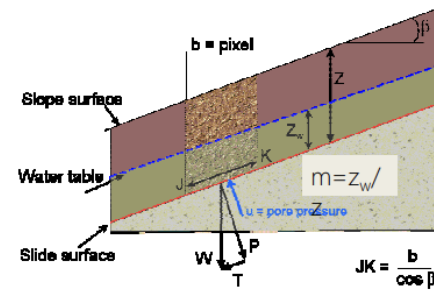
$$T = \gamma b Z \sin \beta$$

Normal component of weight:

$$P = \gamma b Z \cos \beta$$



ISL 2004



Factor of safety including pore pressure:

$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - u) \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - \gamma_w m Z \cos^2 \beta) \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta} = \frac{c' + (\gamma - m \gamma_w) Z \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

ISL 2004

Height watertable above failure surface

$z_w = m Z$   $m$ : dimensionless

Weight of the water:

$$W_w = \gamma_w b z_w = \gamma_w b m Z$$

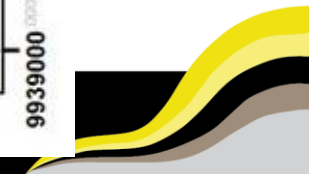
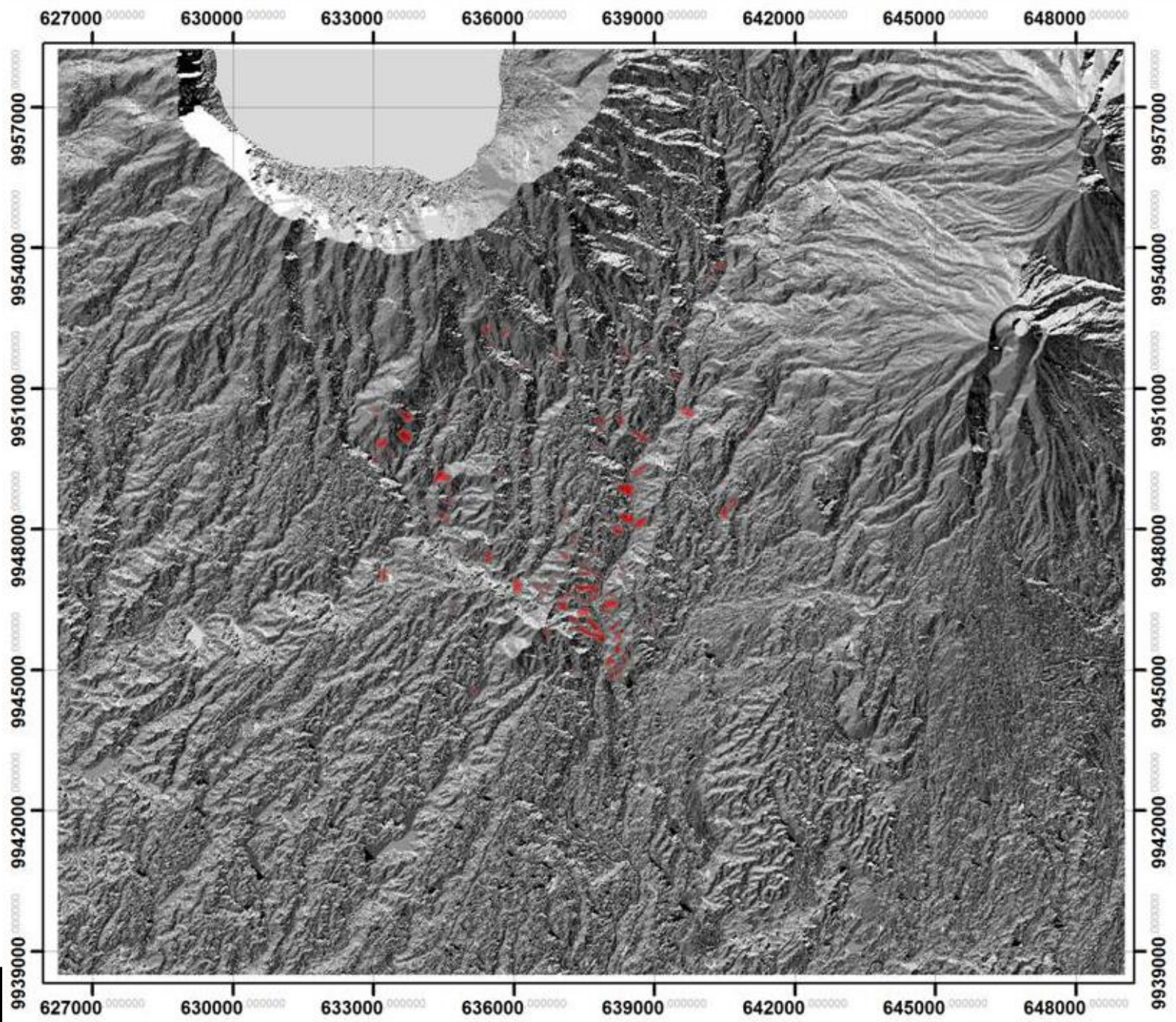
Normal component of water weight:

$$P_w = \gamma_w b m Z \cos \beta$$

Pore pressure on JK:

$$u = \frac{\gamma_w b m Z \cos \beta}{b \cos \beta} = \gamma_w m Z \cos^2 \beta$$







Pvmbg, 2009

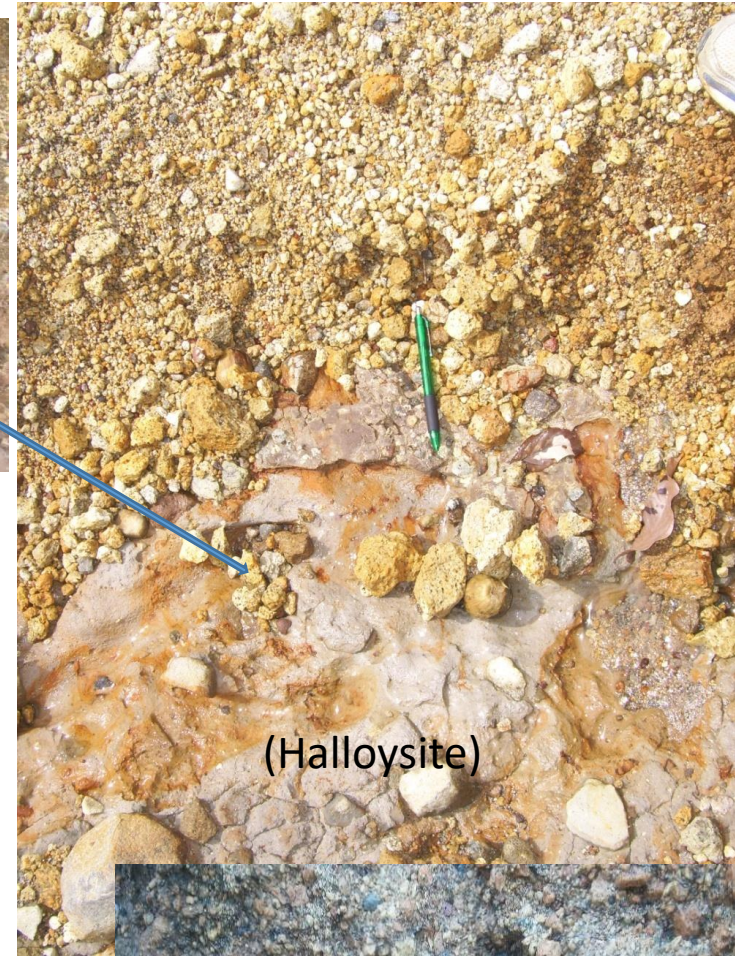


Pvmbg, 2009



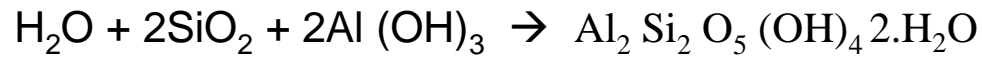
Sumbaronline.com





Egli, 2007

batuapung



Gibbsite

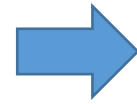


Halloysite

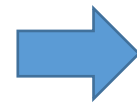




# Kondisi Keteknikan material penyusun lereng



$\gamma_{\text{tuf batuapung}} = 1,45 \text{ gr/cm}^3$ ,  $\phi = 31,4^\circ$   
 $c = 0,09 \text{ kg/cm}^2$

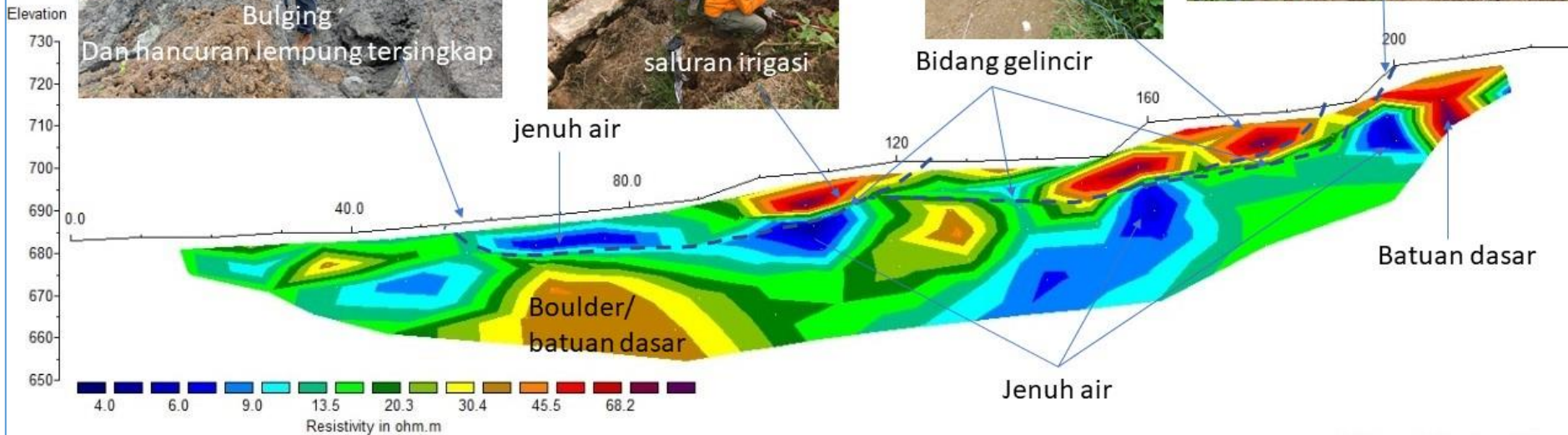


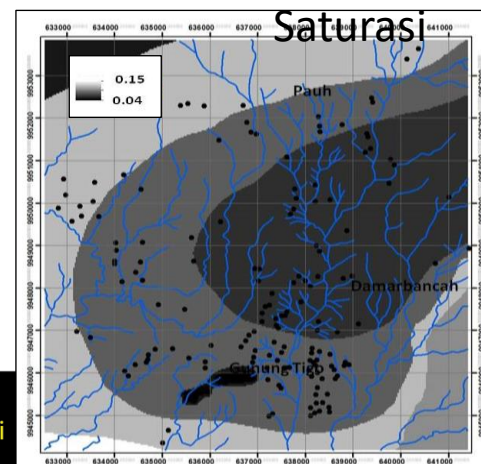
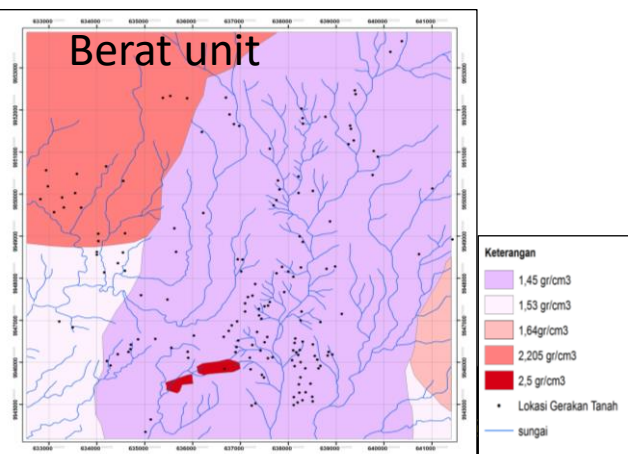
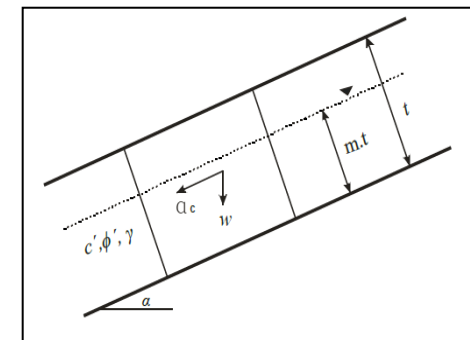
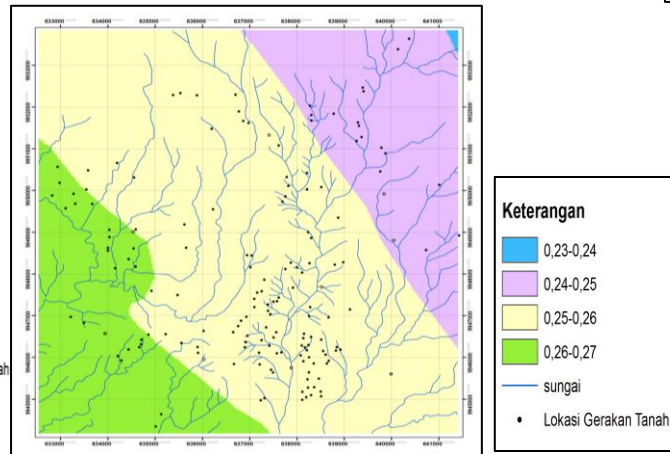
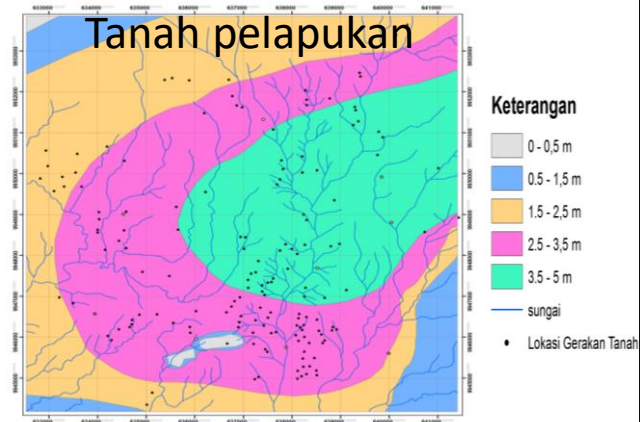
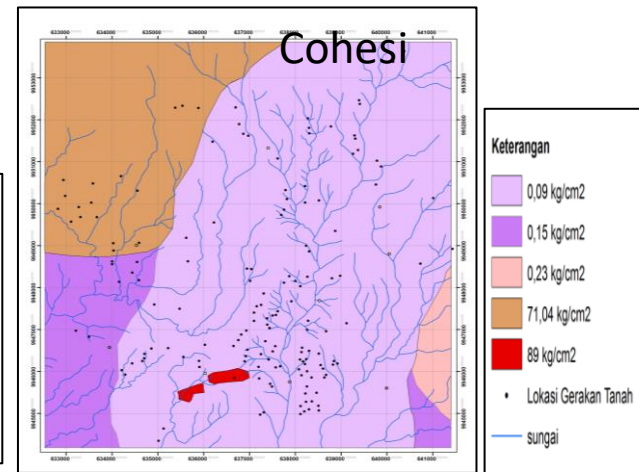
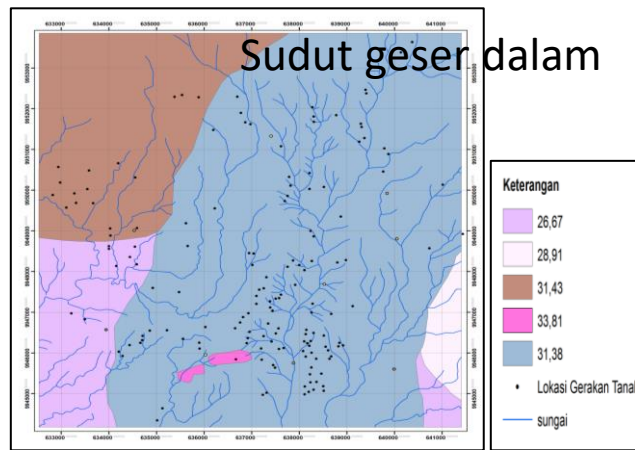
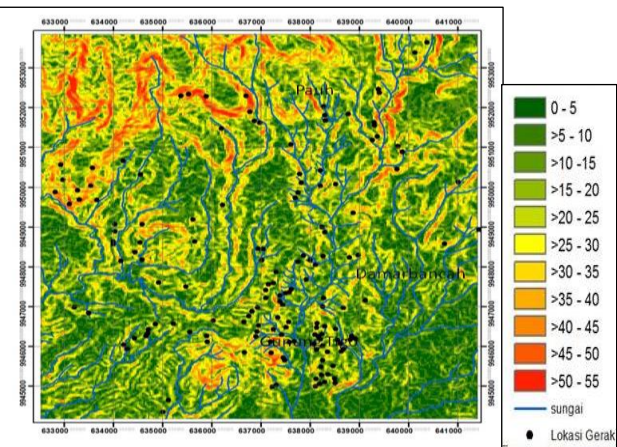
$\gamma_{\text{bidang gelincir}} = 1,5 \text{ gr/cm}^3$ ,  
 $\phi = 22^\circ$   $c = 0,194 \text{ kg/cm}^2$



$\gamma_{\text{lapukan Qpt}} = 1,82 \text{ kg/cm}^3$ ,  
 $\phi = 29,15^\circ$   $c = 0,16 \text{ kg/cm}^2$



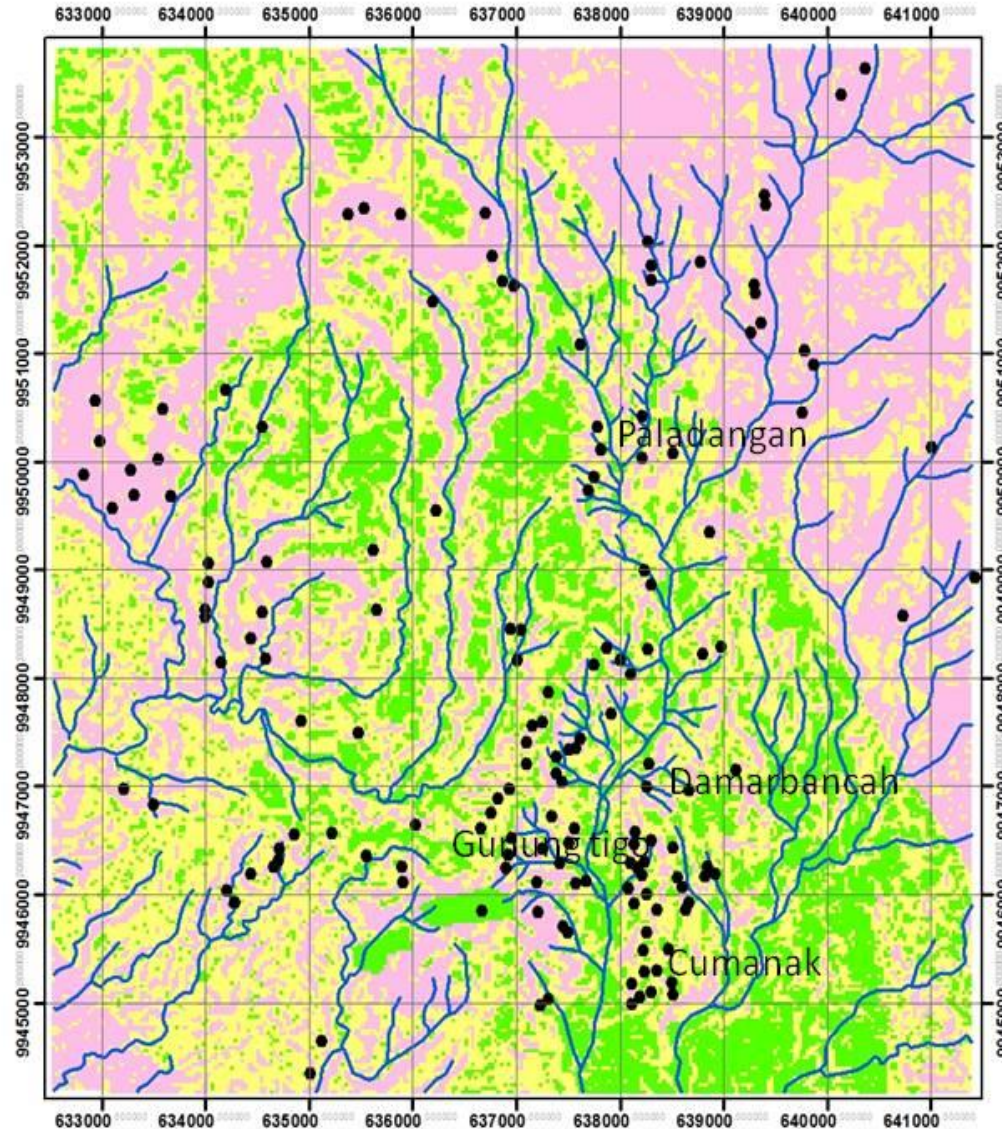




$$FK = \frac{c'}{\gamma_s g t \sin \alpha} + \frac{\tan \phi}{\cos \alpha} - m \frac{\gamma_w g \tan \phi}{\gamma t \alpha}$$

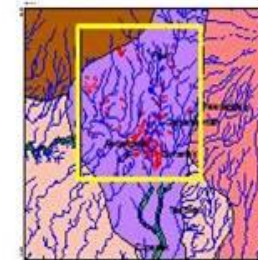


**PETA FAKTOR KEAMANAN LERENG  
DAERAH GUNUNG TIGO DANSEKITARNYA  
KEC. TANDIKAT, KAB. PARIAMAN, SUMATERA BARAT**

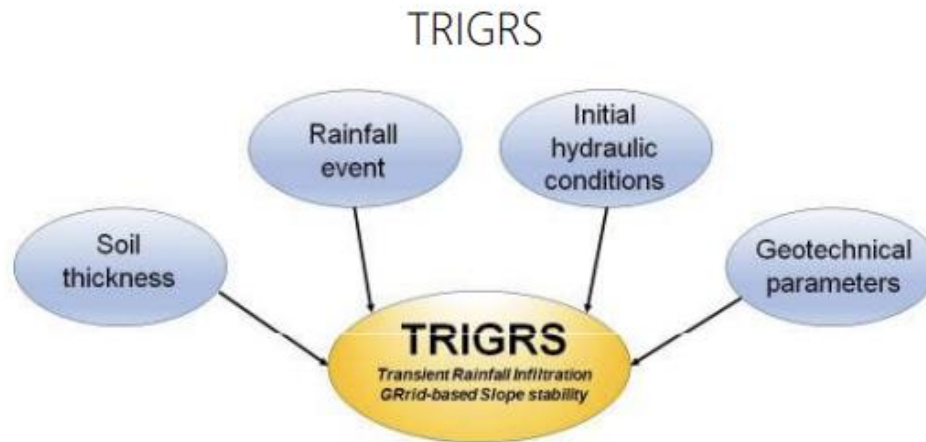
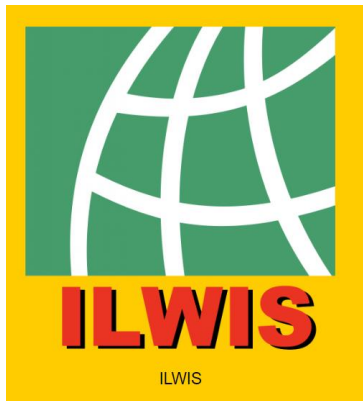


**Keterangan**

- < 1,07
- 1,07 - 1,25
- >1,25
- sungai
- Lokasi Gerakan Tanah



# Contoh software utk pembuatan peta deterministik



# **SIMULASI DEBRIS FLOW UNTUK MITIGASI BENCANA**



[www.geologi.esdm.go.id](http://www.geologi.esdm.go.id)



@kabargeologi



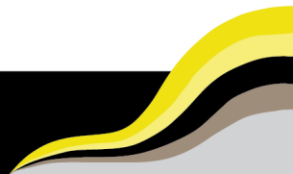
Badan Geologi



Badan Geologi



@kabargeologi



Definisi aliran debris awalnya beragam, seperti debris flow, mudflow, debris torrent, debris avalanches, dsb.

**Stiny (1910)**, debris flow berawal dari banjir di lereng curam membawa banyak material *suspended* dan *bed load* yang terus meningkat hingga aliran berubah jadi massa kental air, tanah, pasir, kerikil, batu dan batang kayu mengalir bagai lava.

**Blackwater (1928), Bull (1964) dan Candell (1957)**, mengemukakan mudflow sebagai debris flow dng kandungan material lebih halus, terjadi di lereng tandus atau vulkanik.

**Varnes (1978)** Debris flow adalah adalah massa yang mengandung bahan padat, air dan udara yang bergerak sebagai aliran kental.

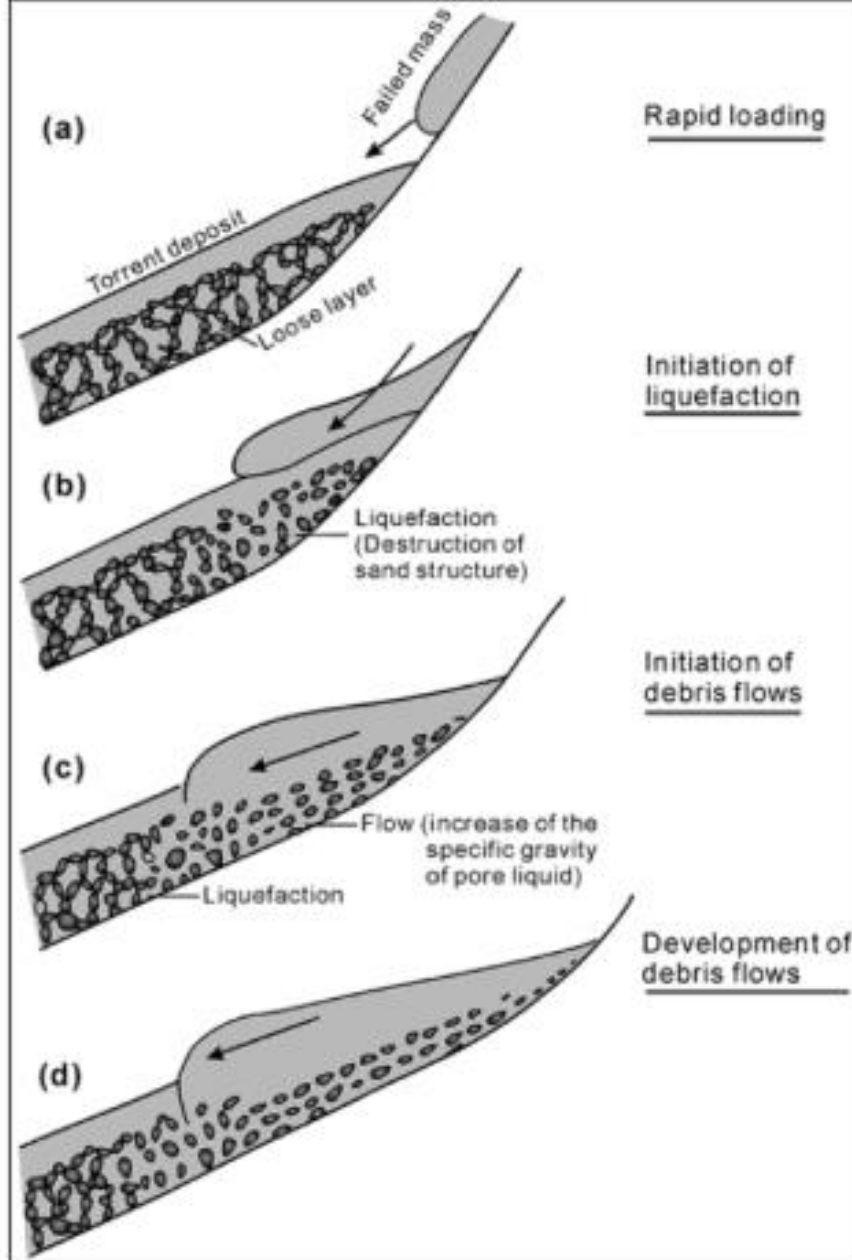
**Iverson dkk (1997)**, aliran debris terjadi ketika massa memiliki sortasi yang buruk dan jenuh bergerak menuruni lereng. Material padat dan fluida yang terkandung dalam material sangat berpengaruh pada aliran debris. Tanah longsor secara keseluruhan atau sebagian dapat berkembang menjadi aliran debris

**Hungr (2001)** Material debris bersifat non plastic dan tidak seragam (unsorted)

Faktor lain yang mempengaruhi distribusi debris flow adalah tekanan air pori (Major and Iverson, 1999; Major, 2000; Iverson, 2003).

Proses likuifaksi massa tanah hasil longSORan dapat berubah menjadi aliran debris (Watanabe, 1981, Sassa, 1981, dan T. Takahashi, 2001).





## TERBENTUKNYA ALIRAN DEBRIS OLEH PROSES LIKUIFAKSI DEPOSIT SEDIMEN DI ALUR CURAM (Sassa, 1985)

### PROSES :

- (a) dan (b),  
saat deposit sedimen mulai mengalir,  
bagian depan mengalami proses  
likuifaksi, sehingga
- (c) dan (d),  
sedimen yang mengalir meningkat,  
membentuk aliran debris. ketika  
sedimen mulai mengalir, bagian depan  
mengalami proses likuifaksi, sehingga  
volume meningkat.

### Catatan,

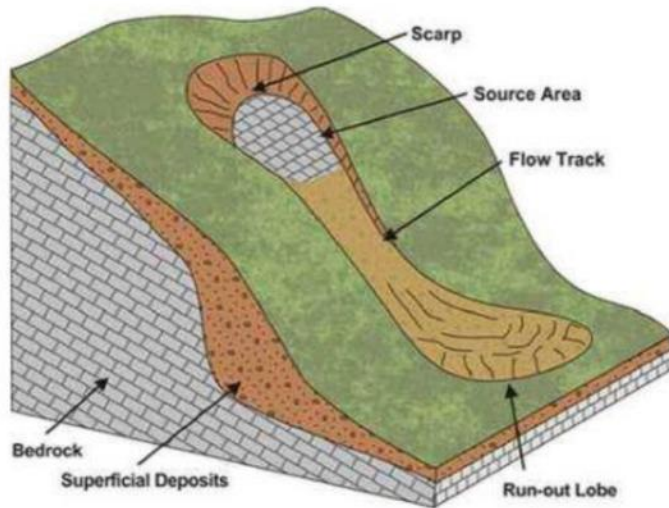
Umumnya, likuifaksi terjadi akibat tanah  
longsor dan tanah sangat lepas dan tidak  
stabil. (pada bidang longsor dpt pula terjadi  
pada tanah lepas, agak lepas dan tanah  
padat, sepanjang kerusakan (struktur)  
butiran yg terjadi akibat pembebanan  
diatasnya.

Proses mekanisme yang sama dikemukakan oleh  
*Hutchinson and Bhandari (1971), Tabata and Ichinose  
(1973), Costa and Williams (1984).*

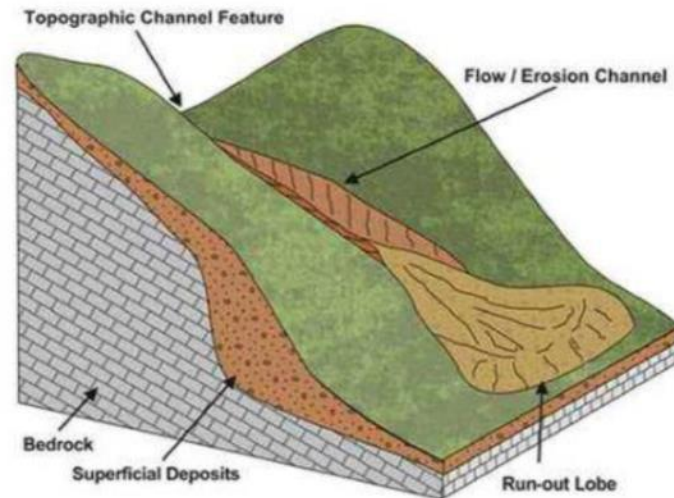




# Terminologi dan Klasifikasi

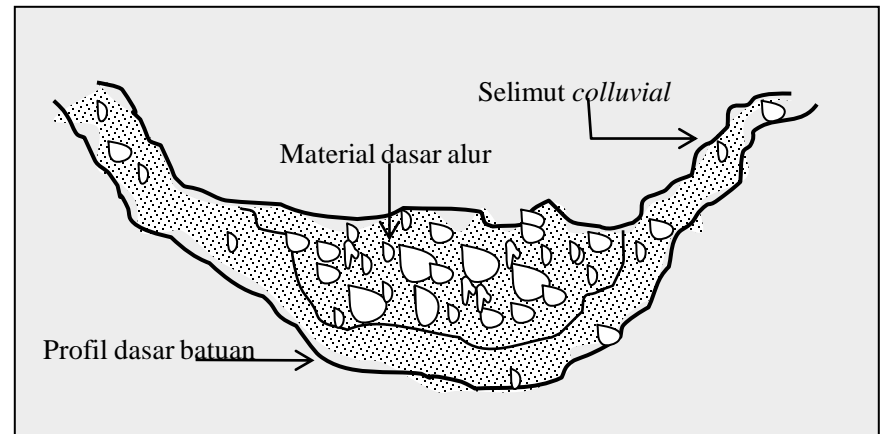


a) Hillslope Debris Flow

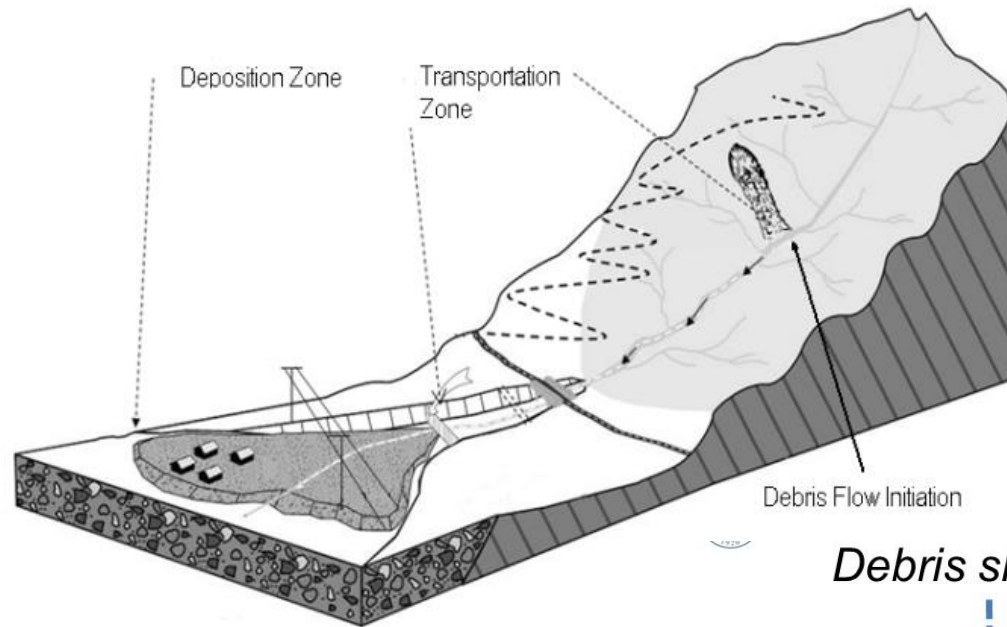


b) Channelised Debris Flow

Nettleton et al (2005)



# Debris Flow Origin



**3 Faktor** pendorong terbentuknya aliran debris :

1. Kemiringan dasar (alur atau lembah)  $> 15^\circ$ .
2. Material di lereng atau lembah pembentuk aliran debris.
3. Air dalam jumlah besar yang dapat menjenuhkan deposit material sedimen

*Debris slide to flow* ..... (Sadisun, 2007)

Sadisun, 2007, 2014

**Source area:**

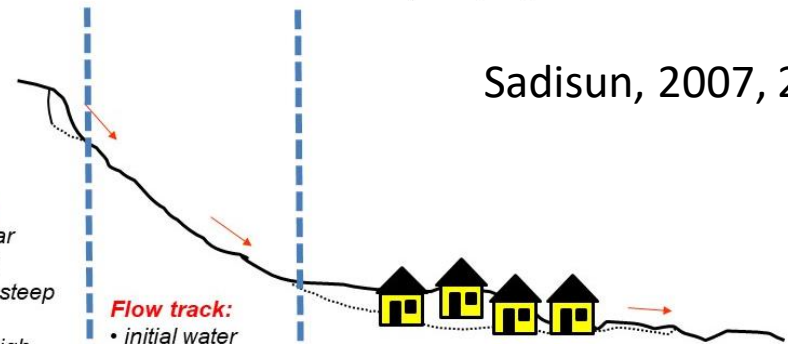
- typical circular slide (slump)
- steep – very steep slope
- high – very high weathering products
- high intensity of rainfall
- land-use.

**Flow track:**

- initial water channel/river
- viscosity of the debris
- slope angle
- difference of elevation
- lateral rupture along flow track.

**Depositional area:**

- initial topography
- volume of the debris
- viscosity of the debris
- difference of slope angle
- lateral rupture.



# DEBRIS FLOW

## PERGERAKAN SEDIMEN

Dapat terjadi dalam dua cara, yaitu :

### ❑ Pergerakan massa (**DEBRIS FLOW**)

1. Tampang lintang endapan cenderung cembung di tengah.
2. Tampang memanjang **membesar** di bagian depan (kepala aliran).
3. Lapisan endapan merata.

### ❑ Pergerakan individu (**SUNGAI BIASA**)

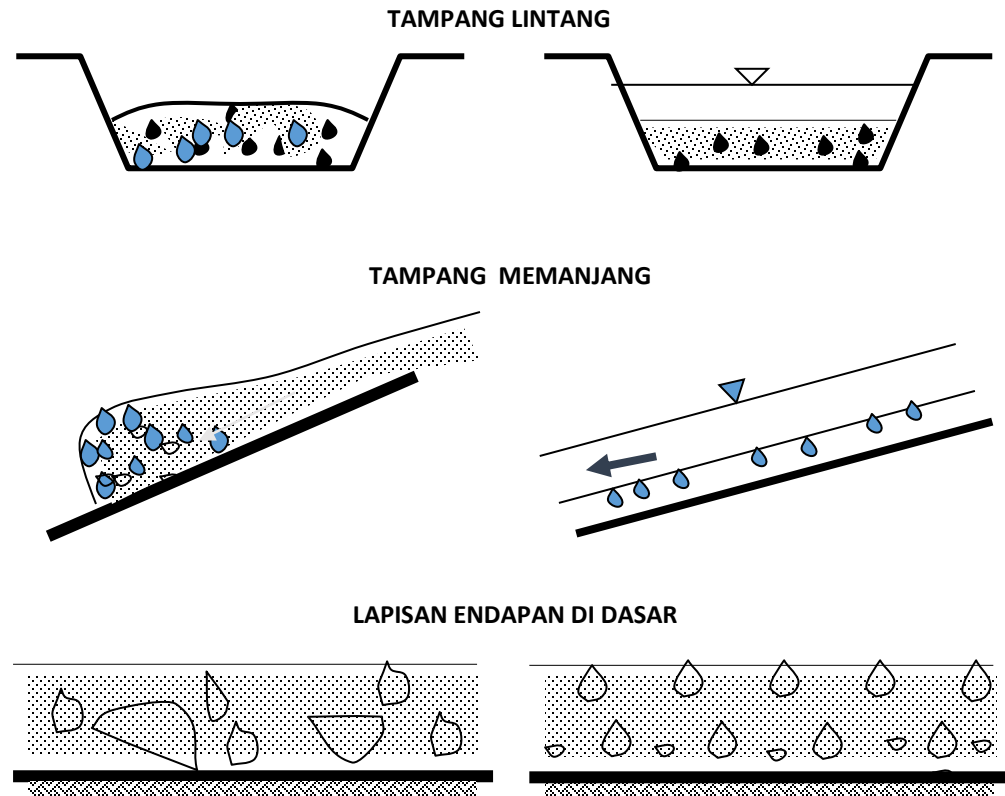
1. Tampang lintang endapan berada di dasar aliran.
2. Tampang memanjang pergerakan sedimen mandiri di dasar sungai menggeser, menggelinding dan melompat.
3. Endapan tampak berlapis.

## ILUSTRASI

### PERGERAKAN SEDIMEN KOLEKTIF DAN MASSA

Angkutan Kolektif (aliran ldebris)

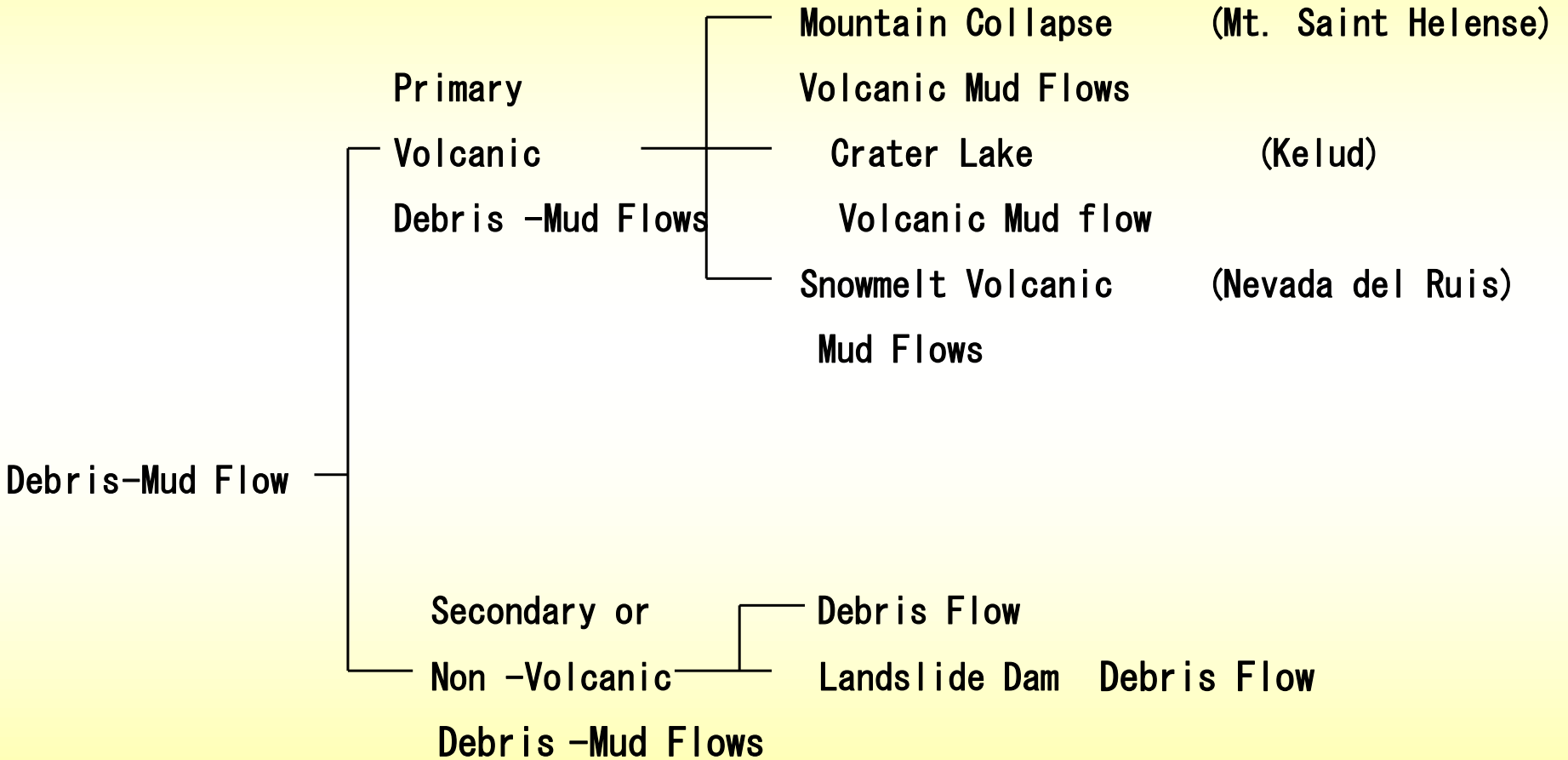
Angkutan Individu (aliran sungai biasa)

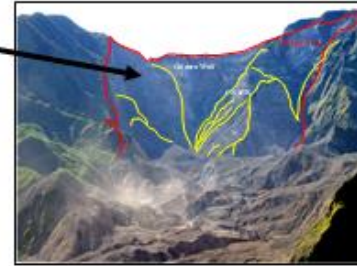
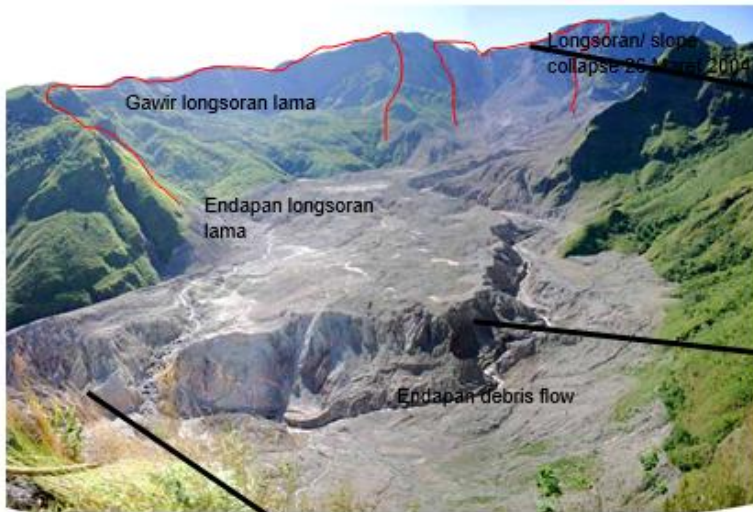


Haryono Kusumosubroto



# Klasifikasi Debris-Mud Flow by generating factor





Banyak retakan-retakan di tebing G. Bawakaraeng

Terbentuknya erosi gully Dengan tinggi 70 – 120 m



Endapan runtuh dinding G. Bawakaraeng yang berkembang dari kerakal sampai bongkah



Erosi samping tebing sungai yang intensif sehingga berpengaruh pada kelangsungan sedimentasi di Bili-Bili Dam.

Kondisi di Puncak G. Bawakaraeng kearah S. Jeneberang (PVMBG, 2008 dan Dept Pekerjaan Umum 2008)

## ISSUES:

**High Possible Collapse** Volume :  
 18.3 million m<sup>3</sup> (August 2008)  
 Deposit Material longsor 200 jt m<sup>3</sup>



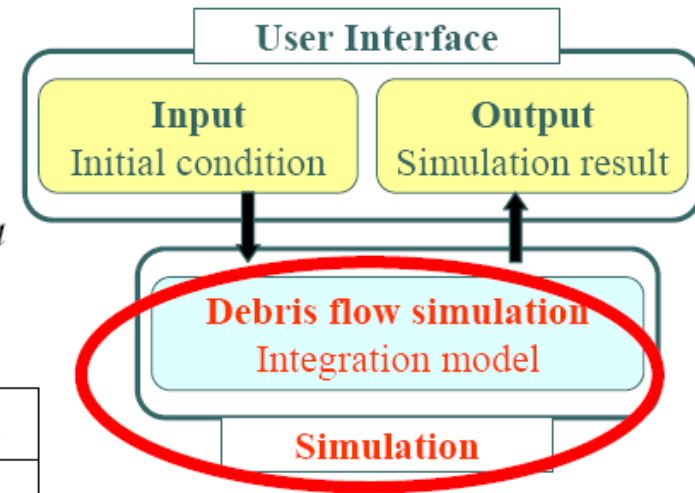
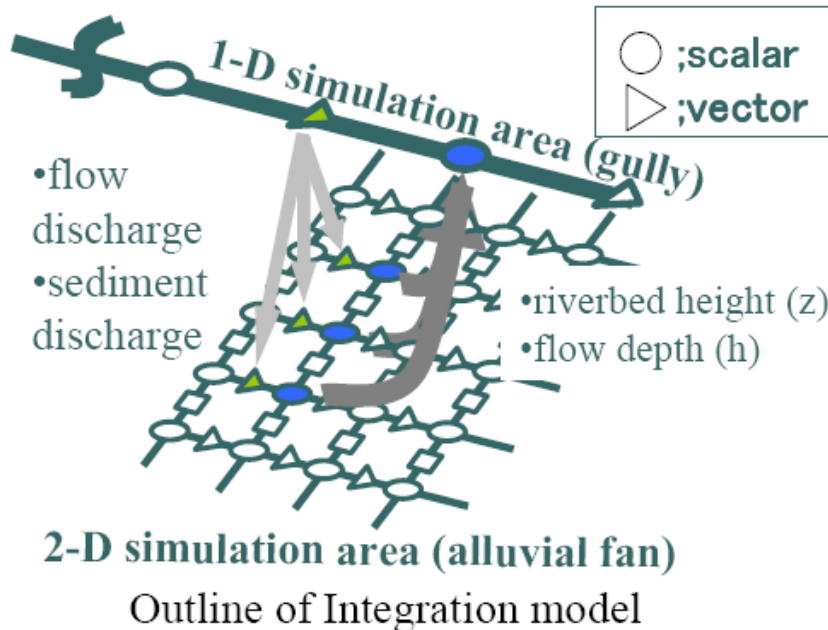


# Numerical Simulation Methods

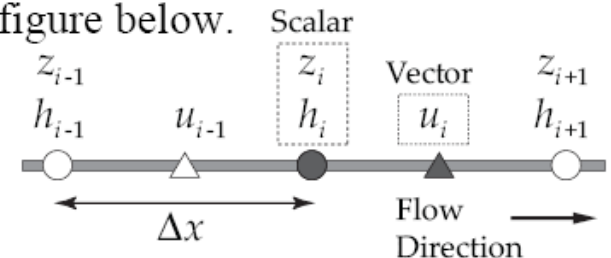
The system is based on an **integration model** (Wada et al :2007).

## Integration model outline

gully areas	○ 1-dimensional simulations
alluvial fans	○ 2-dimensional simulations
<b>boundary areas</b> between gullies and alluvial fans	○ Consider 1-D and 2-D simulations <b>mutual influence</b>



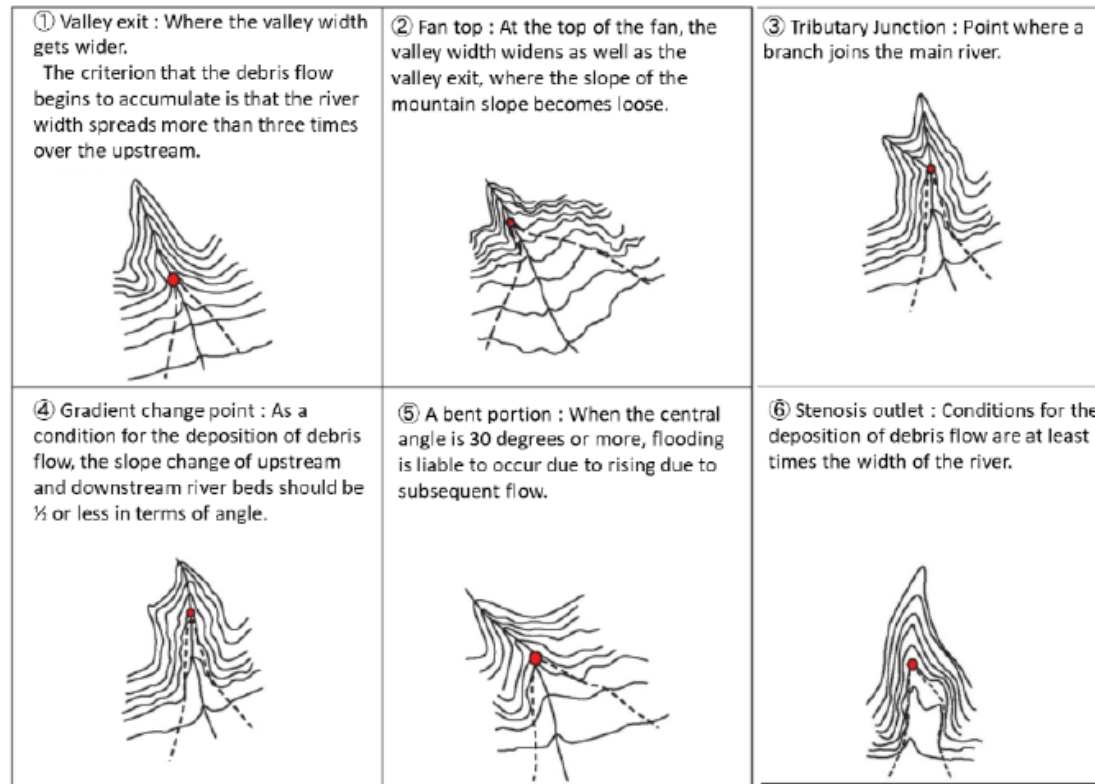
A staggered scheme is used in this model. Here, scalar and vector quantities are set; they are staggered by 1/2 in the direction of flow direction, as shown in the figure below.



Arrangement of variables

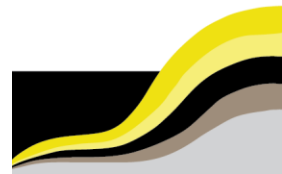
**Table 1-3 Terrain features at flood start point**

No	Flood Starting Point	Terrain features
1	Valley exit: The river	At the point where the river width spreads more than three times from upstream
2	Fan top	At the top of the fan, at the point where the valley widths spreads and the slope of the mountain floor becomes loose
3	Tributary junction	At the point where the branch river joins the main river
4	Gradient change point	At the point where slope change of upstream and downstream. Changing angle is 1/2 or less.
5	Bent portion	At the point where the ratio( $r/b$ ) of channel width( $b$ ) to curvature radius( $r$ ) is less than 1/10
6	Stenosis outlet	At the point where the river width spreads more than three times from upstream



Source: Basic Survey Manual for Prevent Sediment Disasters (draft) (General):

Iwate Prefecture, 2015 march

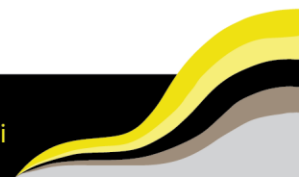




<b>Parameters/Variables</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Simulation continuance time	1800	second
Time interval of calculation	0.01	second
Diameter of material	0.1	m
Mass density of bed material	2550	kg/m <sup>3</sup>
Mass density of fluid phase (water and mud, silt)	1180	kg/m <sup>3</sup>
Concentration of movable bed	0.6	
Gravity acceleration	9.8	m/s <sup>2</sup>
Coefficient of erosion rate	0.0007	
Coefficient of accumulation rate	0.05	
Coefficient of accumulation rate considering inertial force	0.9	
Minimum depth at the front of debris flow	0.05	m
Minimum flow depth	0.01	m
Manning's roughness coefficient	0.03	
Pai	3.14159265358	

<b>Parameters using in 2D area;</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Inflow direction [muki]	0	
Inflow center axis in 2D area[jc]	10	
Interval of 2D-x calculation points	5	m
Interval of 2D-y calculation points	5	m
Minimum depth at the front of debris flow in 2D	0.01	m
Number of calculation points in 2D-x direction	60	
Number of calculation points in 2D-y direction	60	

<b>Parameters using in 1D area;</b>	<b>Value</b>	<b>Unit</b>
Number of calculation points in 1D	49	
Interval of calculation points in 1D	20	m
Minimum depth at the front of debris flow in 1D	0.05	m



**Concentration** of movable bed material is calculated using equation below:

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

where,

$\rho$  = mass density of liquid

$\sigma$  = mass density of bed material

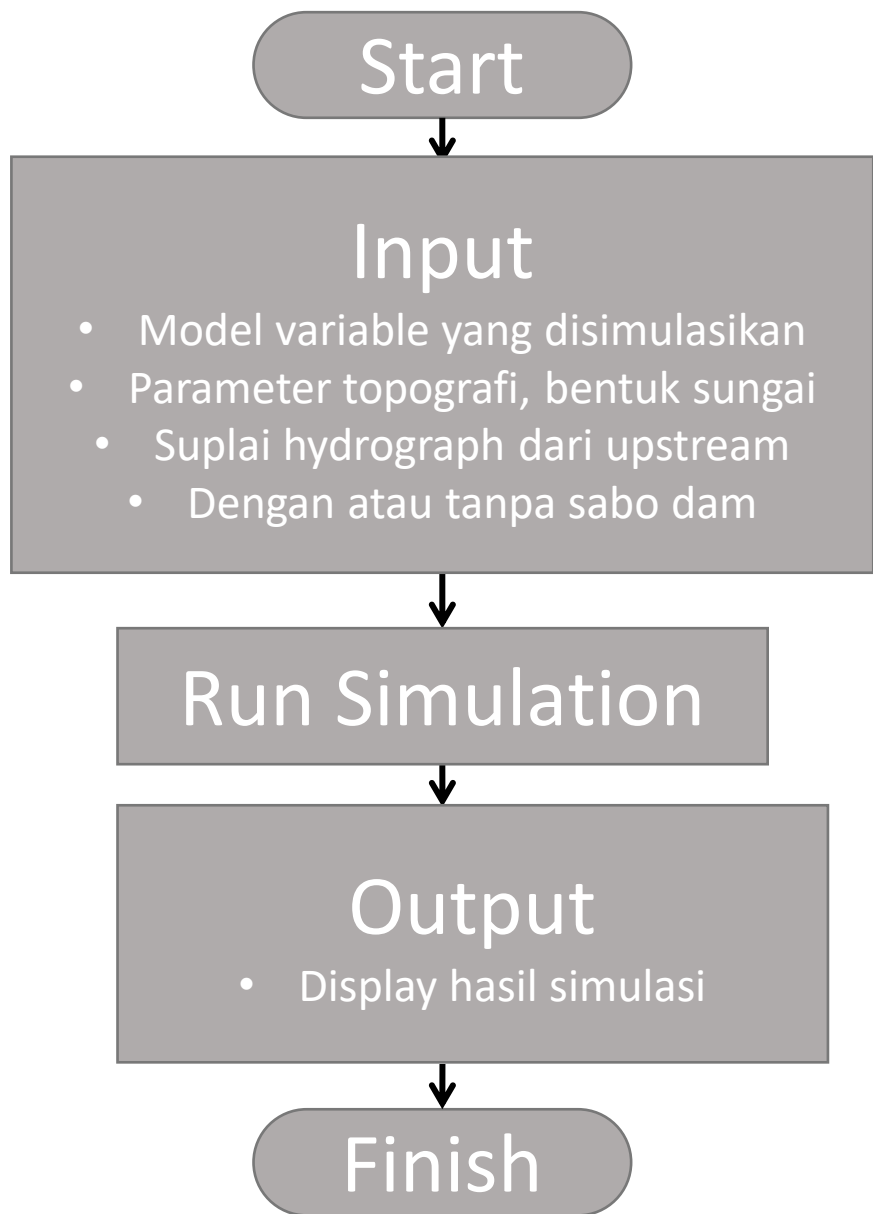
$\phi$  = internal friction angle (°)

$\vartheta$  = slope angle of river (°)

$Q_p$  530 m<sup>3</sup>/s

$C_d = 0,41$





Input data, proses, evaluasi dan analisis:

- ❑ **Investigasi lapangan**; Longsoran, Volume Longsoran, Volume Moveable Material, Kondisi geologi, Curah hujan, dan karakteristik morfologi/geomorfologi
- ❑ **Penentuan hydrograph** baik dari sungai atau dari volume longsoran
- ❑ **Test laboratorium** untuk sifat keteknikan tanah
- ❑ **Debris flow simulation dengan Kanako 2.0 berdasarkan Graphical User Interface (GUI).**



Momentum equation of  $x$ -axis (flow) direction

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g \sin \theta_{wx} - \frac{\tau_x}{\rho h}$$

Momentum equation of  $y$ -axis (cross) direction

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g \sin \theta_{wy} - \frac{\tau_y}{\rho h}$$

Continuation equation for the total debris flow volume

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = i$$

Continuation equation for the material volume of debris flow

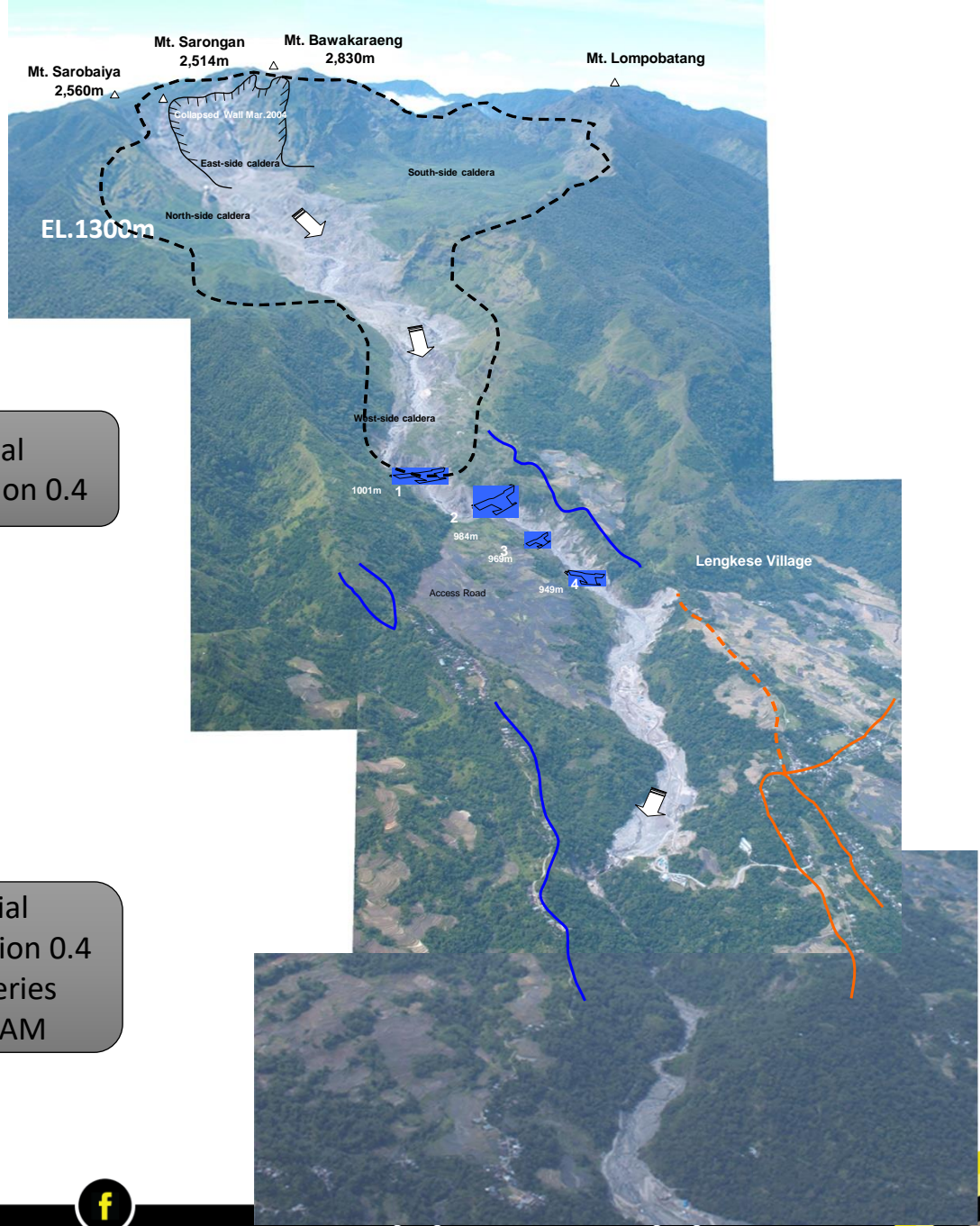
$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} = iC_*$$

Equation for determining change in bed surface elevation

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i = 0$$

- The concept of the modeling is based on **momentum equation, continuity of flow, river condition, erosion and sedimentation** (Takahashi and Nakagawa, 1991 op cit. Nakatani et al., 2008)
- **Kanako Ver.2.00 debris flow numerical (1D and 2D) simulator** was applied (Wada, et al, 2007, Nakatani et al., 2008)





Without Sabo Dam

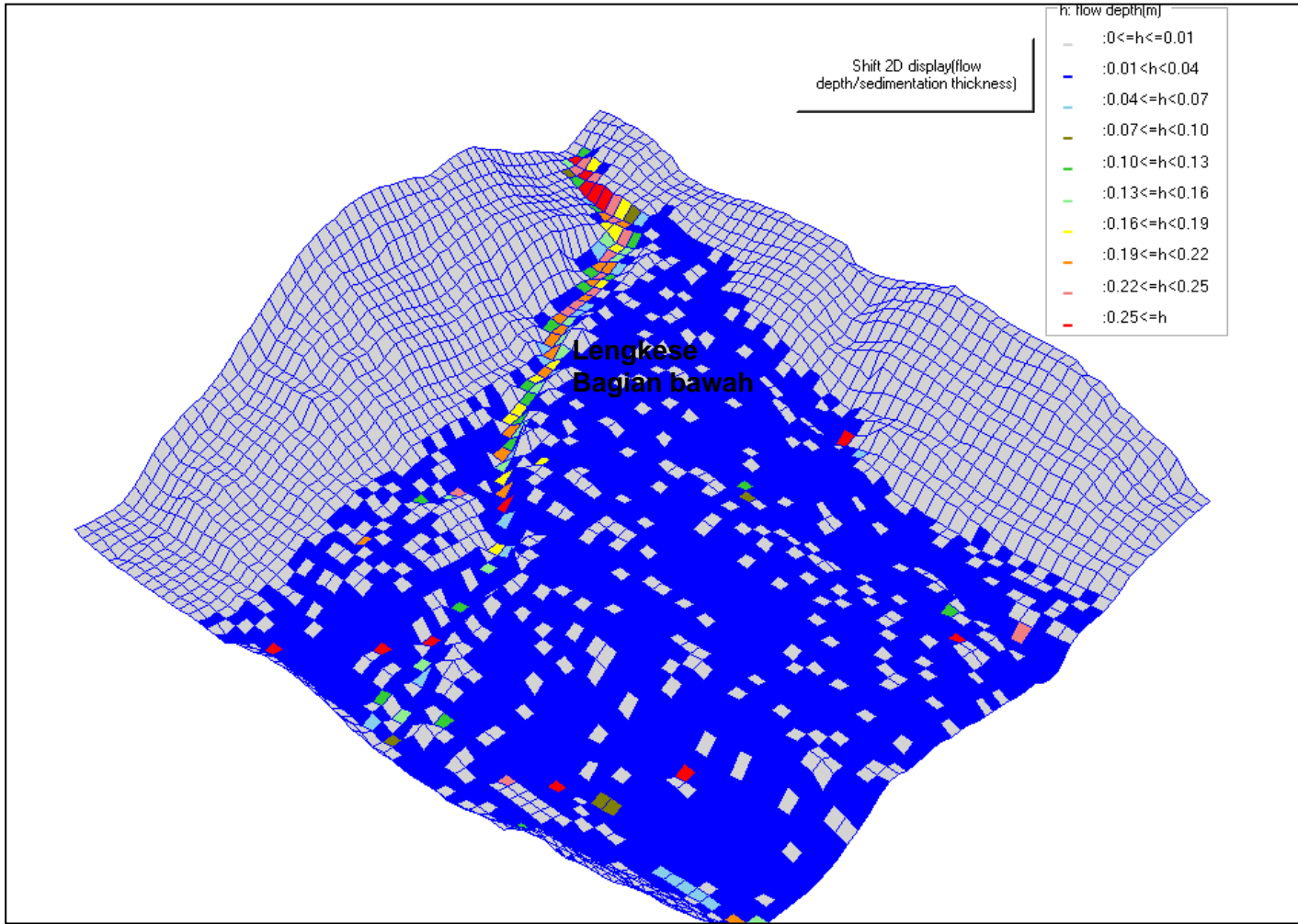
Material concentration 0.4

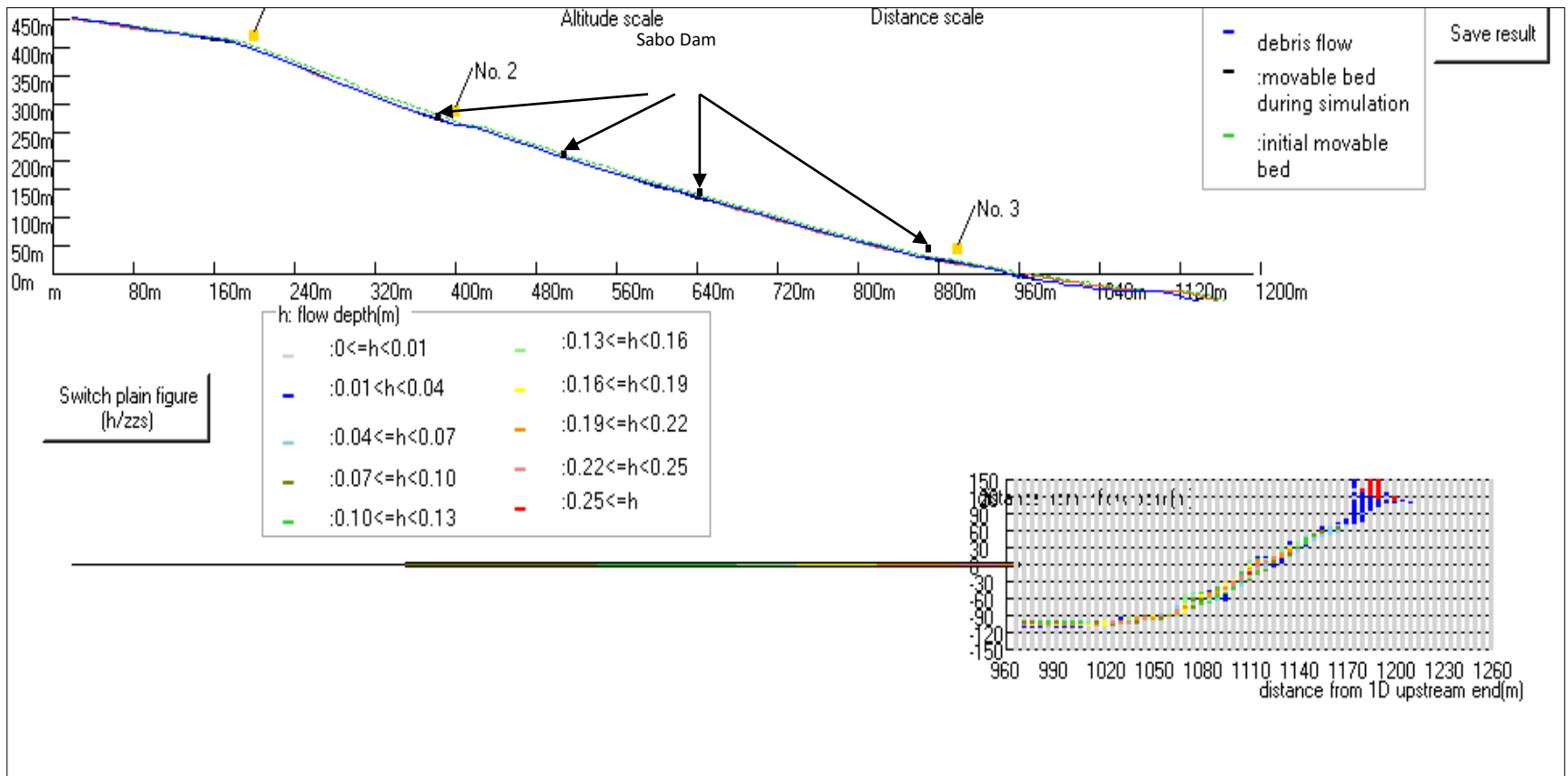
With Sabo Dam

Material concentration 0.4 with 4 series SABO DAM

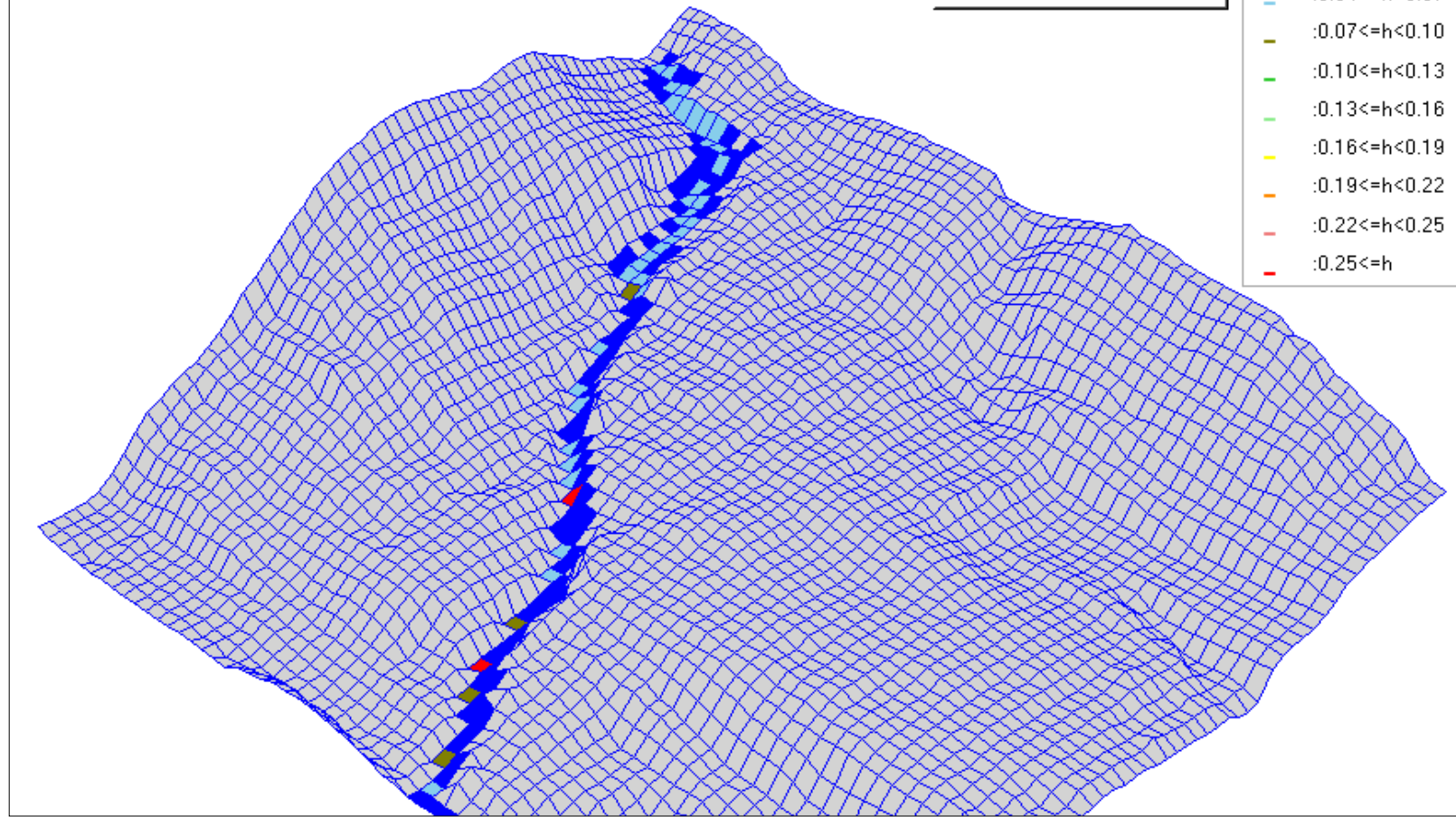
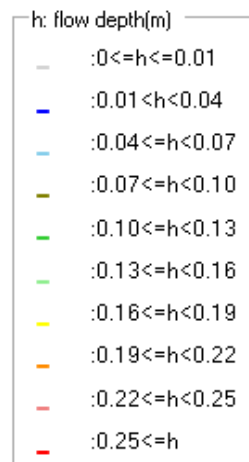
Start







Shift 2D display(flow  
depth/sedimentation thickness)





# Pemodelan Debris FLOW (RAMMS)



- RAMMS (*Rapid Mass Movement Simulation*) adalah sebuah perangkat lunak untuk pemodelan numerik dinamik yang didesain awalnya untuk pemodelan longsor salju (*snow avalanches*) (Christen et al., 2010) yang kemudian diaplikasikan untuk pemodelan aliran massa yang lain seperti lahar (Quan Luna, 2007) dan aliran debris (Kowalski, 2008).
- RAMMS menggunakan model kontinum aliran fluida Voellmy-Salm (Salm, 1993) berdasarkan hukum aliran fluida Voellmy dan menjelaskan aliran debris sebagai hidrolika berdasarkan kedalaman rata-rata model kontinum.



# RAMMS

- Model ini membagi resistansi friksi menjadi 2 yaitu *dry-Coulomb type friction* ( $\mu$ ) yang berskala dengan tegangan normal dan *viscous-turbulent friction* ( $\xi$ ). (koefisien  $\xi$ ). Sehingga persamaan friksi  $S$  (Pa) menjadi :

$$S = \mu \rho H g \cos \phi + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

$\rho$  : berat jenis aliran  
 $\omega$  : sudut kelerengan  
 $g$  : percepatan gravitasi  
 $H$  : tinggi aliran  
 $U$  : kecepatan aliran

RAMMS versi 1.6.2 dimodifikasi dengan menambahkan kohesi ( $C$ )

$$S = \mu N + (1 - \mu)C - (1 - \mu)C \exp\left(-\frac{N}{C}\right) + \frac{\rho g U^2}{\xi}$$

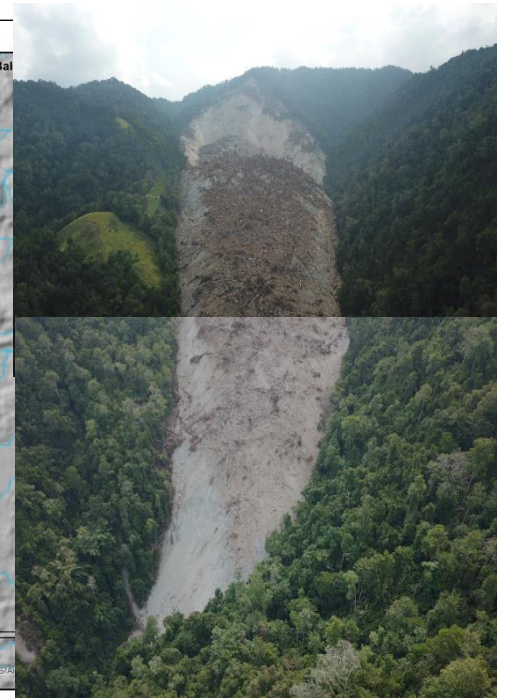
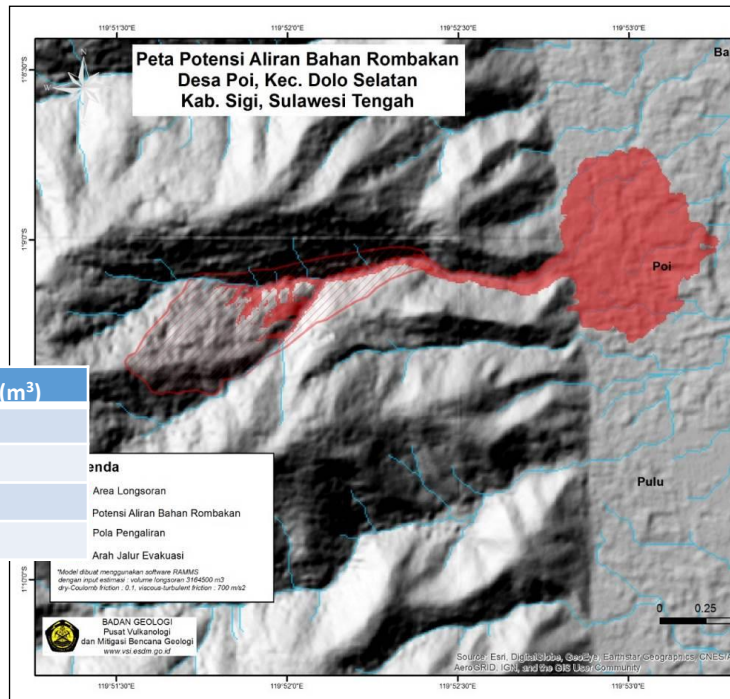
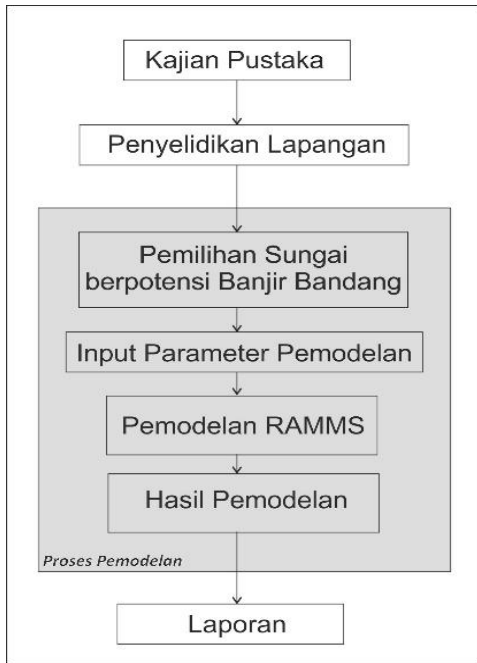


# INPUT RAMMS

Dalam memodelkan debris flow ada beberapa input parameter yang dibutuhkan :

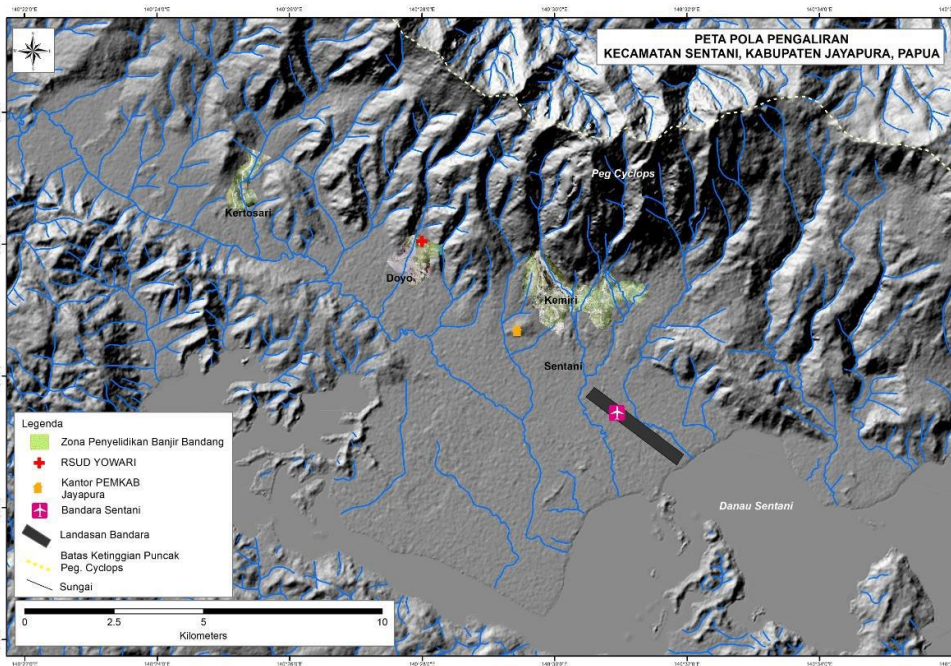
- DEM dan Orthophoto
- Input inisiasi titik awal aliran
- Input Volume
- Input Friksi ( $\mu$  dan  $\xi$ )
- Massa Jenis Batuan
- Kohesi
- Debit (Untuk model Hydrograph)





Volume	1000000, 2000000, 3000000 (m <sup>3</sup> )
μ	0,01
ξ	700 m/s <sup>2</sup>
c (Kohesi)	0
Debit	2838 m <sup>3</sup> /detik



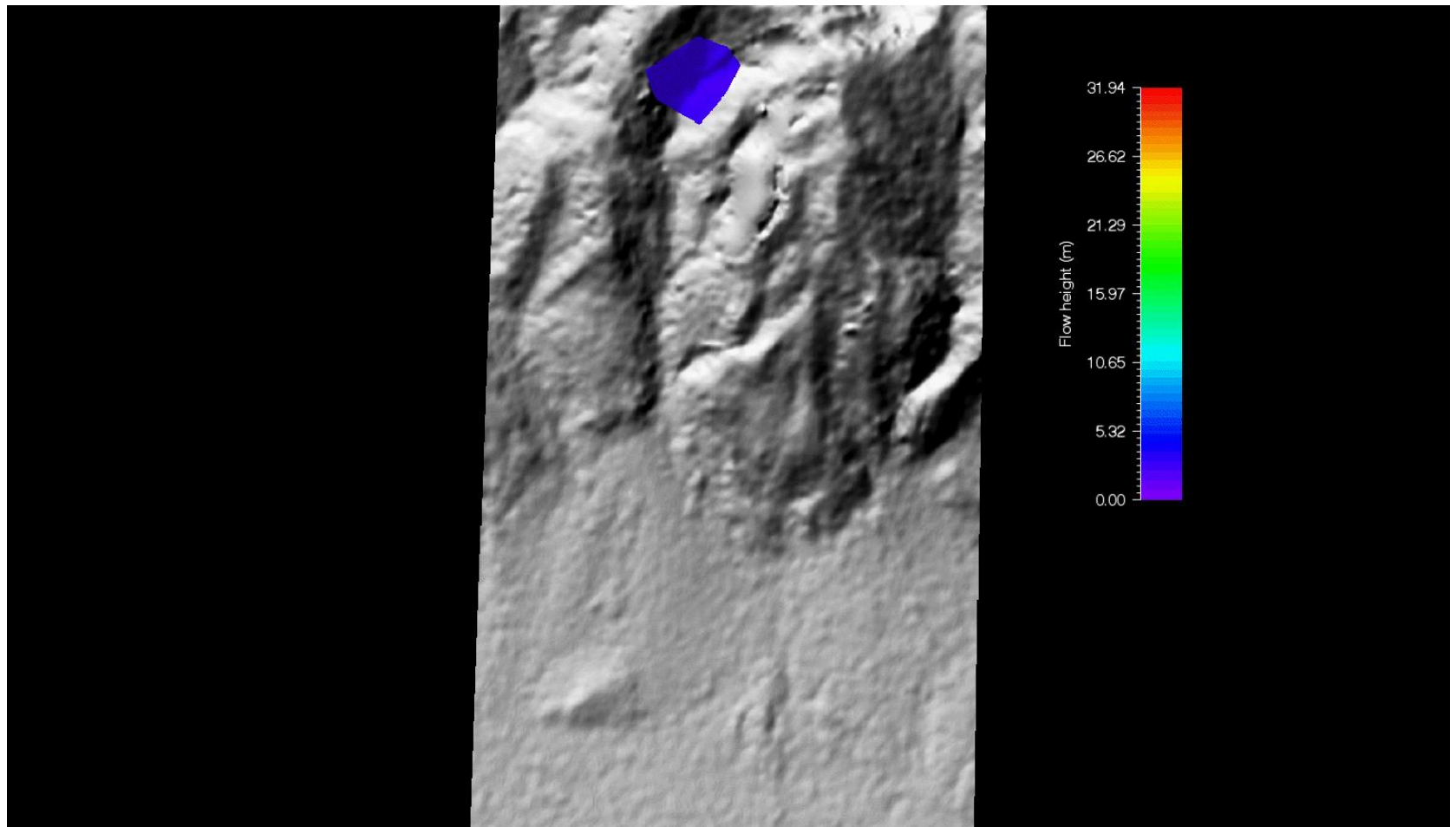


- **Daerah hulu yang merupakan sumber bencana** berada pada areal yang memiliki karakteristik bentang alam **Perbukitan struktural lipatan bermaterial batuan metamorfik (Rendah dalam Menyerap Air Hujan)** merupakan bentang alam yang terbentuk karena adanya proses geologi berupa tekanan yang mengakibatkan terlipatnya struktur lapisan batuan.
  - **Morfologinya** bagian hulu/ perbukitan dicirikan oleh **topografi berbukit dengan kelereng >15° dan ketinggian 0–300 m.**
  - **Material penyusunnya** berupa batuan metamorfik atau batuan malihan yaitu batuan yang terbentuk sebagai akibat dari berlangsungnya tekanan dan temperatur.

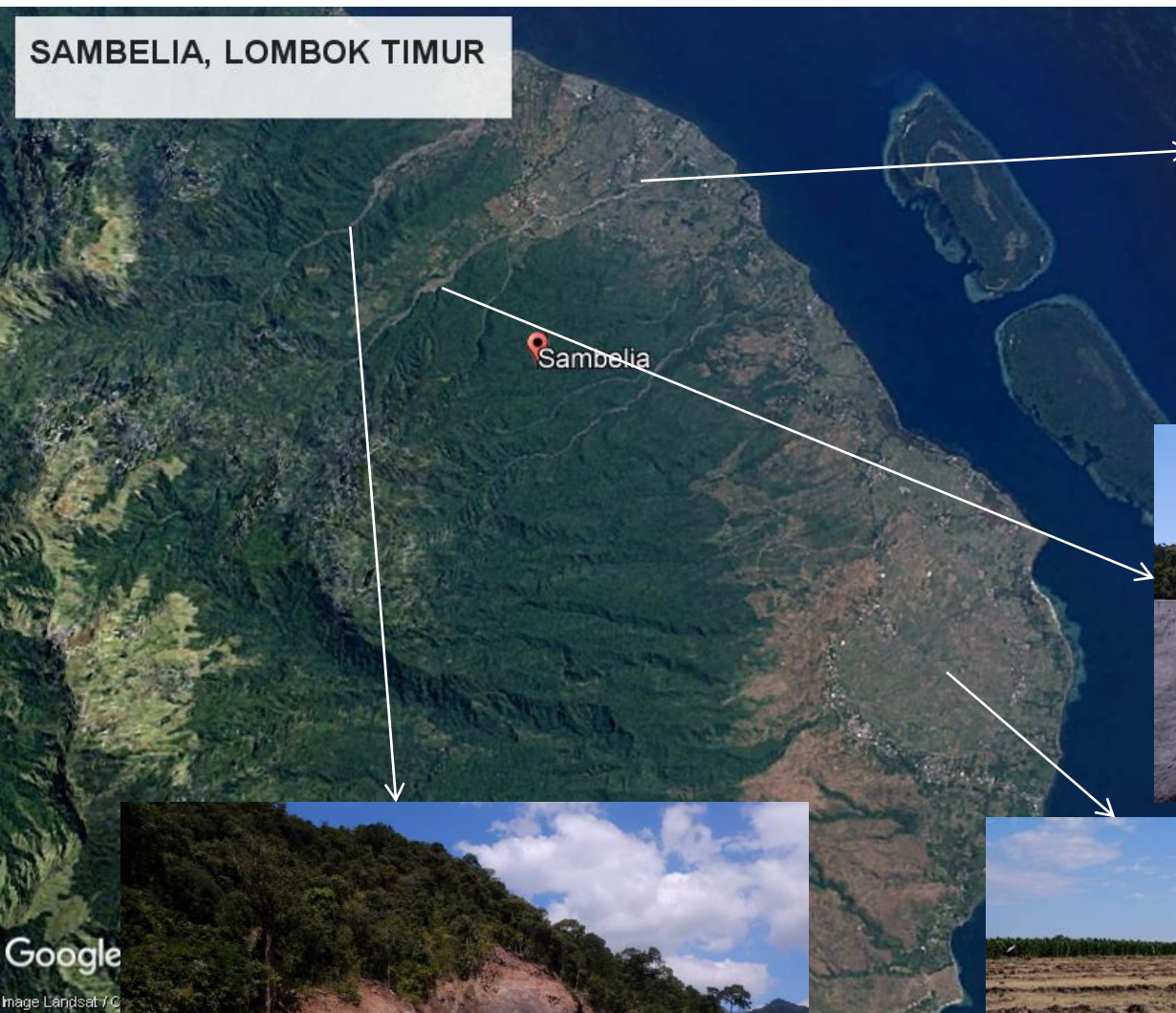
Pada bagian hilir atau daerah terlanda merupakan wilayah pedataran (miringan lereng) yang bermuara di



# MODEL – ALIRAN BAHAN ROMBAKAN/ BANJIR BANDANG SENTANI



# SAMBELIA, LOMBOK TIMUR



Google  
Image Landsat 7/C



[www.geologi.esdm.go.id](http://www.geologi.esdm.go.id)



[@kabargeologi](https://twitter.com/kabargeologi)



Badan Geologi



Badan Geologi

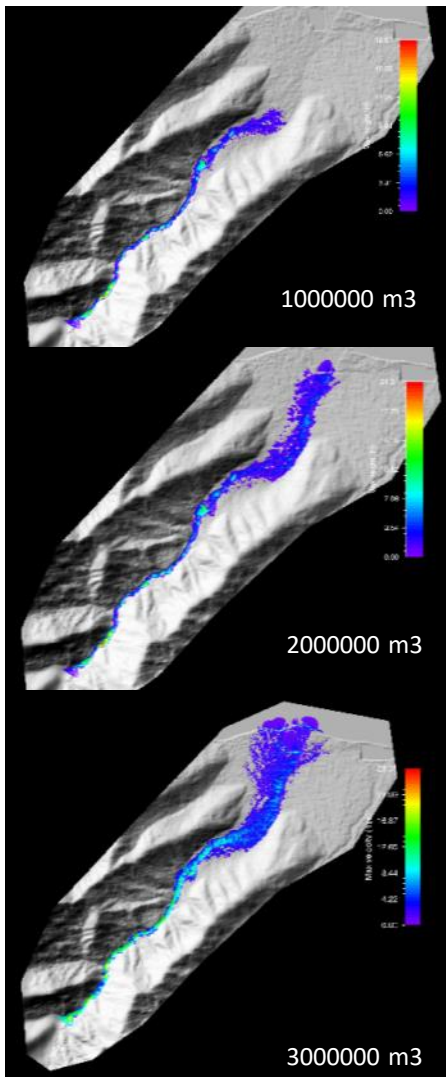


[@kabargeologi](https://www.instagram.com/kabargeologi)

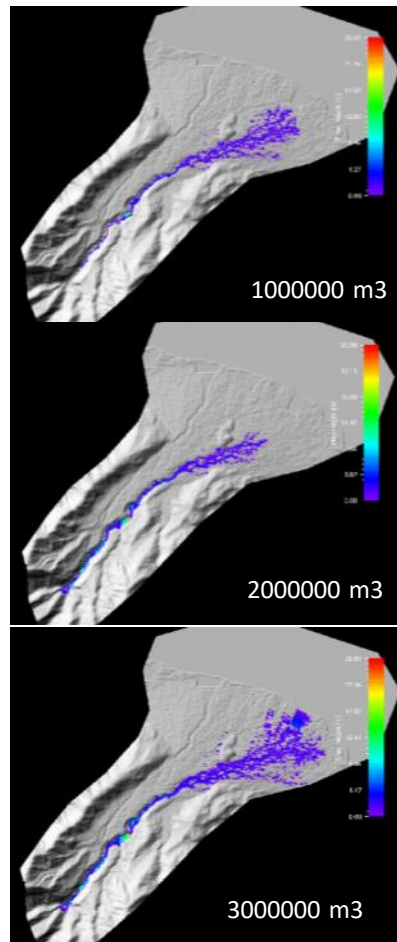


# Hasil Pemodelan

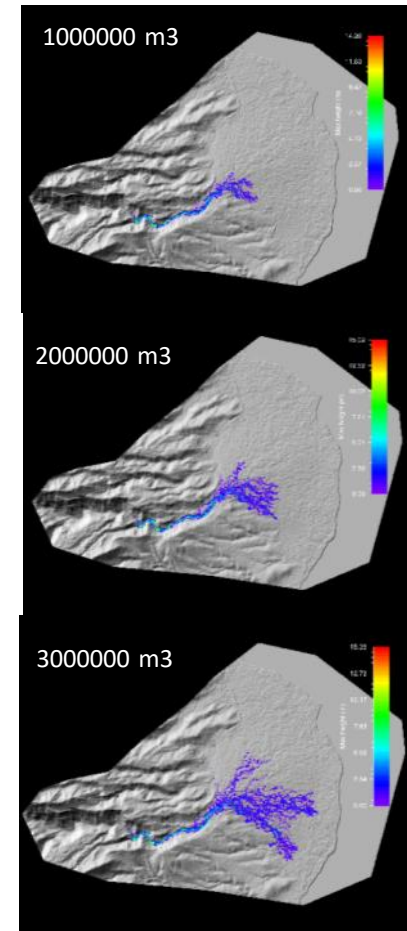
Volume	1000000, 2000000, 3000000 (m <sup>3</sup> )
$\mu$	0,01
$\xi$	700 m/s <sup>2</sup>
c (Kohesi)	0
Debit	2838 m <sup>3</sup> /detik (Hidayani, 2015)



(Kokok Padamekan)



(Kokok Nangka)



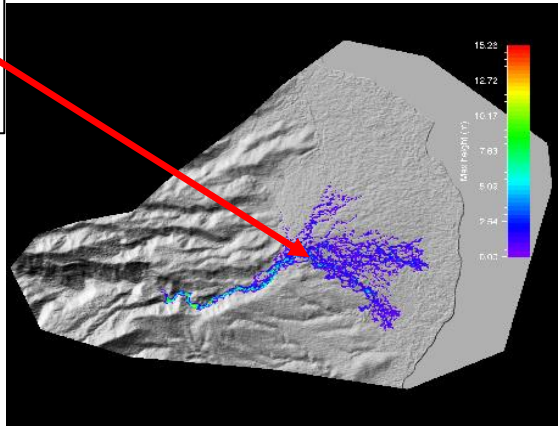
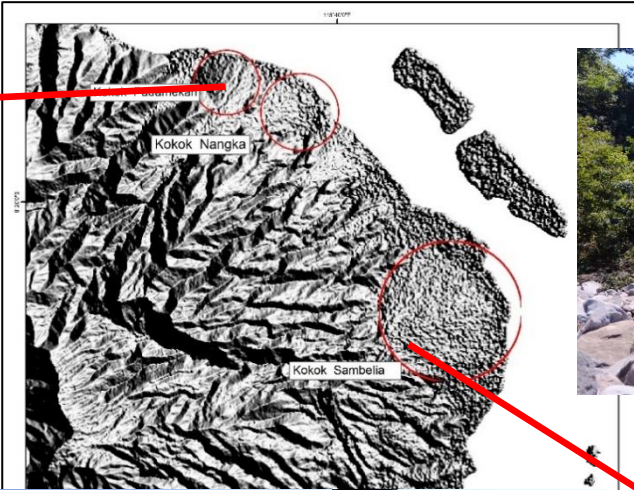
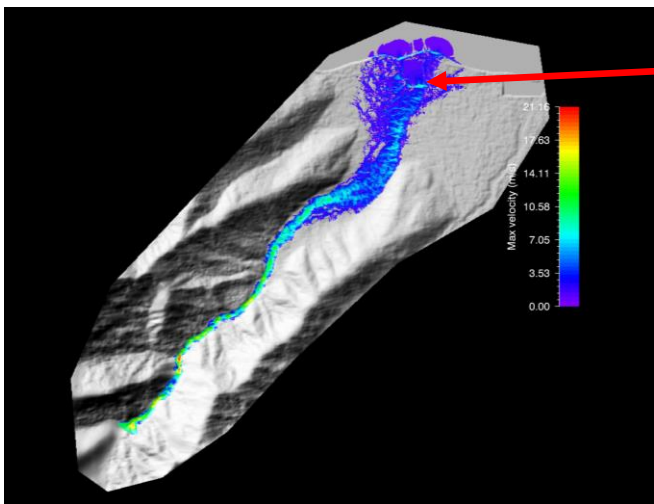
(Kokok Sambelia)





# LOKASI YANG PUNYA POTENSI DEBRIS FLOW DI MODELKAN DENGAN RAMMS

**RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation)** merupakan perangkat lunak untuk pemodelan numerik dinamik yang didesain awalnya untuk pemodelan longsoran salju (*snow avalanches*) (Christen et al., 2010). Kemudian diaplikasikan untuk pemodelan aliran massa yang lain seperti lahar (Quan Luna, 2007) dan aliran debris (Kowalski, 2008). RAMMS menggunakan model kontinum aliran fluida Voellmy-Salm (Salm, 1993) berdasarkan hukum aliran fluida Voellmy.



Sedangkan untuk daerah yang mempunyai potensi aliran bahan rombakan atau daerah kipas aluvial akan dilakukan Pemodelan Aliran Bahan Rombakan dalam skala yang lebih detail.

## PEMETAAN DEBRIS FLOW



[www.geologi.esdm.go.id](http://www.geologi.esdm.go.id)



@kabargeologi



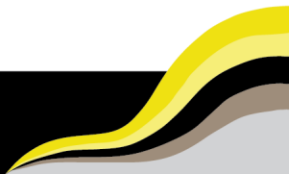
Badan Geologi



Badan Geologi



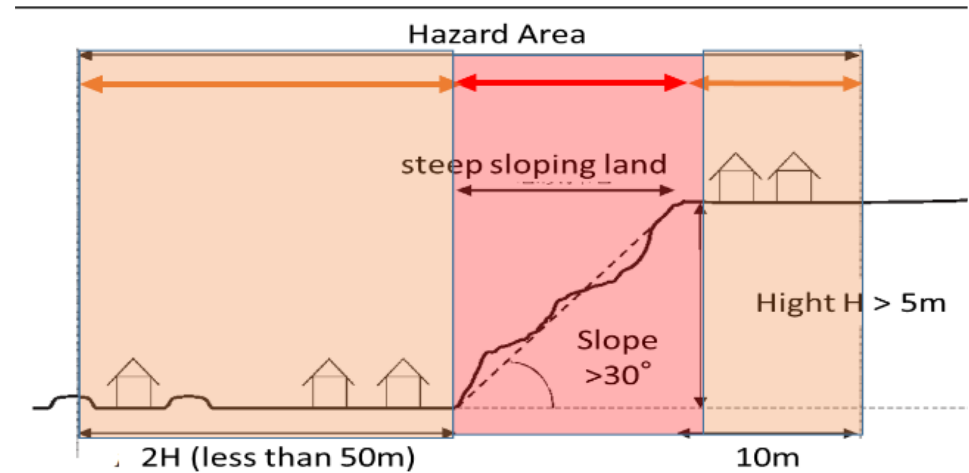
@kabargeologi



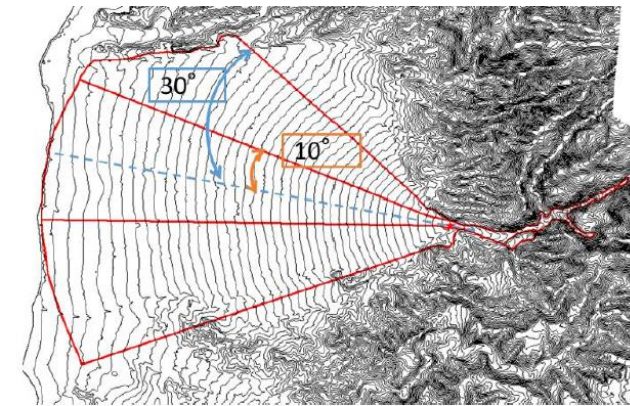
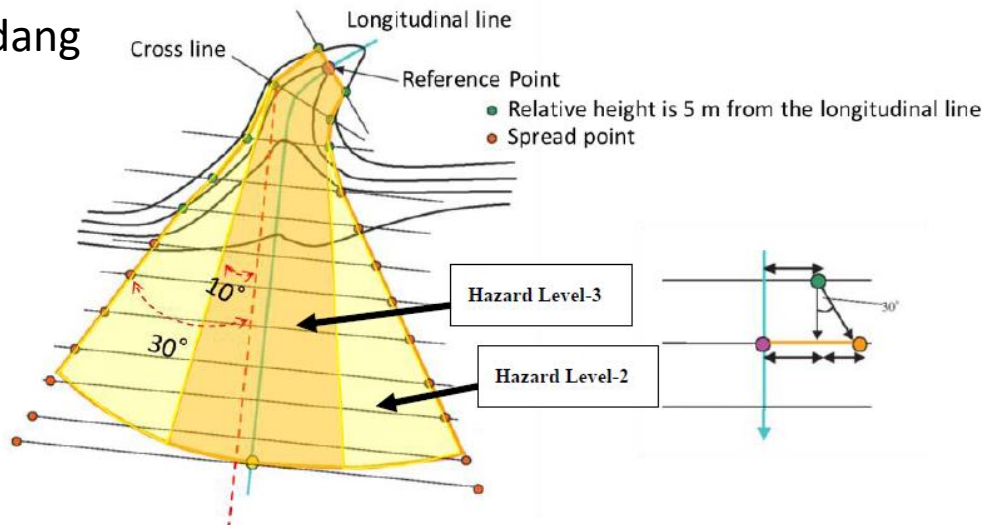
# SARAN JUKNIS DARI JICA TERKAIT SEDIMEN DISASTER, 2019

## STEEP SLOPE COLAPSE

Hazard Level	Slope and Height of steep sloping land
4	Slope $\geq 30^\circ$ and Height $\geq 5m$
3	Around Hazard Level 4
2	$30^\circ > \text{Slope} \geq 9^\circ$
1	$9^\circ > \text{Slope}$



## Aliran Bahan Rombakan/ Banjir Bandang



# KESIMPULAN

Metode Statistik	Metode Deterministik
Dikembangkan dengan dari kejadian gerakan tanah dan dikaitkan dengan peta parameter pengontrol	Dikembangkan atas dasar Persamaan FS atau FK. Sehingga diperlukan peta-peta variable dalam persamaan FK atau FS
Lebih tepat untuk skala menengah, dibutuhkan kejadian gerakan tanah dan peta-peta pengontrol gerakan tanah	Lebih tepat untuk skala detil, area yang sempit dan data mekanika tanah yang lengkap
Banyak metode dalam pemetaan gerakan tanah statistik ini. Pembagian kelas gerakan tanah menjadi hal yang krusial karena bisa menyebabkan overestimate atau underestimate	Persamaan keamanan lereng dapat dikembangkan menjadi berbagai macam persamaan persamaan yang biasanya biasanya atas dasar asumsi bentuk bidang gelincir. Ketidakhati2an dalam penyiapan peta parameter → hasil tidak akurat (Garbage in Garbage out)

- Pengembangan metode pemetaan gerakan tanah dengan memanfaatkan database gerakan tanah akan mempercepat ketersediaan peta untuk skala menengah mengingat banyaknya area rawan gerakan tanah di Indonesia, namun demikian untuk Kawasan strategis pemetaan deterministic sangat diperlukan pada daerah tersebut dan pemodelan debris flow karena tipe Gerakan tanah yang sangat membahayakan terutama pada daerah yang berdekatan dengan sungai atau daerah kipas aluvial
- Perkembangan berbagai macam Software, Arc GIS, perangkat lunak akan mempermudah dalam pekerjaan geoscience, namun harus tidak melupakan basic konsep dari ilmu kebumihan itu sendiri
- DEM menjadi factor yang sangat penting dalam pemetaan gerakan tanah dan pemodelan aliran bahan rombakan



# TERIMA KASIH

Tidak bisa bekerja sendirian,  
harus berkolaborasi



Badan Geo

Tradisi Mapalus  
Minahasa, Sulawesi Utara