

## **Survei ketakselanjaran dan ragam kegagalan cerun di Lebuh Raya Timur-Barat**

### **(Discontinuity Survey and Mode of Rock Slope Failure along the East-West Highway)**

TAJUL ANUAR JAMALUDDIN

Jabatan Geologi, Universiti Malaya, Kuala Lumpur

**Abstrak:** Survei ketakselanjaran telah dijalankan pada beberapa buah cerun potongan di lebuh raya Timur-Barat. Survei ini menggunakan teknik garis pengimbasan dan mengambilkira parameter jenis, jarak pisahan, orientasi, panjang, bukaan, bahan pengisi, kekasaran permukaan ketakselanjaran serta kehadiran air pada ketakselanjaran. Panjang ketakselanjaran dijelaskan secara lebih terperinci dengan menjelaskan kehadiran dan darjah keterusannya pada singkapan. Parameter blok dan saiz batuan juga diambilkira untuk menjelaskan kepadatan relatif ketakselanjaran pada jasad batuan.

Data daripada survei ketakselanjaran dapat digunakan untuk menilai Penanda Mutu Batuan (PMB). Hasilnya menunjukkan jasad batuan yang dikaji mempunyai nilai PMB sekitar 65% - 85%. Plot stereografi ketakselanjaran menunjukkan kebanyakan cerun memperlihatkan ragam kegagalan baji, satah, tebalikan, atau gabungan lebih daripada satu ragam kegagalan. Penggunaan konsep Ujian Markland dapat membantu mengecami satah ketakselanjaran genting dan meramalkan potensi kegagalan cerun batuan.

**Abstract:** Discontinuity survey has been conducted on rock slopes along the East-West Highway. This survey carried out scan line technique and taken into accounts parameters such as type, spacing, orientation, length, aperture, infilling, surface roughness of the discontinuity and the water conditions in the discontinuity plane. The length of discontinuity was described in more details by considering their exposure and degree of persistence in the outcrop. The shape and size of the rock blocks parameters were also considered in order to describe the relative density of the discontinuity in the rock mass.

The data obtained from the discontinuity survey were then used to evaluate the Rock Quality Designation (RQD). The results showed that the studied rock masses have a RQD value around 65% - 85%. The stereographic plots of the discontinuities revealed that most of the rock slopes has a potential to fail either in a mode of wedge, plane, and toppling failure, or a combination of more than one mode of failure. The Markland Test concept can be used to identify the critical discontinuity plane and eventually forecasting the potential of rock slope failure.

#### **PENGENALAN**

Lebuh raya Timur-Barat terbentang di bahagian utara Semenanjung Malaysia, menghubungkan Kampong Jeli Kelantan dengan bandar Gerik

Perak. Laluan lebuh raya ini terletak pada altitud di antara 100 m hingga 1,050 m dari paras laut. Kira-kira 90 km daripada 117 km atau 75% daripada laluan lebuh raya ini merentasi kawasan berbukit-bukau dan bergunung-ganang serta berhutan hujan tropika yang tebal.

Sejak pembukaan Lebuh Raya Timur-Barat kepada lalu-lintas umum pada bulan Julai 1982, kegagalan cerun menjadi masalah kejuruteraan yang paling genting. Kajian kegagalan cerun yang dilakukan pada bulan November-Disember 1988 mendapati sebanyak 128 buah cerun telah gagal. Daripada jumlah ini sebanyak 85 kes melibatkan kegagalan cerun potongan batuan. Selebihnya melibatkan kegagalan cerun tambakan atau tambakan-potongan. Kehadiran ketakselarangan merupakan satu daripada penyebab utama kepada masalah ketakstabilan cerun potongan batuan. Faktor-faktor lain seperti darjah perluluhawaan bahan, tindakan air larian permukaan dan air bawah tanah, langkah penstabilan cerun yang kurang memuaskan, serta kelemahan pada rekabentuk cerun juga dikenalpasti sebagai penyebab kegagalan cerun (Tajul Anuar Jamaluddin, 1990).

Kekar merupakan struktur ketakselarangan utama pada semua jenis jasad batuan. Satah perlapisan merupakan satah ketakselarangan utama pada batuan sedimen/metasedimen, manakala foliasi menjadi satah ketakselarangan utama pada batuan metamorf. Sesar dan retakan juga boleh menjadi satah ketakselarangan utama pada kebanyakan jasad batuan.

Kajian ini cuba menjelaskan secara terperinci keadaan ketakselarangan, orientasi dan kehadirannya pada jasad batuan, serta meramalkan potensi ragam kegagalan cerun batuan.

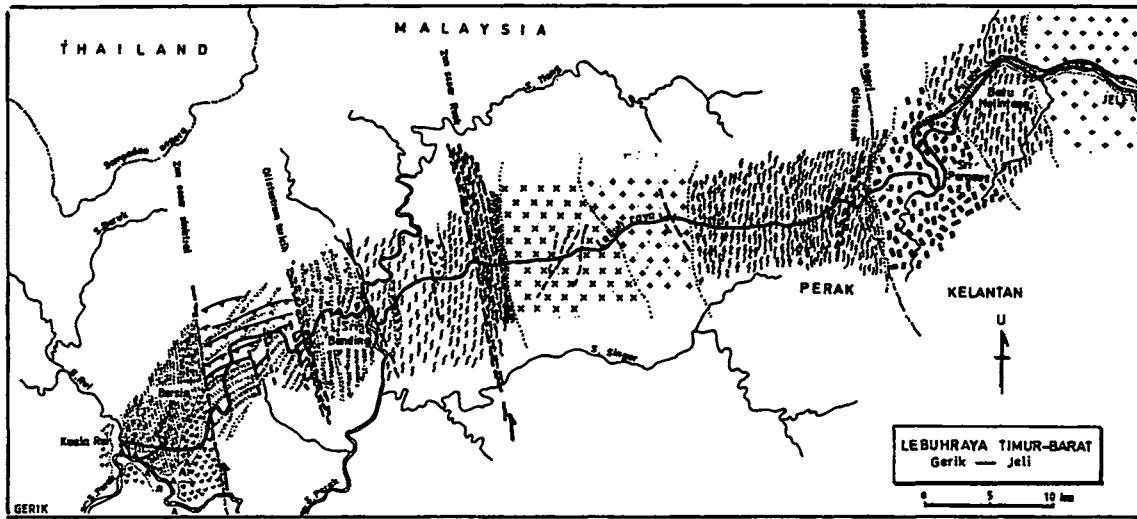
## GEOLOGI

Kajian dan pemetaan geologi di kawasan sekitar Lebuh Raya Timur-Barat telah dijalankan oleh beberapa pengkaji terdahulu sejak sebelum terbina lebuh raya ini. Bagaimanapun, maklumat tersebut tidak terkumpul dalam suatu bentuk laporan khusus yang merangkumi keseluruhan kawasan sepanjang lebuh raya. Di antara pengkaji yang telah menjalankan penyiasatan geologi di sekitar daerah Gerik ialah Jones (1970), Van Klinko dan Ho (1982). Kajian geologi di kawasan sepanjang Lebuh Raya Timur-Barat antara Sri Banding hingga Km 0, Gerik telah dilakukan oleh Tan (1984), Kamal Roslan (1984, 19850, Zulkifli Salleh (1984), Mohd Zaini Madi (1984), Mohd Ashri Muda (1984), dan Jasmi Talib (1984). Bahagian timur kawasan lebuh raya pula telah dikaji oleh Abdul Halim Mohd Yussof (1987), Syed Sheikh Al Mashoor (1987), Syed Sheikh Al Mashoor dan Tjia (1987), Santokh Singh *et al.* (1984) dan Wong (1974).

Pemetaan geologi ke seluruh kawasan sepanjang Lebuh Raya Timur-Barat telah dilakukan oleh MAA (1983), Ibrahim Komoo dan Abdul Ghani

KEGAGALAN CERUN LEBUH RAYA TIMUR-BARAT

209



PETUNJUK

NETASEDINEN FORMASI BALING  
(PALEOZOIK BAWAH)

Syal, syal-filit bersilika dan rijang,

Metatuf

Syal, syal berkarbon, sabak, filit serta sedikit selang lapis dengan metagreinak, metakuarzit dan batu lodak. Rijang dan syal bersilika hadir di beberapa bahagian.

Selang-lapis metagreinak, metakuarzit, dengan batu lodak, syal, syal-subfilit. Kadang-kadang bercampur dengan bahan piroklastik tuf.

BATUAN METAKORF  
(TPRA-BILIR - PERI)

Terutamanya filit dan sedikit filit bertuf.

Terutamanya batuan metakorf rantau, skis, metakuarzit, filit, dan sedikit gnis. Sedikit jalur hornfels dan marmar hadir pada tepian jasad granit di timur.

BATUAN IGNEUS REJAHAN  
(MESOZOIK)

Granit biotit-boreblend

Granit - granodiorit biotit berbutir kasar, porfirit.

Granit - granodiorit biotit, berbutir halus-sederhana.

Endapan aluvium Resen

----- Sempadan litologi

--- Besar

Rajah 1: Peta geologi am kawasan Lebuhraya Timur-Barat.

Rafek (1988, 1989) dan akhir sekali oleh Tajul Anuar Jamaluddin (1990). Maklumat geologi am kawasan kajian ditunjukkan dalam Rajah 1.

Geologi kawasan sepanjang Lebun Raya Timur-Barat dicirikan oleh kepelbagaiannya jenis litologi dan struktur. Jujukan sedimen-piroklas Formasi Baling seperti batu pasir greiwak, batu lodak, syal, rijang dan sedikit tuf; mendasari bahagian barat lebuh raya. Jujukan batuan Formasi Baling umumnya telah termetamorf secara rantau dan dinamik menghasilkan batuan metasedimen dan metamorf bergred rendah seperti metagreiwak, metatuf, sabak, flit dan sedikit skis. Bahagian tengah hingga timur lebuh raya terutamanya di dasari oleh batuan metamorfisme rantau berfasies skis hijau hingga amfibolit awal, seperti flit, flit sub skis, skis kuarza-mika, skis mika, skis amfibol, metakuarzit dan sedikit gneis. Jasad granitoid, granit biotit berbutir halus hingga sederhana dan yang berbutir kasar hingga bertekstur porfirit di dapati dibahagian tengah kawasan kajian. Jasad granit biotit-horblend atau granit samar berusia Kapur (Santokh Singh *et al.*, 1984) tersingkap di bahagian timur, disekitar Batu Melintang hingga Sri Pergau.

Trend struktur geologi di kawasan kajian umumnya selaras dengan trend struktur rantau Semenanjung Malaysia. Jujukan batuan metamorf-metasedimen terlipat ke dalam siri lipatan yang secara kasarnya berjurusan paksi sekitar utara-selatan. Pengaruh tegasan mampatan pada arah timur-barat menghasilkan beberapa buah zon sesar sungkup yang mengimplikasi angkutan tektonik ke arah barat hingga baratdaya dan pembentukan beberapa buah zon olistostrom tericih.

### **SURVEI KETAKSELANJARAN**

Pengaruh ketakselanjaran terhadap sifat kejuruteraan jasad batuan sangat penting dan telah lama diperbincangkan oleh pakar-pakar geoteknik. Berbagai-bagai kaedah survei telah dikemukakan oleh pengkaji terdahulu untuk kajian ketakselanjaran pada jasad batuan. Kepelbagaiannya yang dikemukakan itu terutama berpunca daripada kelainan parameter yang digunakan, tujuan survei dan tabii projek kejuruteraan yang bakal dilaksanakan.

Berpandukan kaedah pemerihalan kualitatif ketakselanjaran oleh ISRM (1978) dan IAEG (1981), kaedah garis pengimbasan oleh Priest dan Hudson (1976), serta kaedah pengukuran ketakselanjaran di lapangan seperti yang dicadangkan oleh Geotechnical Control Office Hong Kong (1981), Ibrahim Komoo dan Ibrahim Abdullah (1983) serta Brady dan Brown (1985), maka suatu kaedah survei telah direncanakan khusus untuk tujuan survei di Lebuh Raya Timur-Barat.

Survei ketakselanjaran ini menggunakan teknik garis pengimbasan yang

direntang pada pemukaan potongan cerun batuan. Rajah 2 menggambarkan maksud garis pengimbasan dan beberapa terminologi biasa ketakselanjaran. Pemilihan garis pengimbasan pula bergantung kepada orientasi umum ketakselanjaran dan panjangnya pula bergantung kepada ketumpatan set-set ketakselanjaran. Daripada pengalaman lapangan, didapati teknik garis pengimbasan ini ada limitasinya. Teknik garis pengimbasan tidak dapat digunakan sekiranya permukaan cerun terlalu kasar atau merbahaya untuk dicapai. Alat pengukuran jarak antara ketakselanjaran semakin besar jika permukaan cerun terlalu kasar.

Maklumat berikut dicatat bagi setiap ketakselanjaran yang menyilangi garis pengimbasan :

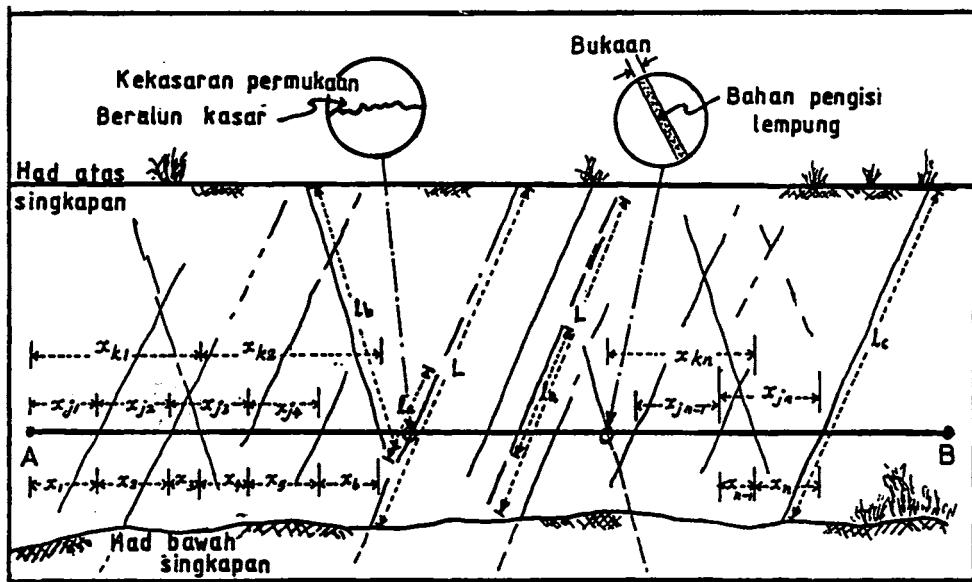
- i. **Jarak pisahan** – iaitu jarak di antara ketakselanjaran dengan titik datum sepanjang garis pengimbasan. Titik datum ialah titik permulaan pada garis pengimbasan yang ditandai juga sebagai jarak sifar. Setiap jarak pisahan antara ketakselanjaran dirujuk dari titik ini dan dinyatakan dalam unit meter.
- ii. **Jenis ketakselanjaran** – sama ada ketakselanjaran itu berupa kekar, satah perlapisan, foliasi, sesar, rekahan, retakan atau sebarang jenis pecahan pada jasad batuan yang diketahui menyebabkan keuatan tegangannya menjadi atau menghampiri sifar.
- iii. **Orientasi ketakselanjaran** – iaitu kedudukan jurus dan kemiringan ketakselanjaran dalam ruang. Parameter ini diukur dengan menggunakan kompas geologi dan klinometer.
- iv. **Panjang ketakselanjaran** – setiap satah ketakselanjaran diukur panjangnya dari hujung ke hujung dan dinyatakan dalam unit meter. Untuk kemudahan lazimnya panjang ketakselanjaran cuma dianggarkan.

Pengukuran panjang ketakselanjaran juga seharusnya mengambilkira kehadirannya pada singkapan. Kehadirannya boleh dijelaskan samada ;

1. **Terdedah kedua-dua hujung.**
2. **Tersembunyi satu hujung, atau**
3. **Tersembunyi kedua-dua hujung.**

Maksud parameter ini juga digambarkan dalam Rajah 2.

Satu lagi aspek panjang ketakselanjaran yang penting ialah **keterusan**. Keterusan ketakselanjaran penting kerana ia dapat membantu menjelaskan pengunjuran luas atau saiz ketakselanjaran dalam satah. Parameter ini sukar ditentukan, melainkan secara anggaran (Brady dan Brown, 1985).



AB Garis pengimbasan

$x_{j1}$  Jarak set ketakselanjaran j yang pertama

$x_{k1}$  Jarak set ketakselanjaran k yang pertama

$x_i$  Jarak ketara antara ketakselanjaran

L Panjang surihan ketakselanjaran

$l_a$  Panjang ketakselanjaran yang menyilangi garis pengimbasan; terdedah kedua-dua hujung

$l_b$  Panjang ketakselanjaran yang menyilangi garis pengimbasan; terdedah satu hujung

$l_c$  Panjang ketakselanjaran yang menyilangi garis pengimbasan; tersembunyi kedua-dua hujung

Rajah 2: Garis pengimbasan dan beberapa terminologi ketakselanjaran. (Ubahsuai daripada Ibrahim Komoo dan Ibrahim Abdullah, 1983).

ISM (1978) mencadangkan keterusan ketakselanjaran ditentukan dengan cara mengukur panjang surihan ketakselanjaran yang terdedah pada permukaan jasad batuan. Rajah 3 menggambarkan keterusan relatif ketakselanjaran pada jasad batuan. Keterusan ketakselanjaran dikelaskan seperti dalam Jadual 1.

- v. **Bukaan** - iaitu kerenggangan satah ketakselanjaran, atau jarak menegak di antara dua permukaan sebelah dalam sesuatu ketakselanjaran. Bukaan ketakselanjaran dikelaskan seperti dalam Jadual 2.
- vi. **Kekasaran permukaan** - biasanya parameter ini sukar untuk ditentukan, melainkan sekiranya permukaan satah ketakselanjaran itu terdedah dan dapat diraba dengan tangan. Oleh itu, di lapangan kekasaran permukaan ditentukan dengan melihat profil keratan rentasnya. Pengelasan profil kekasaran permukaan ketakselanjaran ditunjukkan dalam Rajah 4.
- vii. **Bahan pengisi** - sama ada satah ketakselanjaran itu bersih tanpa sebarang bahan pengisi, berwarna, tidak melekat atau diisi oleh bahan-bahan seperti lempung, pasir, tersimen oleh kuarza atau kalsit, breksia sesar atau sebagainya.
- ix. **Kehadiran air** - sama ada satah ketakselanjaran itu kering, lembab, basah atau mengalirkan air.

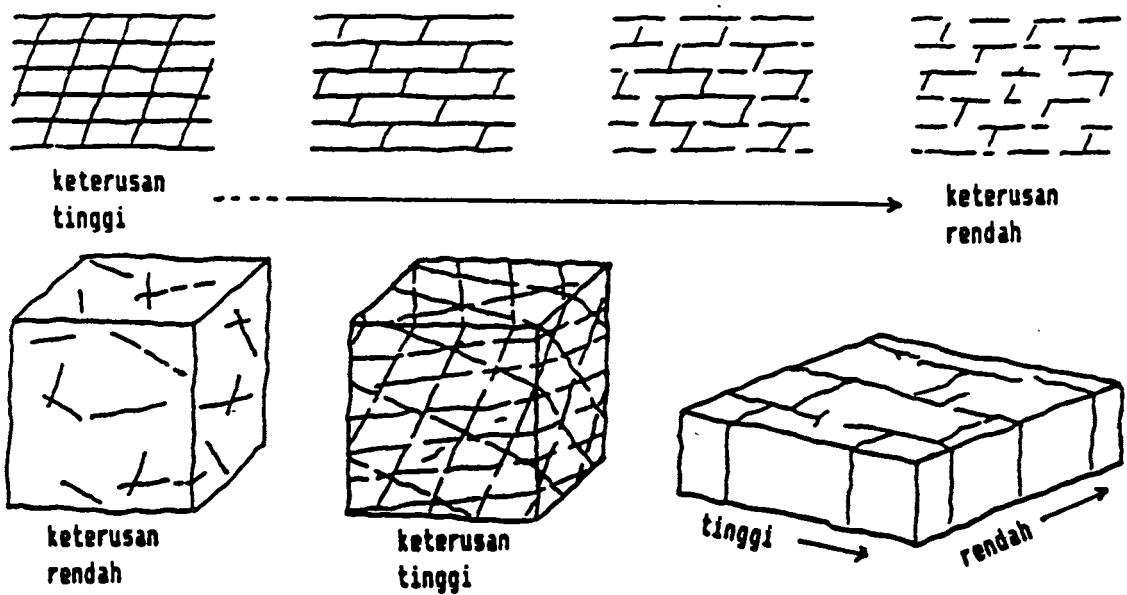
Dua lagi parameter yang diambil kira dalam survei ini ialah **bentuk** dan **saiz blok batuan**. Oleh sebab parameter ini hanya dapat dinilai dengan mencerap keseluruhan jasad batuan, maka ia ditentukan secara berasingan tanpa menghiraukan garis pengimbasan yang direntang pada permukaan cerun. Parameter ini penting kerana ia dapat menggambarkan ketumpatan dan keterusan relatif ketakselanjaran pada jasad batuan.

- x. **Bentuk dan saiz blok batuan** - dikelaskan kepada 7 jenis seperti yang dijelaskan dalam Rajah 5. Untuk penjelasan saiz blok pula, digunakan pengelasan seperti yang dicadangkan dalam Jadual 3.

Ke semua parameter yang dijelaskan di atas diringkaskan dalam bentuk model angka dan disusun aturkan ke dalam satu helaian yang dinamai Helaian Data Survei Ketakselanjaran (Rajah 6). Penggunaan helaian data ini semasa survei dapat meringkaskan kerja-kerja pemungutan data. Kerja-kerja survei juga dapat diseragamkan, mudah dan bersistem.

## ANALISIS KETAKSELANJARAN

Data daripada setiap garis pengimbasan diproses secara berasingan. Orientasi (jurus dan kemiringan) setiap ketakselanjaran diplotkan ke dalam



Rajah 3: Gambarajah lakaran menunjukkan darjah keterusan ketakselanjaran secara relatif pada jasad batuan (selepas ISRM, 1978).

JENIS	SIMBOL	PROFIL PERNUKAAN
Bertangga kasar	1	
Bertangga licin	2	
Bertangga berslikensid	3	
Beralun kasar	4	
Beralun licin	5	
Beralun berslikensid	6	
Bersatah rata kasar	7	
Berasatah rata licin	8	
Berasatah rata berslikensid	9	

Rajah 4: Pengelasan kekasaran permukaan ketakselanjaran (selepas ISRM, 1978).

**Jadual 1:** Pengelasan keterusan ketakselanjutan (selepas ISRM, 1978).

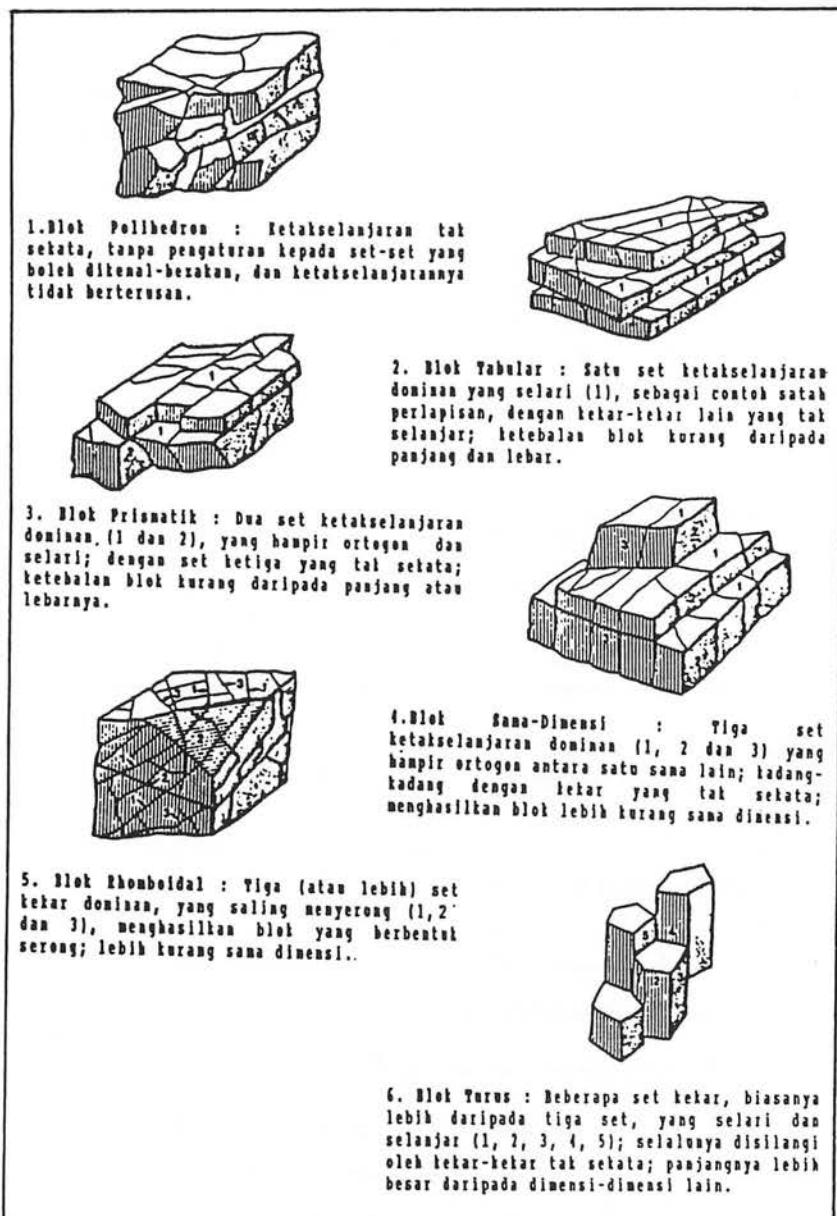
Keterusan	Simbol	Panjang surihan Ketakselanjutan (m)
Sangat Tinggi	1	>20
Tinggi	2	10-20
Sederhana	3	3-10
Rendah	4	1-3
Sangat Rendah	5	<1

**Jadual 2:** Pengelasan bukaan ketakselanjutan ISRM, (1978). (Bukaan ialah jarak menegak antara dua dinding dalam sesuatu ketakselanjutan).

Bukaan	Simbol	Jarak (mm)
Lebar	1	>200
Sederhana lebar	2	60-200
Sederhana sempit	3	20-60
Sempit	4	6-20
Sangat sempit	5	2-6
Ketat	6	<2

**Jadual 3:** Cadangan pengelasan saiz blok batuan.

Saiz Blok	Simbol	Saiz Purata (m)
Sangat besar	1	>3.0
Besar	2	1.0-3.0
Sederhana	3	0.3-1.0
Kecil	4	0.1-0.3
Sangat Kecil	5	<0.1



**Catatan:** Istilah "Blok terhancur" digunakan untuk menjelaskan blok batuan yang berketumpatan ketakselanjutan sangat tinggi; terorientasi dalam berbagai arah dan tak sekata; menghasilkan blok-blok bersaiz kecil atau puing-puing batuan berbagai dimensi.

**Rajah 5:** Pengelasan jenis blok batuan hasil daripada persilangan antara set-set ketakselanjutan (selepas IAEG, 1981).

**KEGAGALAN CERUN LEBUH RAYA TIMUR-BARAT**

Rajah 6 : HELAIAN DATA SURVEI KETAKSELANJARAN												NO.														
KETERANGAN UMUM												GEOLOGI:														
1. LOKASI :			3. PROJEK :			5. CUACA/HUBIR :																				
2. TAPAK :			4. PENGOPERASI :			6. TARikh :																				
ORIENTASI DAN CIRI KETAKSELANJARAN																										
NUMLAH DILAKUKAN	AWAR (%)	SINAR	L BUNIAK	M HUAH	P ANJANG LEBAR (m)	K ENARIAH LEBAR	K ETAKSEL JARAN	S UKAR PERAK	M IR KEDUA PERAK	X REK BERUNG	Z REK SAIZ	CATATAN														
															1											
															2											
															3											
															4											
															5											
															6											
															7											
															8											
															9											
															10											
															11											
															12											
															13											
															14											
															15											
															16											
															17											
18																										
KATEGORI PERKHIDMATAN (REFREKSI)				KELAHAN				KAWAH PERKHIDMATAN				KELAHAN AIR				REFREKSI AIR										
1. KERAP : (%)				1. LEBAR (3200m) -				1. BERANTAU, KASAR				1. KERTING				1. JENIS POLIMEDRON										
11. KERAP/LEBAR :				2. BERAHLA, LEBAR (50 - 200m)				2. BERARWA				2. LEBAR				2. * TABOLAK										
1. TERENDAH				3. BERAHLA, BERPIK (20 - 60m)				3. TIRAK RELEGAT				3. *				3. * PRISHA										
2. TERENDAH/1				4. BERPIK (6 - 20m)				4. LERPIK				4. BERALAH, KASAR				4. KARAL-DISEHENI										
(1 HUJUNG)				5. BAT, BERPIK (2 - 6m)				5. LERPIK ACTIF				5. *				5. * KARAL-DISEHENI										
3. TERENDAH/2				6. RETAK (2-6m)				6. PASIR				6. *				6. * TURUS										
(2 HUJUNG)								7. TERSEDIAH				7. BERSATAN DATO, KASAR				7. LAIR-LAIR/HANCUP										
2. KERAP				(III. KELAHAN (REFREKSI))				8. KLOPIT/SEPSUNG				8. *				8. LAIN-LAIN										
2. PERLAKUAN				1. BAT, TIMBUL > 20 m				9. BREKSI KESAR				9. *				9. LAIN-LAIN										
3. SULAS				2. TIMBUL 10 - 20 m				10. LAIN-LAIN								MILIK AIR										
4. DEBAR				3. KEMBARA												1. SST. DEBAR (< 3.0m)										
5. DEBARAN TENGSI				4. DEBARAN												2. DEBAR (1.0 - 3.0m)										
6. RETAKAT				5. KEMBARA												3. SEMERADA (0.2 - 1.0m)										
7. LAIR-LAIR				6. DEBARAN												4. CECEL (0.1 - 0.3m)										
				7. DEBARAN												5. SAMBAT DECEL (< 0.3m)										

**Rajah 6:** Helaian data survei ketakselanjaran.

unjuran sama luas (Jaringan Schmidt). Kaedah pemplotan boleh dirujuk daripada Philips (1971) atau Hoek dan Bray (1981).

Setelah ke semua bacaan orientasi ketakselanjaran diplotkan, peratus titik kutub untuk satu unit luas pada unjuran stereografi boleh dikontorkan. Hasilnya dapat menunjukkan orientasi yang mempunyai ketumpatan (peratus) kutub tertinggi. Bacaan orientasi satah yang diperolehi daripada ketumpatan kutub tertinggi ini boleh dianggap mewakili orientasi purata sesuatu set ketakselanjaran.

Setelah set-set ketakselanjaran daripada satu-satu garis pengimbasan ditentukan, analisis data untuk setiap set dilakukan secara statistik. Ini bertujuan untuk mendapatkan cirian utama bagi setiap parameter ketakselanjaran yang dipertimbangkan. Kaedah penilaian ini diuraikan secara mendalam oleh Ibrahim Komoo dan Ibrahim Abdullah (1983).

Oleh sebab jarak antara ketakselanjaran yang diukur di lapangan merupakan jarak ketara, maka pemawaian nilai jarak perlu dilakukan. Nilai jarak sebenar antara ketakselanjaran penting untuk memberikan gambaran sebenar ketumpatan ketakselanjaran. Rajah 7 menggambarkan bagaimana pemawaian jarak dapat dilakukan.

#### **Jarak piawai antara ketakselanjaran;**

$$X_p = X_{ji} \sin \theta \text{ atau}$$

$$= X_i \sin \theta \sin a$$

Menurut Ibrahim Komoo dan Ibrahim Abdullah (1983), ketumpatan ketakselanjaran ditakrifkan sebagai jumlah ketakselanjaran per unit panjang garis pengimbasan. Oleh itu, purata ketumpatan ketakselanjaran adalah berkadar sonsang dengan purata jarak  $X$  ;

#### **Ketumpatan ketakselanjaran, $\lambda = 1/X$**

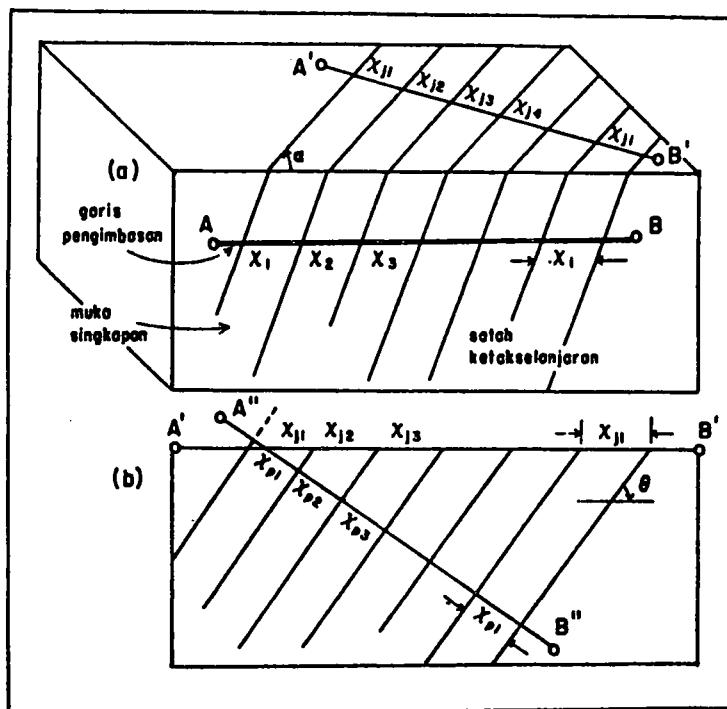
Berdasarkan kajian mendalam oleh Priest dan Hudson (1976), nilai Penanda Mutu Batuan (PMB) dapat dihitung dengan rumusan berikut ;

$$\text{PMB} = 100 e^{-0.1} (0.1 \lambda + 1)$$

### **RAGAM KEGAGALAN CERUN BATUAN**

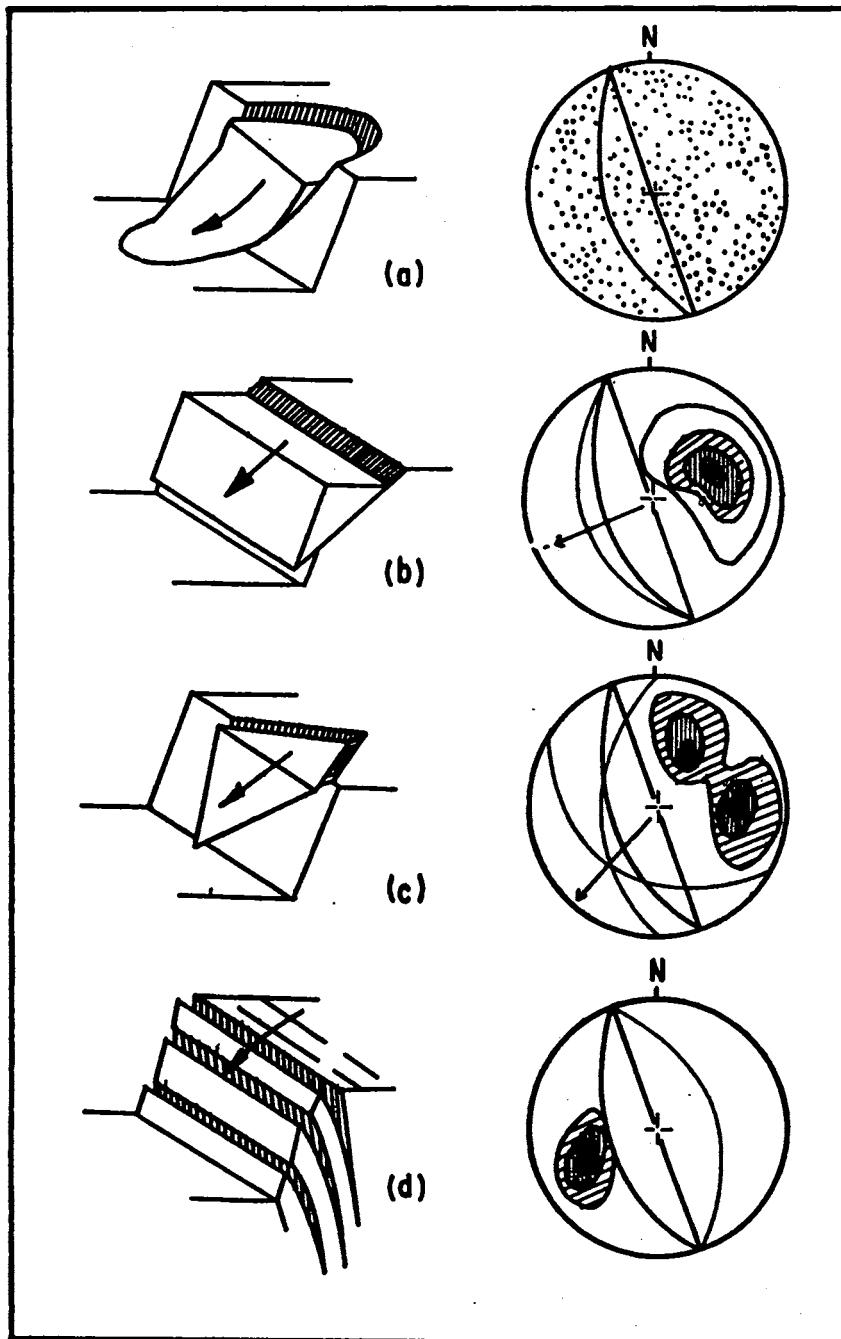
Daripada plot stereografi yang diperolehi, potensi dan ragam kegagalan cerun batuan dapat dinilai. Pada prinsipnya cerun batuan boleh gagal dalam 4 ragam asas : 1) kegagalan lingkaran, 2) kegagalan satah, 3) kegagalan baji, dan 4) kegagalan tebalikan (Rajah 8).

Konsep ujian Markland digunakan dalam kajian ini untuk menilai potensi kegagalan cerun batuan. Konsep asas ujian ini digambarkan dalam



- AB      Garis pengimbasan pada permukaan singkapan di lapangan
- A'B'     Garis pengimbasan bayangan yang diunjurkan serejang terhadap orientasi ketakselarangan di atas plan.
- A''B''    Garis pengimbasan sebenar.
- $x_i$       Jarak antara ketakselarangan ketara yang diukur di lapangan
- $x_{ji}$      Jarak terdekat antara ketakselarangan di atas plan  
 $= x_i \sin \alpha$
- $x_p$       Jarak piawai antara ketakselarangan  
 $= x_{ji} \sin \theta$   
 $= x_i \sin \alpha \sin \theta$
- $\alpha$       = sudut tirus di antara arah jurus dengan garis pengimbasan
- $\theta$       = sudut kemiringan satah ketakselarangan

Rajah 7: Rumusan pemawaian jarak antara ketakselarangan (selepas Ibrahim Komoo, et al., 1985).



Rajah 8: Ragam unggul kegagalan cerun batuan (selepas Hoek dan Bray, 1981).

Rajah 9. Perincian ujian ini boleh didapati daripada Hoek dan Bray (1981).

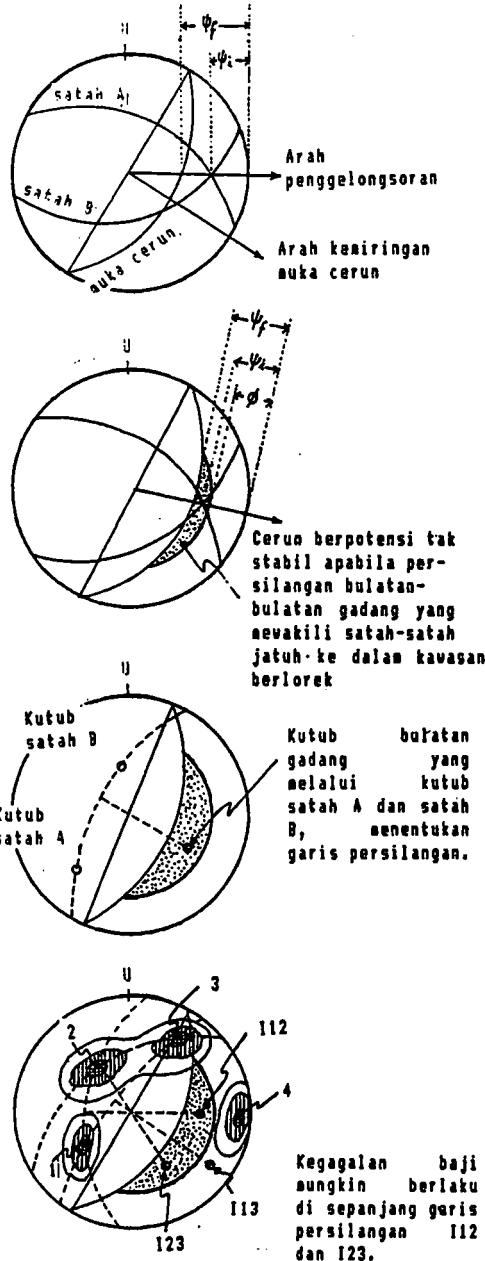
Ujian Markland direkabentuk khusus untuk melihat kebarangkalian potensi kegagalan baji. Ujian ini boleh juga digunakan untuk kes kegagalan satah kerana pada prinsipnya kegagalan satah adalah ubahsuaian daripada kegagalan baji.

Menurut ujian Markland, blok baji yang masih kekal pada kedudukan asalnya hanya boleh menggelincir sekiranya garis persilangan kedua-dua satah itu menyerlah ke muka cerun. Dengan lain perkataan tunjaman garis persilangannya mestilah kurang daripada kemiringan muka cerun ( $\psi_f < \psi_i$ ) yang diukur dalam arah penggelonsoran (Rajah 9a).

Dalam kes kegagalan baji, kestabilan atau faktor keselamatannya bergantung kepada tunjaman garis persilangan antara 2 satah ketakselanjaran, kekuatan rizih permukaan ketakselanjaran dan geometri baji (Hoek dan Bray, 1981). Seandainya baji tersebut diubahsuaikan kepada sekeping blok yang penggelincirannya cuma berlaku di sepanjang satu satah dengan kekuatan rizih satah tersebut hanya bergantung kepada geseran sahaja, maka di sini wujud suatu keadaan keseimbangan menghad. Dalam keadaan ini penggelinciran hanya terjadi apabila kemiringan satah tersebut melebihi sudut geseran  $\emptyset$ . Dengan itu penilaian utama kestabilan baji atau satah dibuat dengan mempertimbangkan sama ada tunjaman garis persilangan atau kemiringan satah kegagalan melebihi sudut geseran  $\emptyset$  atau sebaliknya.

Rajah 9b menunjukkan cerun yang berkeadaan tidak stabil kerana titik persilangan kedua-dua satah tersebut jatuh ke dalam kawasan **kun gesaran**. Melalui Ujian Markland juga kita boleh mengecam satah **genting** pada cerun. Sebagai contoh, pertimbangkan baji yang dibentuk oleh persilangan satah 2 dan 3 pada Rajah 9d. Didapati kutub yang mewakili satah 2 jatuh ke dalam sudut di antara arah kemiringan muka cerun dan garis persilangan I23. Jadi kegagalan akan berlaku melalui penggelinciran di sepanjang satah 2. Dengan itu bolehlah dibuat kesimpulan bahawa satah 2 merupakan satah paling **genting**. Untuk kes baji yang dibentuk oleh satah 1 dan 2 pula, penggelinciran dijangkakan berlaku disepanjang garis persilangan I12.

Berdasarkan prosedur yang dijelaskan ini, potensi kegagalan cerun batuan yang dikaji cuba dinilai. Bagaimanapun ujian ini hanyalah merupakan suatu langkah untuk mengenalpasti potensi ragam kegagalan cerun batuan. Setelah ianya dikenalpasti, analisis yang lebih terperinci perlu dilakukan untuk menentukan faktor keselamatan cerun. Menurut Hoek dan Bray (1981), pengalaman di lapangan menunjukkan analisis secara grafik ini didapati sesuai dan dapat digunakan dengan berkesan untuk kebanyakan masalah praktis.



**Rajah 9a:** Penggelongsoran di sepanjang garis persilangan satah A dan B berkemungkinan berlaku sekiranya tunjaman garis ini kurang daripada kemiringan muka cerun; yang diukur dalam arah penggelongsoran, ie.  $\psi_f > \psi_i$

**Rajah 9b:** Penggelongsoran dianggapkan berlaku apabila tunjaman garis persilangan melebihi sudut geseran, ie.  $\psi_f > \psi_i > \emptyset$

**Rajah 9c:** Perwakilan satah oleh kutubnya dan penentuan garis persilangan antara 2 satah melalui kutub bulatan gadang yang melintasi kutub kedua-dua satah itu.

**Rajah 9d:** Penilaian awal mengenai kestabilan cerun bersudut  $50^\circ$  pada jasad batuan yang mengandungi 4 set struktur ketakselarangan.

**Rajah 9:** Konsep ujian Markland (di dalam Hoek dan Bray, 1981).

## HASIL DAN PERBINCANGAN

Survei ketakselanjaran telah dijalankan pada 14 buah cerun potongan batuan di Lebuh Raya Timur-Barat. Data-data cirian ketakselanjaran direkodkan di dalam jadual tersedia. Plot stereografi kutub ketakselanjaran bagi setiap cerun dipersembahkan dalam Rajah 10 hingga 23.

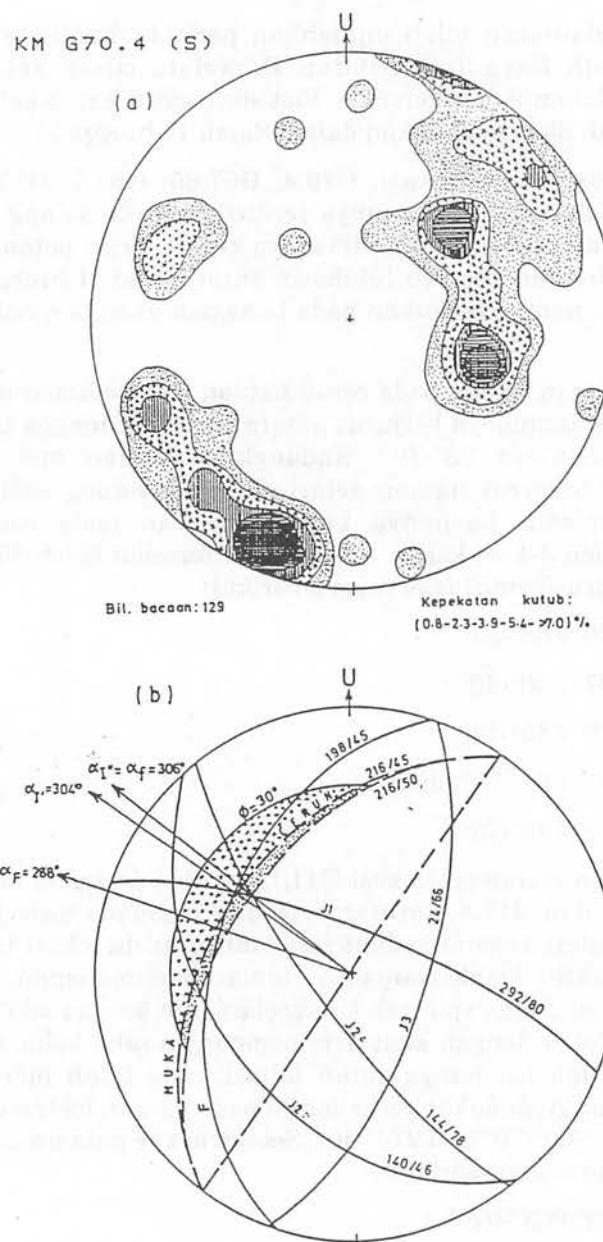
Cerun metasedimen, lokasi: G70.4, G67.65, G64.7, G63.95, G49.95, G46.25, G45.7, dan G42.5; umumnya terdiri daripada selang lapis batuan metagreiwak dan syal-sub filit. Biasanya cerun-cerun potongan tersebut mendedahkan batuan bergred luluhawa antara gred II hingga VI. Survei ketakselanjaran hanya dilakukan pada bahagian yang bergred luluhawa II hingga IV.

Ketakselanjaran utama pada cerun batuan metasedimen ialah struktur perlapisan, yang umumnya berjurus antara baratlaut hingga timurlaut dan berkemiringan antara  $25^{\circ}$ - $70^{\circ}$ . Kadangkala batuan metasedimen ini berfoliasi yang berjurus hampir selari atau menyerong sedikit daripada struktur perlapisan. Lazimnya ketakselanjaran pada cerun tersebut ditambah lagi oleh 3-4 set kekar. Kekar-kekar tersebut boleh dikelompokkan kepada 5 sela jurus/kemiringan seperti berikut:

- 1)  $252^{\circ}$ - $276^{\circ}$  /  $68^{\circ}$ - $84^{\circ}$ ,
- 2)  $288^{\circ}$ - $337^{\circ}$  /  $36^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ,
- 3)  $000^{\circ}$ - $040^{\circ}$  /  $45^{\circ}$ - $74^{\circ}$ ,
- 4)  $060^{\circ}$ - $101^{\circ}$  /  $64^{\circ}$ - $80^{\circ}$ , dan
- 5)  $140^{\circ}$ - $212^{\circ}$  /  $46^{\circ}$ - $78^{\circ}$ .

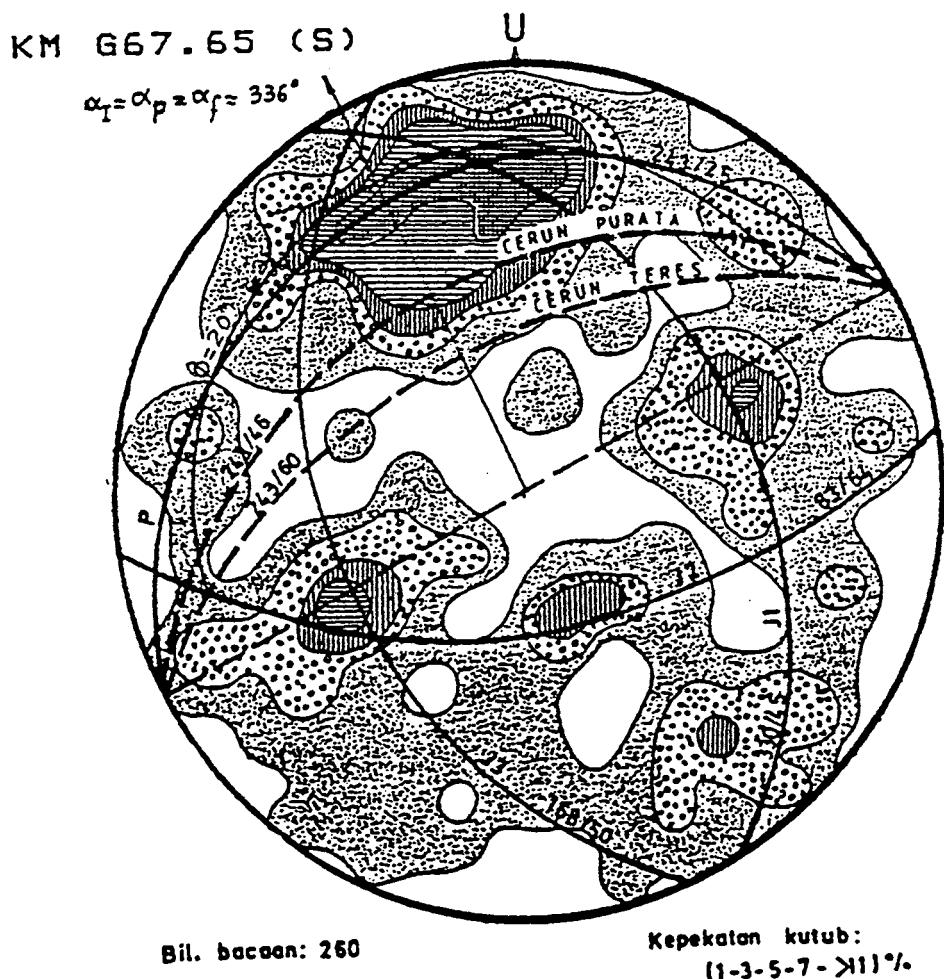
Cerun batuan metamorf, lokasi G41.15; terdiri daripada filit, manakala di lokasi G6.8 dan J11.8, terutama terdiri daripada skis kuarza-mika dan/atau metakuarzit, serta sedikit skis amfibol pada lokasi G30.2. Foliasi merupakan struktur ketakselanjaran utama. Bagaimanapun, tidak semua satah foliasi boleh dianggap satah ketakselanjaran kerana ada di antaranya yang masih melekat dengan kuat dan mempunyai nilai kekuatan tegangan yang bererti. Oleh itu hanya satah foliasi yang telah merekah sahaja dipertimbangkan. Kedudukan jurus foliasi pada batuan metamorf umumnya sekitar  $163^{\circ}$ - $202^{\circ}$ / $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$  dan  $273^{\circ}$ / $30^{\circ}$ . Set-set kekar pula umumnya bersela jurus/kemiringan seperti berikut :

- 1)  $248^{\circ}$ - $259^{\circ}$ / $068^{\circ}$ - $070^{\circ}$ ,
- 2)  $287^{\circ}$ - $296^{\circ}$ / $075^{\circ}$ - $078^{\circ}$ ,
- 3)  $010^{\circ}$ - $041^{\circ}$ / $050^{\circ}$ - $065^{\circ}$ ,
- 4)  $076^{\circ}$ - $112^{\circ}$ / $77^{\circ}$ - $82^{\circ}$ , dan



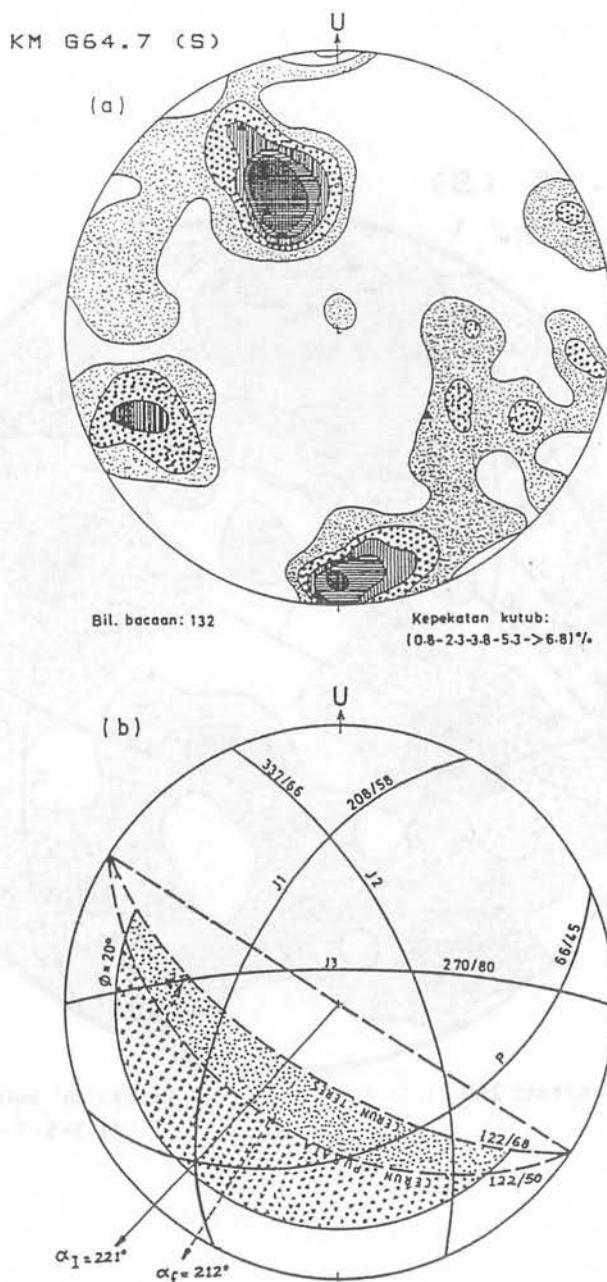
Rajah 10: Plot stereografi

a) Kutub ketakselarangan, dan  
 b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G70.4(S).



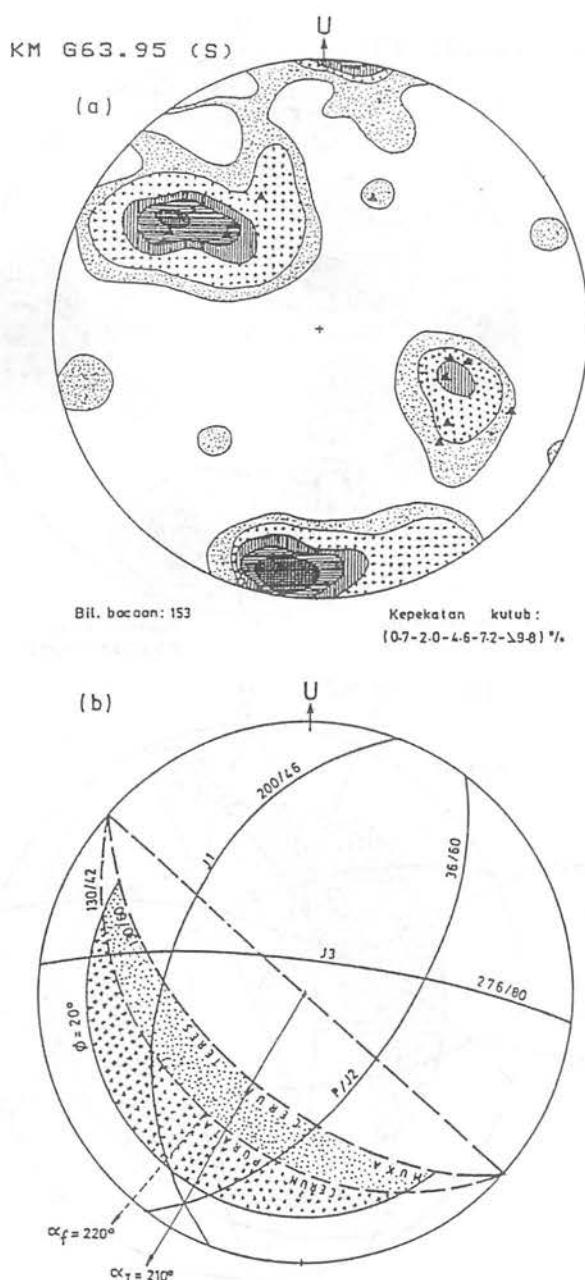
Rajah 11: Plot stereografi

- Kutub ketakselarangan, dan
- analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G67.65(S).



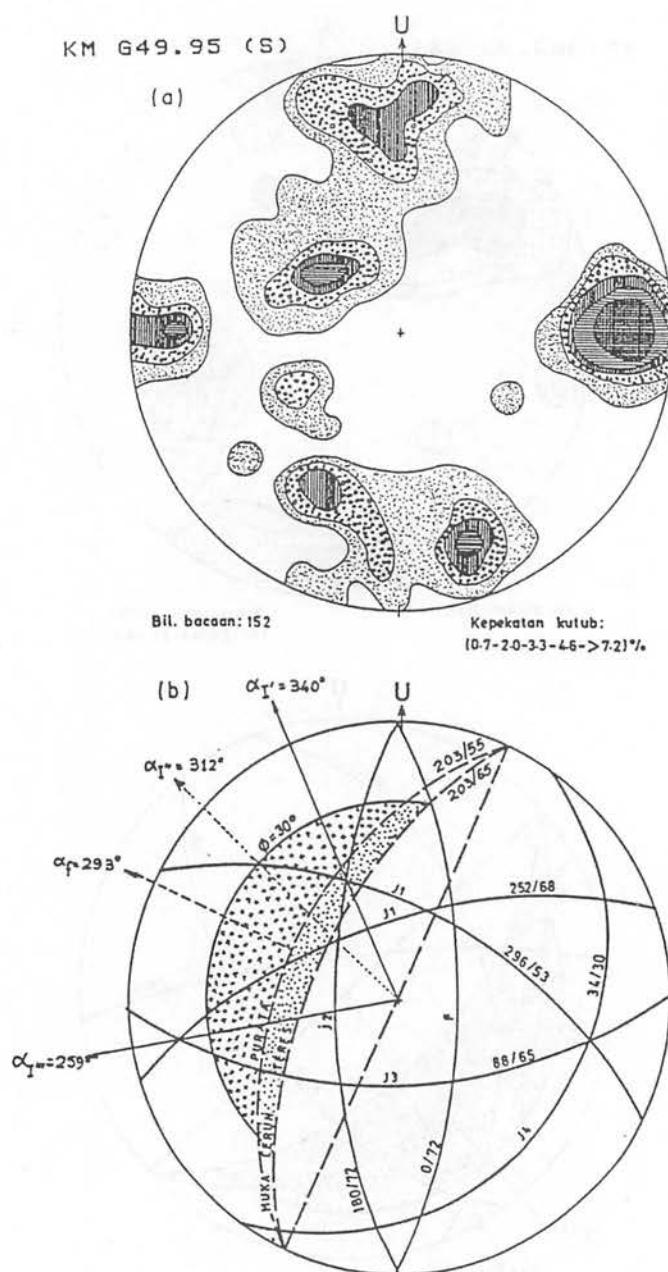
Rajah 12: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G64.7(S).



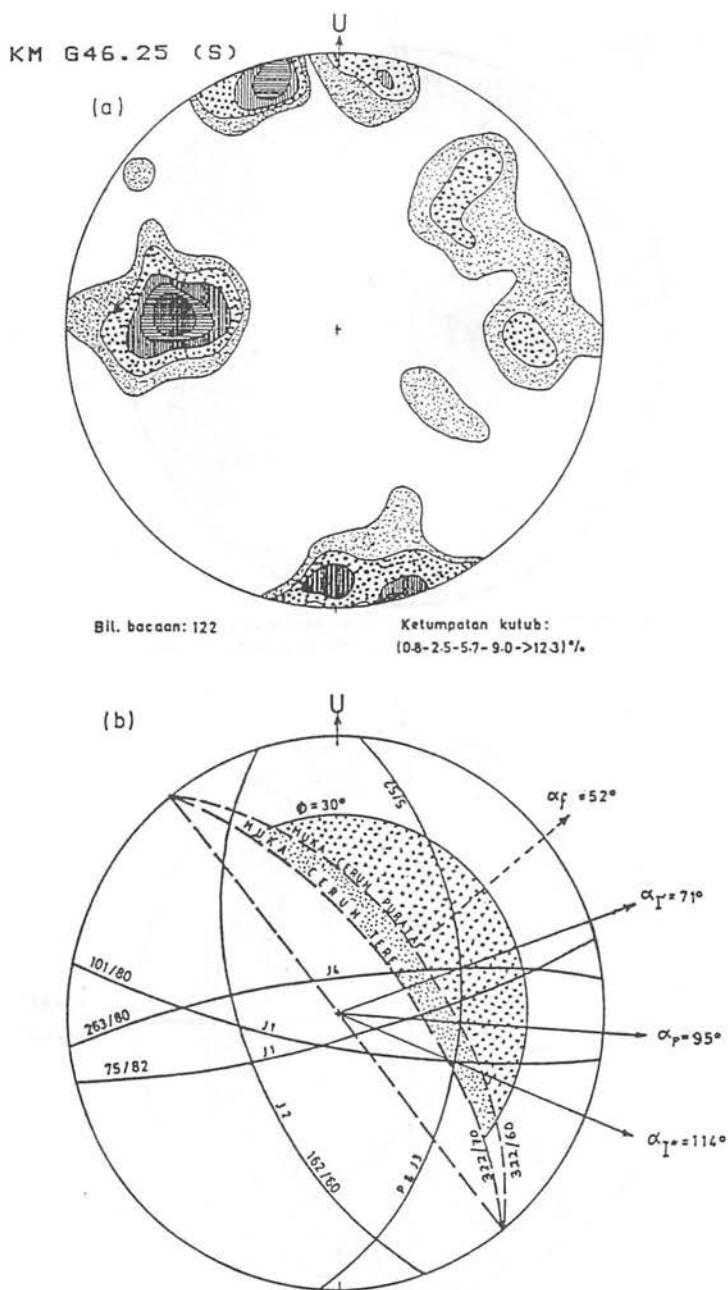
Rajah 13: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G63.95(S).



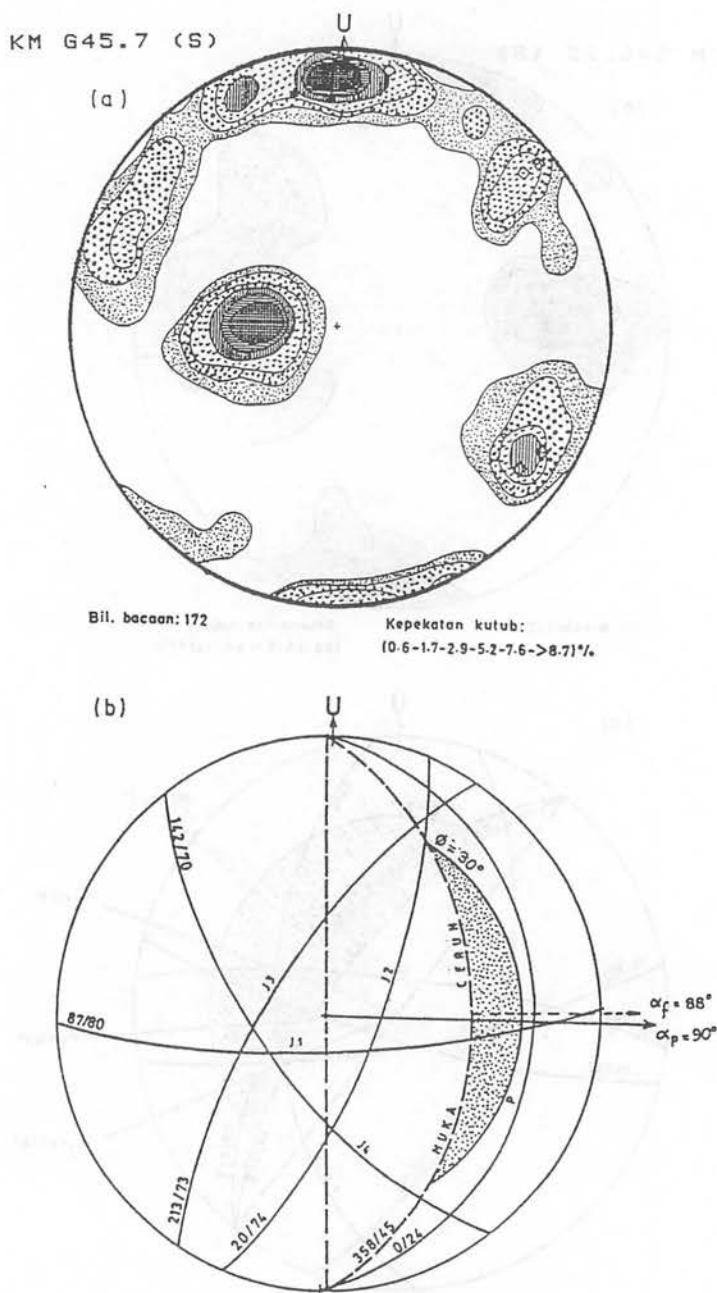
Rajah 14: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G49.95(S).



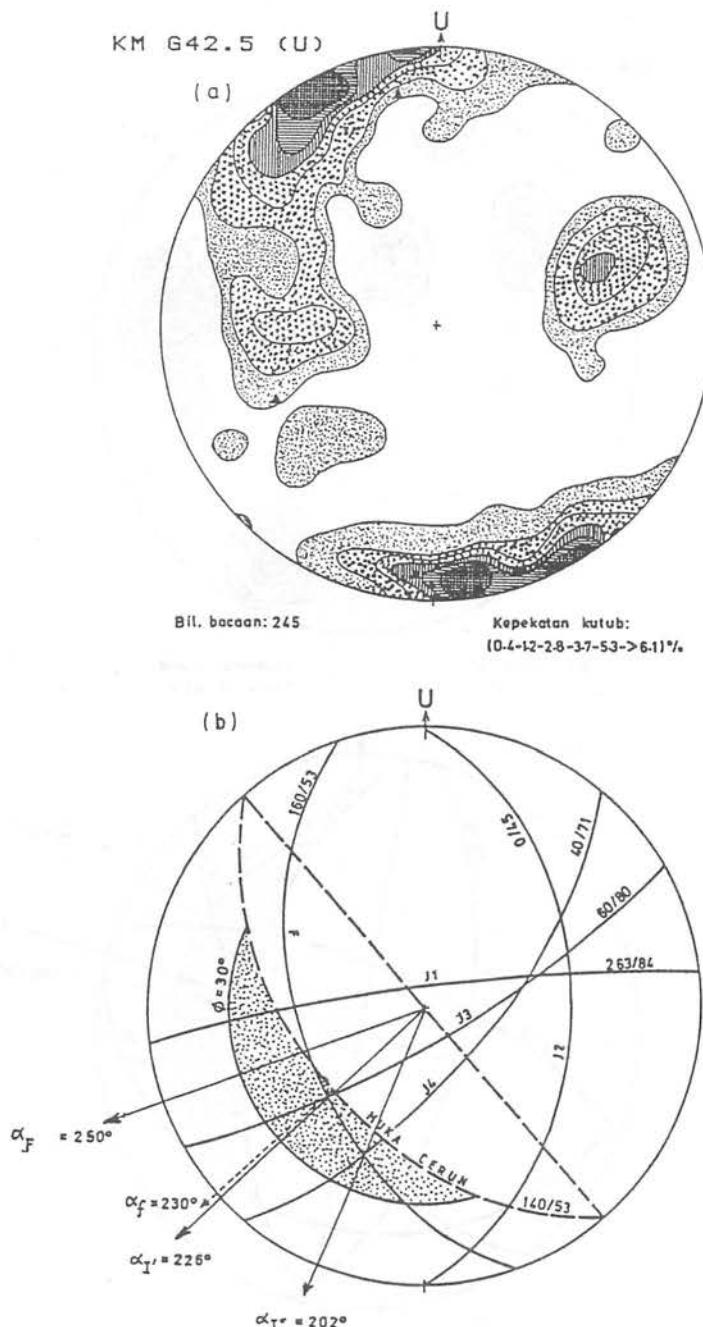
Rajah 15: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G46.25(S).

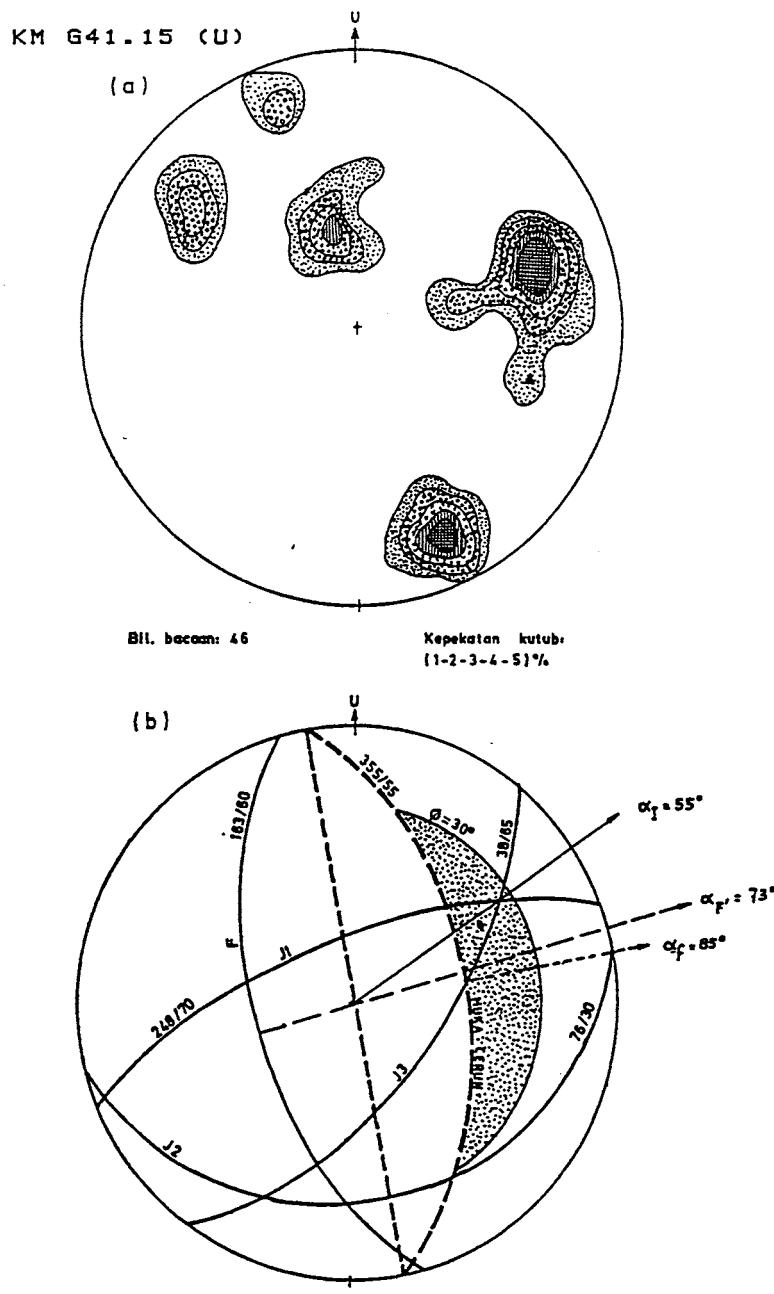


Rajah 16: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G45.7(S).

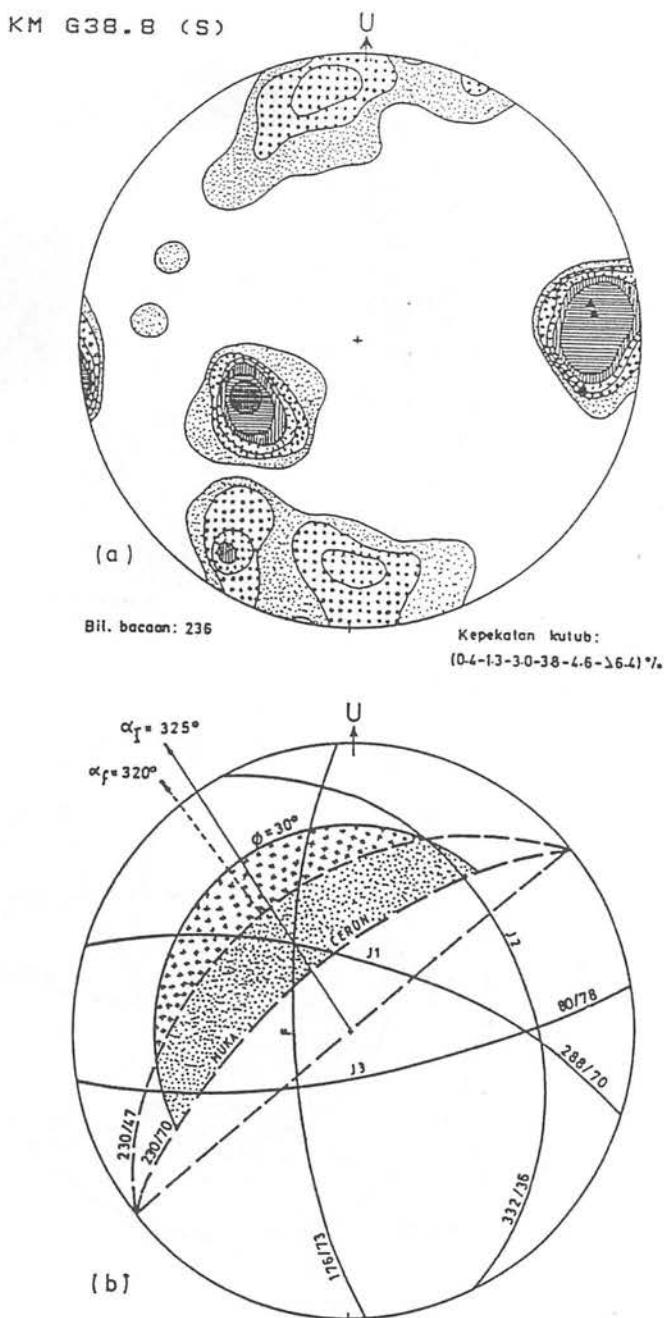
**Rajah 17:** Plot stereografi

- Kutub ketakselarangan, dan
- analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G42.5(U).



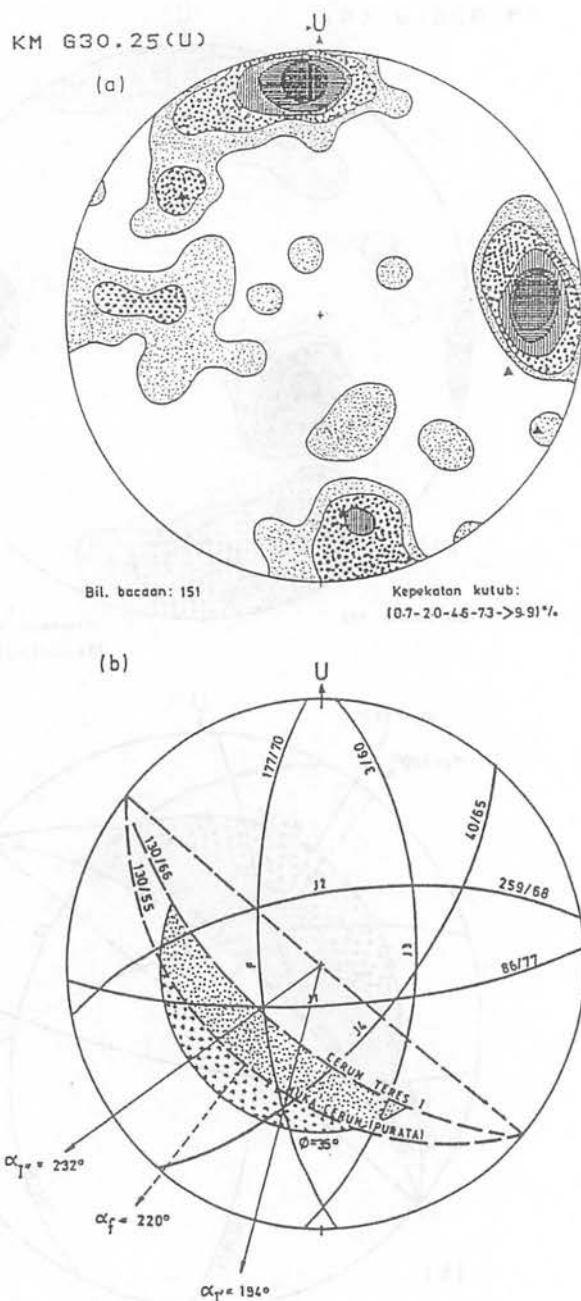
Rajah 18: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G41.15(U).



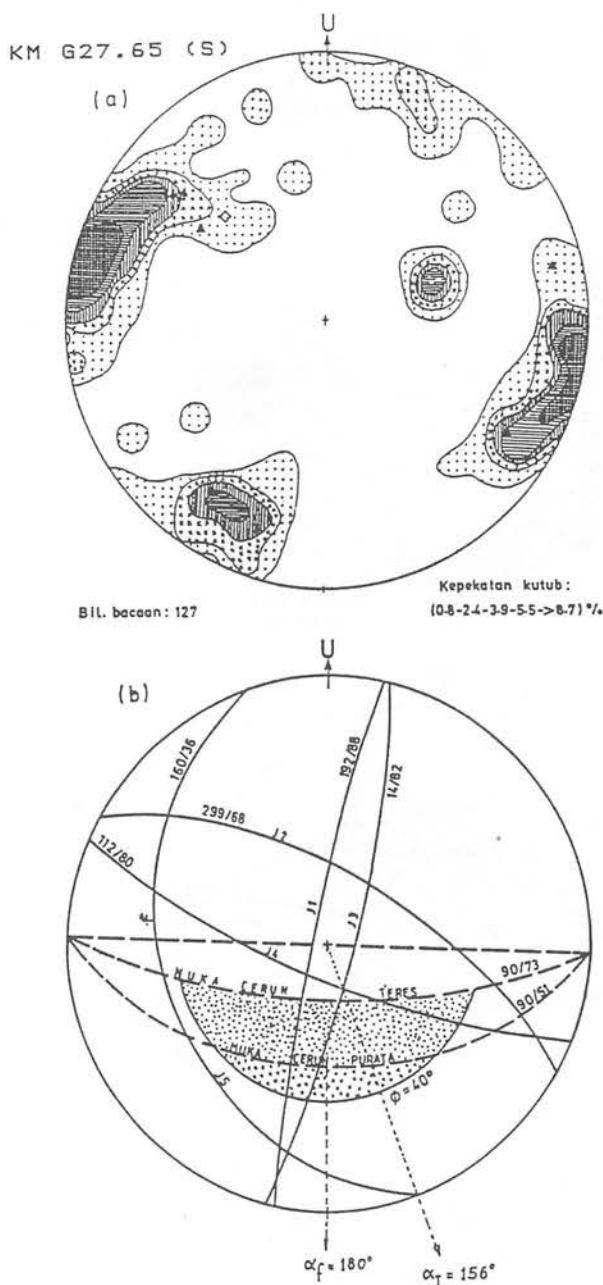
Rajah 19: Plot stereografi

- Kutub ketakselarangan, dan
- analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G38.8(S).



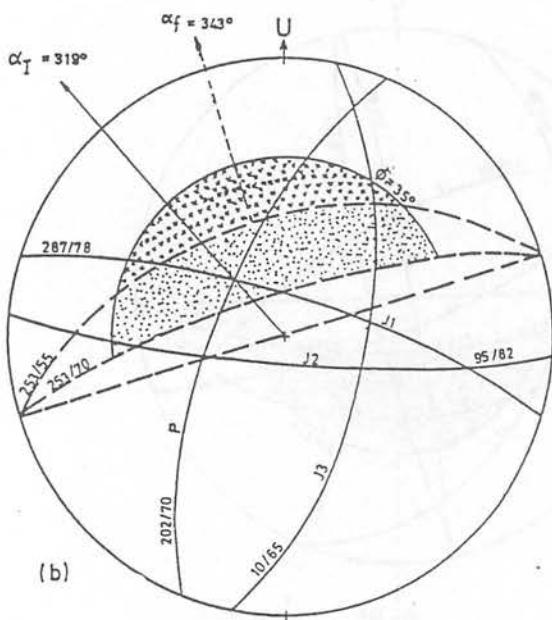
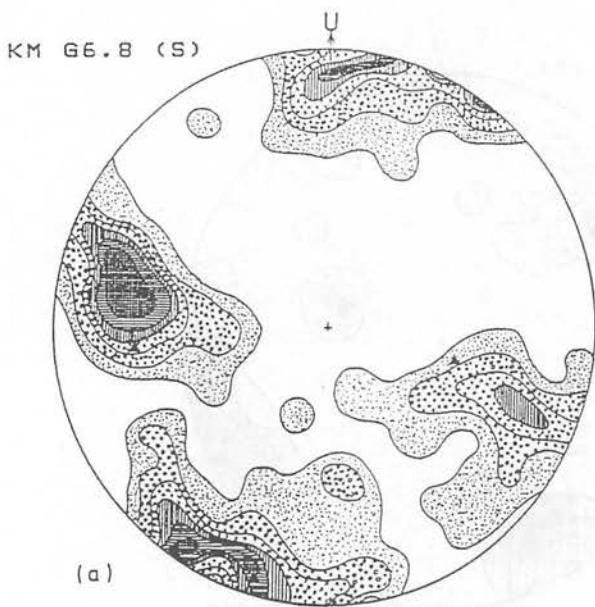
Rajah 20: Plot stereografi

- Kutub ketakselarangan, dan
- analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G30.2(U).



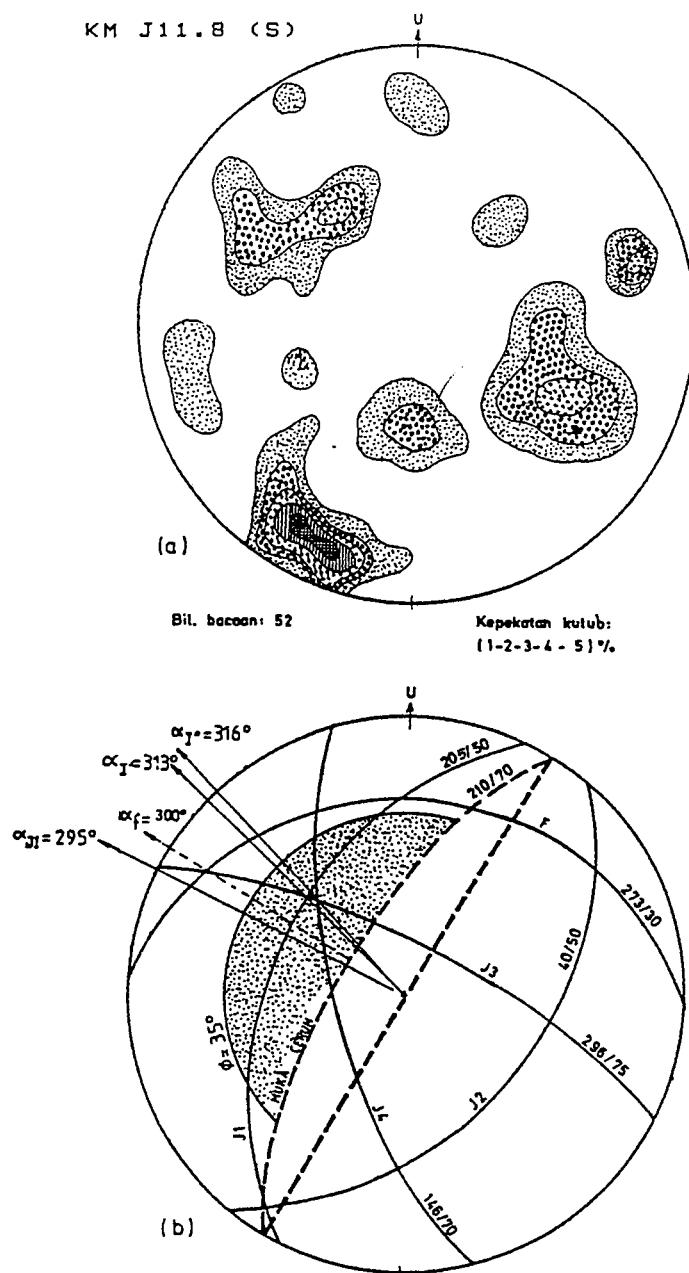
Rajah 21: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G27.65(U).



Rajah 22: Plot stereografi

- a) Kutub ketakselarangan, dan
- b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM G6.8(S).

**Rajah 23:** Plot stereografi

a) Kutub ketakselarangan, dan  
 b) analisis kegagalan cerun batuan di lokasi KM J11.8(S).

5)  $146^{\circ}$ - $205^{\circ}$ / $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ .

Cerun di lokasi G27.65 terdiri daripada batuan granit biotit berbutir halus hingga sederhana. Di sini jasad batuannya boleh didapati daripada yang bergred I hingga VI. Sebahagian daripada jasad batuan telah termetemorf, yang ditunjukkan oleh kehadiran struktur foliasi.

Cirian ketakselanjaran seperti panjang, keterusan, bukaan, bahan pengisi, kekasaran permukaan, kehadiran air, bentuk dan saiz blok serta data yang dianalisis disenaraikan. Nilai Penanda Mutu Batuan (PMB) yang ditentukan dengan kaedah seperti yang dicadangkan oleh Priest dan Hudson (1976) di sertakan bersama dalam jadual ciri ketakselanjaran yang telah disediakan. Bagaimanapun, bagi cerun yang survei ketakselanjarnya dilakukan tanpa menggunakan garis pengimbasan, nilai PMB dianggarkan berdasarkan nilai jarak antara ketakselanjaran yang ditentukan secara berasingan di lapangan. Daripada maklumat orientasi dan ciri ketakselanjaran yang disertakan ini, sifat jasad batuan dan penilaian kestabilan cerun batuan dapat dibuat dengan lebih terperinci dan yakin.

### POTENSI DAN RAGAM KEGAGALAN CERUN BATUAN

Cerun potongan yang dikaji umumnya bersudut purata antara  $45^{\circ}$ - $55^{\circ}$  dan berketinggian melebihi 20 m. Pada permukaan cerun itu pula biasanya dibina teres bagi setiap ketinggian antara 5-6 m. Sudut cerun antara teres biasanya lebih curam lagi, antara  $50^{\circ}$ - $73^{\circ}$  dan kebanyakannya sekitar  $65^{\circ}$ . Sudut teres yang agak curam ini mungkin dapat menjelaskan kenapa kegagalan cerun potongan di Lebuh Raya Timur-Barat lazimnya melibatkan cerun teres.

Sebelum penilaian kestabilan cerun dilakukan, beberapa maklumat asas perlu dianggarkan terlebih dahulu. Terutamanya parameter kekuatan rincih satah ketakselanjaran, khususnya sudut geseran dalam,  $\emptyset$ . Penentuan parameter kekuatan rincih satah ketakselanjaran di lapangan merupakan suatu perkara yang amat rumit dan memerlukan biaya yang sangat tinggi. Setiap satah ketakselanjaran mempunyai sudut geseran dalam yang berbeza. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor. Selain daripada faktor litologi, parameter kekuatan rincih banyak ditentukan oleh ciri satah ketakselanjaran itu sendiri. Umpamanya, darjah kekasaran permukaan, gred luluhan, bahan pengisi, kehadiran air serta luas permukaan satah yang diuji rincih. Kekuatan rincih beberapa jenis batuan utuh dari Lebuh Raya Timur-Barat telah dilakukan di makmal oleh Tajul Anuar Jamaluddin (1990). Bagaimanapun, memandangkan keadaan satah ketakselanjaran sebenar dilapangan tidak dapat dimodelkan dengan sempurna oleh sampel batuan utuh, maka nilai sudut geseran dalam satah ketakselanjaran pada cerun terpaksa juga dianggarkan.

Untuk analisis kegagalan cerun yang dikaji, nilai sudut geseran dalam bagi batuan metasedimen yang terdiri daripada selang dilapis metagreiwak dan syal-sub filit dianggarkan bernilai antara  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , batuan filit  $\approx 30^{\circ}$ , metatuf  $\approx 30^{\circ}$ , skis  $\approx 35^{\circ}$  dan granit  $\approx 40^{\circ}$ .

Daripada plot-plot stereografi yang ditunjukkan dalam Rajah 10-23, dapat diramalkan potensi dan ragam kegagalan cerun batuan. Untuk perbincangan di sini, beberapa buah lokasi yang dapat menggambarkan beberapa jenis ragam kegagalan unggul diambil sebagai rujukan.

#### *i. Lokasi G67.65 (S)*

Cerun potongan di sini terdiri daripada batuan metagreiwak yang berselang lapis dengan syal-filit, kadang-kadang dengan sedikit metakuarzit. Metasedimen berarenit umumnya bergred luluhawa sederhana (gred III) hingga tinggi (gred IV), dan metaargilit pula bergred luluhawa III hingga V. Zon tanah baki berketedalan sekitar 5 hingga 6 m. Tinggi cerun kira-kira 45 m, dengan sudut cerun purata  $46^{\circ}$  dan sudut antara teres bersela antara  $60^{\circ}$ - $65^{\circ}$ .

Daripada plot stereografinya (Rajah 11), jelas menunjukkan ketakselanjaran tertabur dalam berbagai-bagai arah. Ketumpatan ketakselanjaran agak tinggi, memberikan purata jarak antara ketakselanjaran 0.08 m dan nilai PMB 65%. Secara kasar, ketakselanjaran pada cerun ini boleh dikelompokkan kepada 4 set utama, 3 set kekar (J1, J2, J3) dan 1 set perlapisan (P).

Berdasarkan taburan ketakselanjarannya yang agak padat, cerun ini berpotensi menghasilkan kegagalan lingkaran. Dengan andaian sudut geseran untuk syal  $20^{\circ}$ , didapati cerun ini juga berpotensi menghasilkan kegagalan satah. Penggelinciran diramalkan berlaku mengikuti sepanjang satah P. Untuk itu, satah J2 bertindak sebagai rekahan tegangannya. Satah J2 dengan sendirinya juga boleh menerbitkan kegagalan secara tebalikan. Daripada analisis ini jelas menunjukkan cerun ini berpotensi menghasilkan lebih daripada satu ragam kegagalan, iaitu kegagalan lingkaran, satah dan tebalikan.

#### *ii. Lokasi G46.25 (S)*

Cerun potongan ini terdiri daripada selang lapis metagreweak dan sedikit metakuarzit dengan syal-subfilit. Bahan batuan memperlihatkan kehadiran percampuran bahan piroklas tuf. Perlapisan terbentuk dengan jelas dan menyerlah ke muka cerun. Jasad batuan berarenit terluluhawa sedikit (gred II) hingga sederhana tinggi (gred IV). Batuan berargilit pula terluluhawa sederhana (gred III) hingga sangat tinggi (gred V). Ketinggian cerun kira-

kira 22 m. Sudut purata cerun pada asalnya kira-kira  $60^\circ$ , tetapi setelah gagal keadaan muka cerun semakin kasar dan curam sehingga  $70^\circ$ .

Ketakselanjaran utama terdiri daripada 4 set kekar (J1, J2, J3 dan J4) serta 1 set perlapisan/foliasi, P. Persilangan antara satah-satah ketakselanjaran menghasilkan blok berbentuk prisma yang secara kasarnya bersaiz purata sederhana hingga sangat besar.

Daripada plot stereografinya (Rajah 15), persilangan di antara set J1 dan J4 dengan P berpotensi menghasilkan kegagalan baji. Keadaan ini terbukti di lapangan (Rajah 24), dan baji tersebut mengelincir di sepanjang satah P. Keadaan ini seolah-olah memperlihatkan ragam kegagalan satah, yang mana J1 dan/atau J4 bertindak sebagai satah pelepas. Oleh itu, dapat dibuat kesimpulan bahawa satah P merupakan satah genting bagi cerun ini. Penstabilan satah P dapat mengelakkan cerun daripada gagal.

### **iii. Lokasi G45.7 (S)**

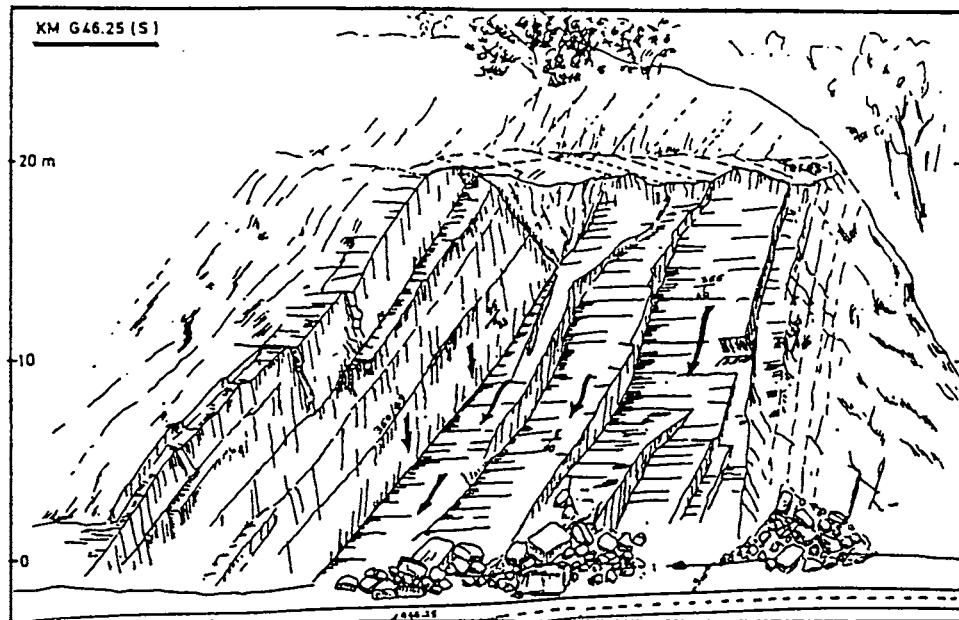
Litoloji dan luluhan jasad batuan pembentuk cerun di lokasi ini hampir sama seperti yang terdapat pada cerun di lokasi G46.25 (S). Tinggi cerun kira-kira 65 m dengan sudut purata  $45^\circ$ . Kelemahan utama pada rekabentuk cerun ini ialah kedudukan satah perlapisan selari dengan arah kemiringan cerun. Keadaan ini mendedahkan cerun kepada kegagalan satah.

Oleh kerana teknik garis pengimbasan tidak dapat digunakan pada cerun ini, maka survei ketakselanjaran dilakukan secara rawak. Ketakselanjaran pada cerun ini boleh dibahagikan kepada 4 set kekar, J1, J2, J3 dan J4; serta 1 set perlapisan, P. Pengunjuran satah perlapisan boleh dikesan dari kaki hingga ke puncak cerun. Darjah keterusannya sangat tinggi dan kebanyakannya satah perlapisan diisi oleh lempung dan pasir. Sesetengah satah perlapisan mengalirkan air. Keadaan ini memudahkan proses pengelinciran di sepanjang satah berkenaan.

Seperti yang ditunjukkan dalam plot stereografinya (Rajah 16), jelas cerun ini berpotensi menghasilkan kegagalan satah, mengikut sepanjang satah P. Cerapan di lapangan mendapati blok-blok batuan berbentuk tabula, berkeadaan tidak stabil dan ditaksirkan pergerakan blok masih aktif, terutamanya setiap kali selepas hujan apabila tekanan air liang meningkat.

### **iv. Lokasi G41.15 (U)**

Batuan pembentuk cerun dilokasi ini terdiri daripada filit yang masih segar (gred I) hingga terluluhan sederhana (gred III). Ketinggian cerun sekitar 18 m dan sudut cerun purata kira-kira  $55^\circ$ . Cerun ini dipilih untuk kajian kerana ia dapat memberikan contoh unggul kegagalan tebalikan (Rajah 25).



Rajah 24: Gambarajah lakaran cerun potongan di KM G46.25(S), memperlihatkan kegagalan baji. Penggelinciran blok baji terjadi di sepanjang satah perlapisan.



Rajah 25: Cerun batuan di KM G41.15(U), menunjukkan kegagalan tebalikan.

Data ketakselanjaran dipungut secara rawak kerana keadaan permukaan cerun terlalu curam, kasar dan merbahaya untuk didaki. Rekahan foliasi merupakan struktur ketakselanjaran utama, dan ia berkedudukan curan melawan arah kemiringan cerun. Kekar pula boleh digolongkan kepada 3 set utama, J1, J2, dan J3.

Daripada plot stereografinya (Rajah 16), jelas menunjukkan cerun berpotensi, malah daripada cerapan di lapangan, ia telahpun gagal secara tebalikan. Satah foliasi, F, merupakan satah kegalannya dengan satah J2 bertindak sebagai tapak pergeseran blok-blok batuan berbentuk tabula. Persilangan antara satah kekar J1 dan J3 juga berpotensi menghasilkan kegagalan baji.

#### v. *Lokasi J11.8 (S)*

Metakuarzit dan skis kuarza-mika berbutir halus hingga sederhana merupakan litologi utama pembentuk cerun dilokasi ini. Jasad batuan boleh didapati daripada bergred II hingga VI. Bagaimanapun, zon gred V-VI secara relatif nipis dan berketedalan kurang daripada 2 m. Cerun setinggi kira-kira 33 m ini bersudut purata kira-kira  $70^{\circ}$ . Tiada teres dibina pada cerun ini. Potongan bekas kuari di sebelah kanan cerun ini membolehkan cerapan ketakselanjaran dilakukan pada keratan sisi cerun.

Survei ketakselanjaran dilakukan secara rawak dengan mengutamakan ketakselanjaran major. Ini disebabkan oleh permukaan cerun yang terlalu kasar dan merbahaya kerana di bahagian atas cerun banyak terdapat blok-blok batuan yang berkeadaan longgar atau tidak stabil. Ketakselanjaran utama pada cerun ini terbahagi kepada 4 set kekar, J1, J2, J3 dan J4, dan 1 set foliasi, F.

Daripada plot stereografinya (Rajah 23), jelas menunjukkan bahawa cerun ini berpotensi menghasilkan beberapa jenis ragam kegagalan. Ragam kegagalan baji boleh berlaku akibat persilangan satah J3 dan J4. Kegagalan satah berpotensi terjadi di sepanjang satah J1 yang menghadap ke muka cerun, dengan J2 bertindak sebagai rekahan tegangannya dan J3 sebagai satah pelepas. Kegagalan satah ini dipermudahkan lagi oleh kehadiran air yang mengalir menerusnya. Kegagalan tebalikan pula boleh terjadi hasil gabungan satah J2 dan J1. Berdasarkan konsep ujian Markland bolehlah ditaksirkan bahawa satah J1 merupakan satah genting bagi cerun ini. Pestabilan satah J1 dapat meminimumkan masalah ketakstabilan pada cerun ini.

### KESIMPULAN

Suatu kaedah survei yang ketakselanjaran yang bersistem dan berkesan telah dapat dihasilkan dalam kajian ini melalui gabungan daripada beberapa kaedah yang dicadangkan oleh pengkaji-pengkaji terdahulu. Penggunaan teknik garis pengimbasan dengan Helaian Data Survei Ketakselanjaran mempermudahkan proses pemungutan data ketakselanjaran secara terperinci.

Data daripada survei ini dapat digunakan untuk menilai cirian ketakselanjaran pada jasad batuan dengan lebih yakin. Penanda Mutu Batuan dapat dihitung dengan analisa data ketakselanjaran yang ringkas dan potensi atau ragam kegagalan cerun batuan dapat dinilai daripada plot stereografi yang dihasilkan.

Pada keseluruhannya nilai PMB yang diperolehi membayangkan jasad batuan mempunyai mutu yang sangat baik. Kebanyakan nilai PMB yang diperolehi melebihi 75%. Hal ini mungkin disebabkan oleh keadaan garis pengimbasan ini dapat mengelakkan terbitnya rekahan-rekahan baru yang boleh merendahkan nilai PMB, tidak sepetimana penggunaan kaedah penggerudian. Seperkara lagi, semasa menjalankan pengukuran disepanjang garis pengimbasan, ketakselanjaran yang panjang kurang daripada 0.3 m sering diabaikan. Oleh itu kajian yang mendalam terutama berhubung dengan korelasi di antara nilai PMB yang ditentukan daripada kaedah penggerudian dan kaedah garis pengimbasan perlu dilakukan sebelum nilai PMB yang diperolehi ini dapat digunakan dengan yakin.

Penggunaan konsep Ujian Markland dapat membantu meramalkan potensi ragam kegagalan dan mengcami satah genting pada cerun batuan. Ini dapat membantu jurutera geoteknik merekabentuk langkah penstabilan cerun dengan lebih mudah dan menjimatkan. Kerja-kerja lanjutan untuk penstabilan atau rekabentuk semula cerun dapat dilakukan dengan lebih berkesan. Kebanyakan cerun yang dikaji berpotensi menghasilkan lebih daripada satu ragam kegagalan. Biasanya ketakstabilan cerun itu berpuncak daripada satu atau dua satah ketakselanjaran yang dianggap satah genting.

### PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan kepada Prof. Madya Dr. Ibrahim Komoo yang menyelia kajian ini dan seterusnya mendorong penulisan ini.

### RUJUKAN

**ABDUL GHANI RAFEK DAN IBRAHIM KOMOO, 1987.** Survei kegagalan cerun, Lebuhraya Timur-Barat, Perak - Kelantan. *Abstrak Persidangan*

- Tahunan Geologi Malaysia, 30-31 Mac, 1987.* Jabatan Geologi, UKM.
- ABDUL HALIM MOHD YUSIFF, 1987.** Geologi kawasan Batu Melintang, Jeli, Kelantan. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM. (Tidak diterbitkan).
- BRADY, B. H. DAN BROWN, E. T., 1985.** *Rock mechanics for underground mining*. George Allen and Unwin Ltd., London, 527 ms.
- GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE HONG KONG, 1983.** *Geotechnical manual for slopes*. Geotechnical Control Office Hong Kong. 295 ms.
- HOEK, E. DAN BRAY, J. W., 1981.** *Rock slope engineering. Edisi ke 3*, Institution of Mining and Metallurgy, London, 359 ms.
- IBRAHIM KOMOO DAN IBRAHIM ABDULLAH, 1983.** Ketakselanjaran dan kaedah pengukuran di lapangan. *Sains Malaysiana*, 12(2), 119-140.
- IBRAHIM KOMOO, IBRAHIM ABDULLAH DAN JUHARI MAT AKHIR, 1985.** Ketakselanjaran dan kestabilan cerun di bukit Taman Melawati, Wilayah Persekutuan. *Sains Malaysiana*, 14(1), 65-82.
- IAEG, 1981.** Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. *Bull. Int. Assoc. Engng. Geol.*, 24, 235-274.
- ISRM COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS, 1978.** Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. min. Sci.*, 15, No. 6, 319-368. Reprinted in *Rock characterization and monitoring - ISRM suggested methods*, E. T. Brown (eds.), 1981, 3-52, Oxford: Pergamon.
- JASMI AB. TALIB, 1984.** Geologi kejuruteraan Lebuh Raya Timur-Barat, km 23 – km 34, Grik, Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).
- JONES, C. R., 1970.** The geology and mineral resources of the Grik Area, Upper Perak. *Geological Survey Malaysia, District Memo.*, 11, 144 ms.
- KAMAL ROSLAN MOHAMED, 1984.** Geologi struktur Lebuh Raya Timur-Barat, km 0–19.5, Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).
- KAMAL ROSLAN MOHAMED, 1985.** Geologi struktur Lebuh Raya Timur-Barat (Km 10-19.5), Perak. *Sains Malaysiana*, 14(1), 109-119.
- MD. ZAINI MADI, 1984.** Geologi kejuruteraan Lebuh Raya Timur-Barat, km 11.5 – km 23, Grik, Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).
- MOH AND ASSOCIATES INTERNATIONAL LIMITED, 1983.** *Report on preliminary stability assessment of slopes along Grik-Jeli sections of East-West Highway, West Malaysia.* vol. 1, Submitted to Malaysian-Thai Development Sdn. Bhd., Ref. No. 18303. (Keluaran terhad).
- MOHD ASHRI MUDA, 1984.** Geologi kejuruteraan Lebuh Raya Timur-Barat, Km 0 hingga 12, Grik, Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi,

- UKM Bangi (Tidak diterbitkan).
- PHILLIPS, F.C., 1971.** *The use of stereographic projection in structural geology.* Edisi ke 3, Edward Arnold. London.
- PRIEST, S. D. DAN HUDSON, J. A., 1976.** Discontinuity spacing in rock. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci and Geomech. Abstr.*, 13, 135–148.
- SANTOKH SINGH, ET AL., 1984.** The Stong Complex reassessment. *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, 17, 61–77.
- SYED SHEIKH AL MASHOOR, 1987.** Penemuan zon sesar di sempadan Perak/Negeri Thai. Di dalam (*Sukiman Sarmani, edt.) Laporan Teknik FSFG, Jil. 1, 1987*, 122–127. (Keluaran terhad).
- SYED SHEIKH AL MASHOOR DAN TJA, H.D., 1987.** A prominent fault across the Malaysia-Thai boundary - A preliminary report. *Warta Geologi*, 13(2), 35–38.
- TAJUL ANUAR JAMALUDDIN, 1990.** Geologi kejuruteraan Lebuhraya Timur-Barat, Semenanjung Malaysia - Penekanan terhadap kegagalan cerun batuan. *Tesis SSn.*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).
- TAN, Y.P., 1984.** Geologi struktur Lebuhraya Timur-Barat (Km 0.0–10.5 dari Kuala Rui), Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).
- VAN KLINKO DAN Ho, C.S., 1982.** Gravity traverse across northern Peninsular Malaysia - Preliminary results. *Warta Geologi*, 8(3), 109–112.
- WONG, L. C., 1974.** Geology of the Kg. Batu Melintang area, North-West Kelantan, West Malaysia. *Tesis B.Sc. (Hons.)*, Universiti Malaya. (Tidak diterbitkan).
- ZULKIFLI SALLEH, 1974.** Geologi struktur Lebuhraya Timur-Barat (Km 19–29 dari Kuala Rui), Perak. *Tesis SmSn. (Kep.)*, Jabatan Geologi, UKM Bangi. (Tidak diterbitkan).

Manuscript received 25 February 1991