

BAB II

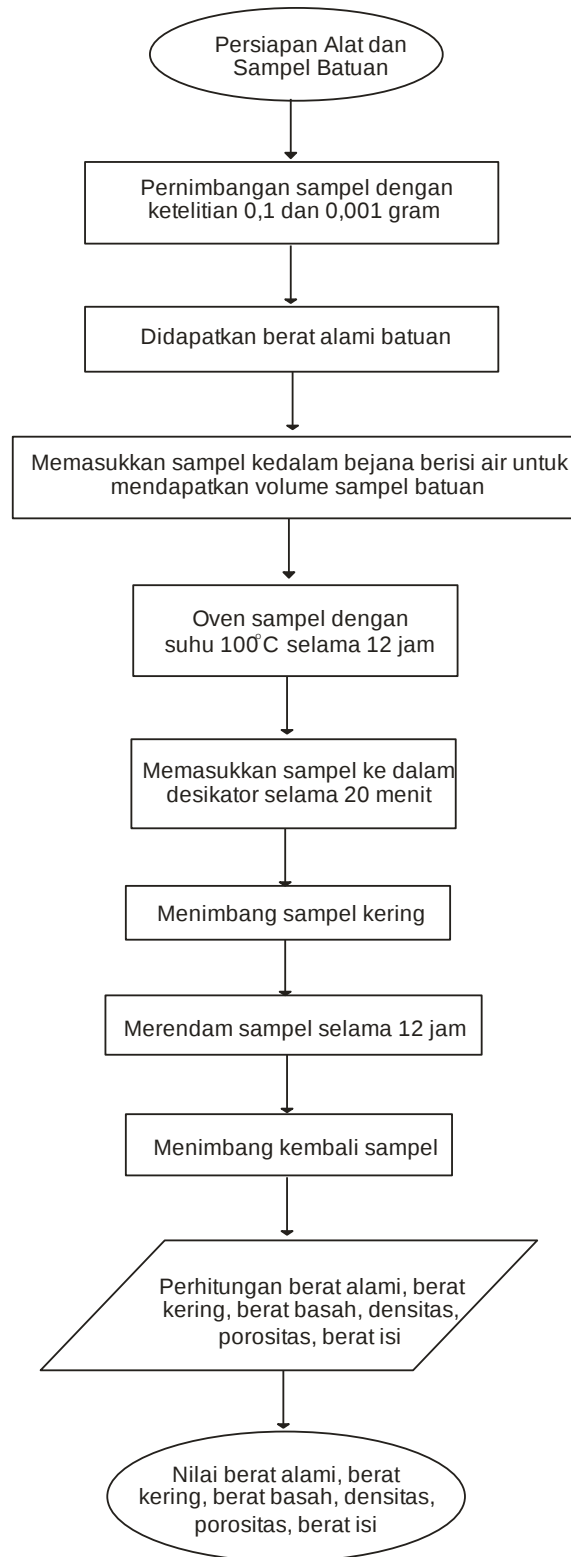
DASAR TEORI

2.1 Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Batuan merupakan agregat dari satu atau lebih mineral yang terbentuk secara alamiah. Selain memiliki karakter berbeda, batuan dapat mengalami perubahan akibat proses di alam maupun buatan, sehingga dibutuhkan parameter untuk penentuan sifat fisik/dasar dan sifat penunjuk/indeks batuan. Kondisi alamiah massa dan material batuan harus dipertimbangkan dalam rekayasa bangunan. Sifat fisik dan mekanik batuan dibagi menjadi dua, yaitu sifat dasar dan sifat indeks atau penunjuk.

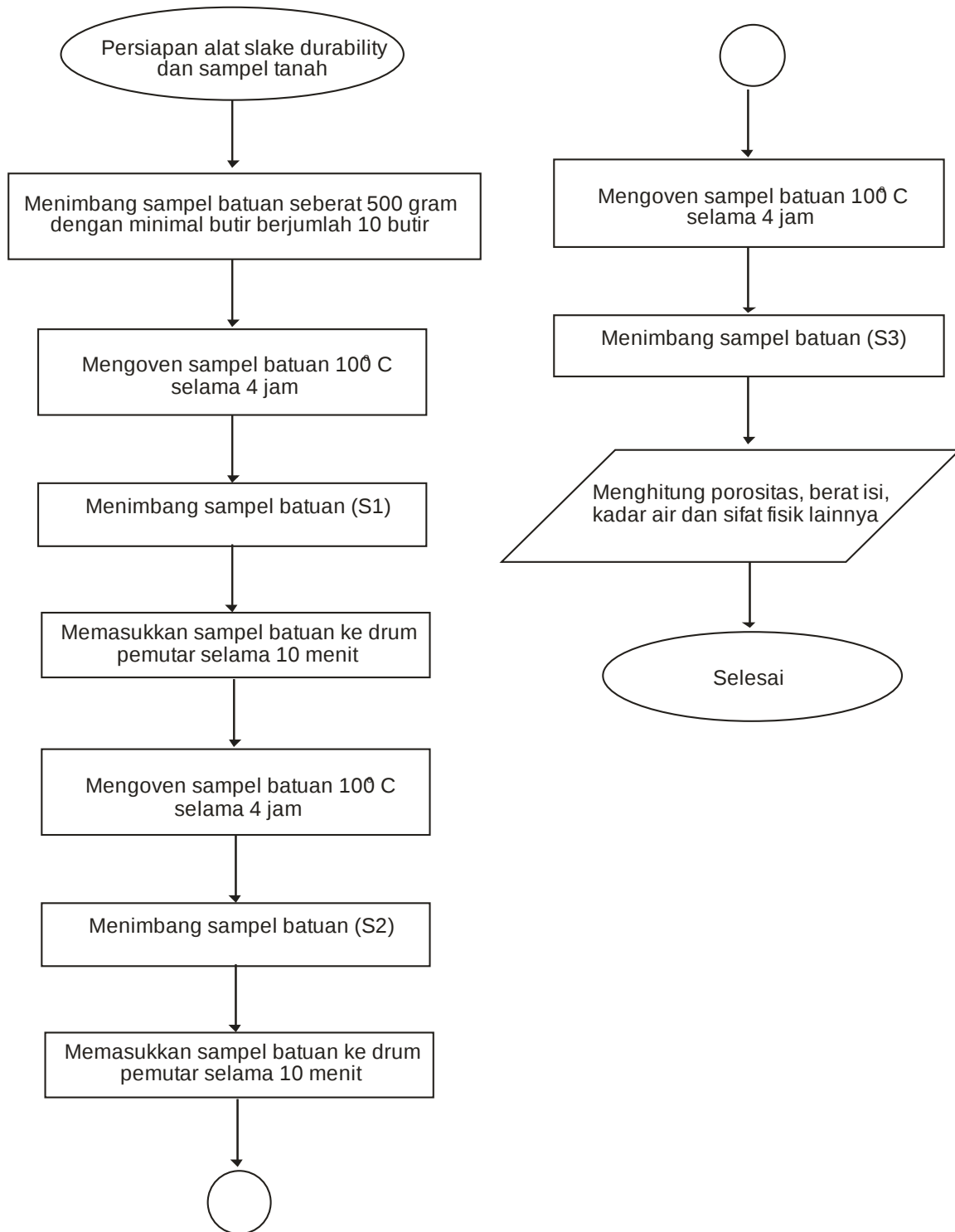
Sifat dasar batuan sangat dipengaruhi oleh mineralogi, fragmen penyusun, tekstur batuan, kondisi semen, dan kondisi pori. Penentuan sifat dasar dapat dilakukan dengan uji laboratorium pada *intact rock* untuk memahami karakter alami batuan. Sifat-sifat ini antara lain, porositas, permeabilitas, berat isi, densitas, *specific gravity*, dan lain-lain. Parameter sifat fisik yang digunakan dalam pengujian berupa berat batuan yang diukur pada kondisi alami (B_n), kering oven (B_o), basah (B_w), dan data volume total batuan (V). Parameter ini dihasilkan dari pengujian laboratorium dengan prosedur seperti pada diagram alir pengujian sifat fisik batuan (lihat Gambar 2.1).

Sifat penunjuk/indeks batuan dapat ditentukan dengan pengujian mekanika batuan. Sifat ini berhubungan dengan proses-proses yang mengenai batuan setelah batuan tersebut terbentuk oleh adanya gaya dari luar yang bekerja pada batuan (Price, 2009). Contoh pengujian diantaranya, *Point Load Test*, *Schmit Hammer*, dan *Slake durability*. *Schmit Hammer* dikembangkan pada tahun 1942 oleh Ernst Schmidt sebagai satu metode *non destructive test* untuk menguji kekerasan pada beton dan akhirnya digunakan untuk menguji tingkat kekerasan batuan. *Slake durability* merupakan metode pengujian sederhana untuk mengetahui daya tahan batuan terhadap pelapukan fisik di alam (Price, 2009). *Slaking* memiliki arti melemahnya batuan akibat dihadapkan pada kondisi basah dan kering berulang kali. Proses yang terjadi di alam berlangsung lambat, sehingga pada uji laboratorium batuan diberi perlakuan ekstrem dengan simulasi menggunakan mesin *slake durability test*.

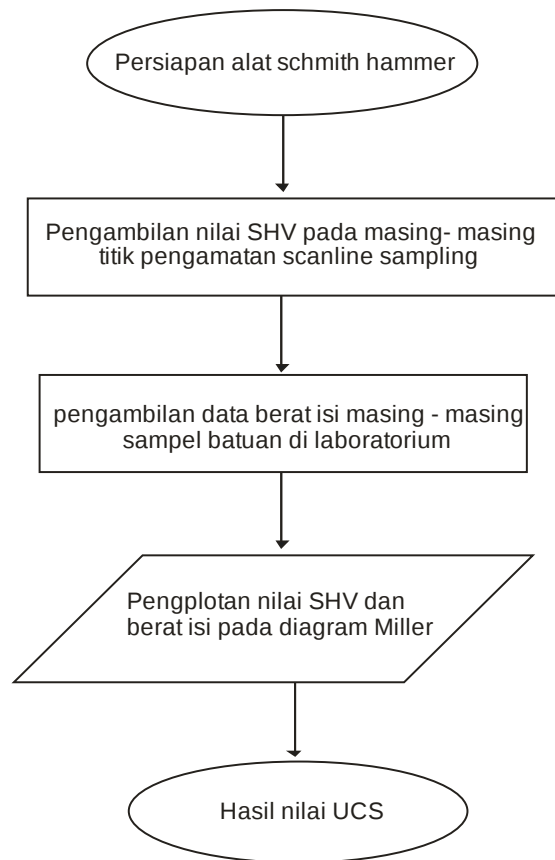


Gambar 2.1 Diagram alir pengujian parameter sifat fisik batuan.

Prosedur pengujian sifat penunjuk batuan pengujian *slake durability* dan kekuatan batuan berupa dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut (Gambar 2.2 dan Gambar 2.3).



Gambar 2.2 Diagram alir uji durabilitas batuan utuh.



Gambar 2.3 Diagram alir uji parameter kekuatan batuan

2.2 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

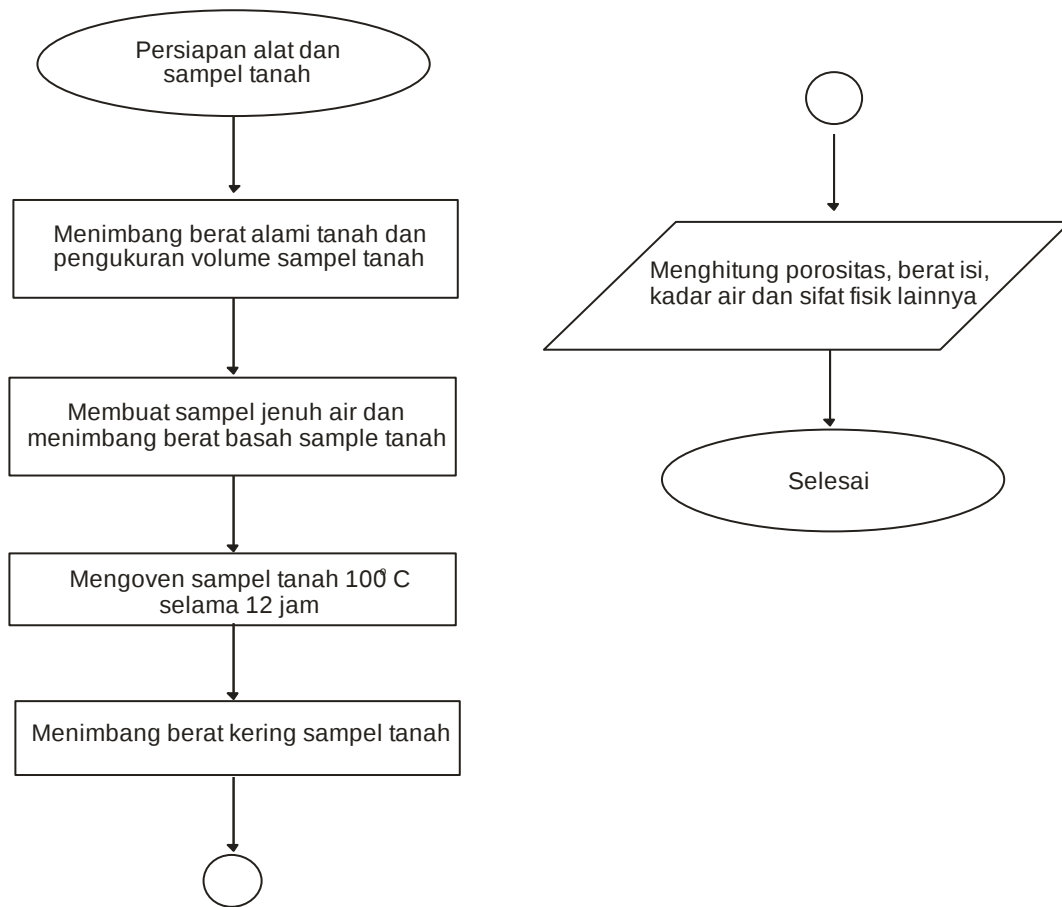
Tanah merupakan material alamiah yang memiliki sifat-sifat yang menggambarkan karakteristiknya. Sifat tersebut berupa sifat dasar dan sifat indeks/penunjuk. Pemahaman akan karakteristik tanah dapat mempermudah dalam melakukan kegiatan rekayasa. Deskripsi dan klasifikasi tanah diperlukan untuk dapat menyelesaikan masalah yang akan timbul berkaitan dengan suatu pembangunan. Pendekatan kuantitatif diperlukan untuk mendukung interpretasi geologi yang umumnya dilakukan secara kualitatif. Klasifikasi tanah ini menggunakan pengklasifikasian USCS (1952) dalam ASTM (1999) (lihat Gambar 2.4).

Sifat dasar material berupa porositas, berat isi alami, kadar air alami, dan lain-lain yang berasal dari faktor internal material yang berkaitan dengan tekstur, volume, dan massa. Pengujian parameter sifat dasar pada uji laboratorium berupa berat alami, volume, dan berat basah (lihat Gambar 2.5).

URAIAN POKOK			SIMBOL GRUP	NAMA TIPIKAL	KRITERIA KLASIFIKASI		
TANAH BERBUTIR KASAR 50% atau lebih lolos ayakan no.200	KERIKIL 50% atau lebih fraksi kasar tertahan ayakan no.4	KERIKIL BERSIH	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	KLASIFIKASI BERDASARKAN PERSEN LEBIH HALUS Kurang dari 6% lolos no.200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan no.200 GM, GC, SM, SC 6% - 12% lolos ayakan no.200 Klasifikasi pada bagian yang diarsir mempunyai dua simbol	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ Antara 1 dan 3	Batas atterberg berada di daerah arsir, digunakan dua simbol klasifikasi
			GP	Kerikil bergradasi jelek dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau tanpa butiran halus		Tidak memenuhi kriteria untuk GW	
		KERIKIL + BUTIR HALUS	GH	Kerikil bertanau, kerikil-pasir-lanau		Batas atterberg dibawah garis "A" atau indeks plastisitas lebih kecil dari 4	
			GC	Kerikil bertanau, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas atterberg dibawah garis "A" atau indeks plastisitas lebih besar dari 7	
	PASIR Lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan no.4	PASIR BERSIH	SW	Pasir bergradasi baik dan pasir berkerikil, sedikit atau tak ada butiran halus		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	Batas atterberg berada di daerah arsir, digunakan dua simbol klasifikasi
			SP	Pasir bergradasi jelek dan pasir berkerikil, sedikit atau tanpa butiran halus		Tidak memenuhi kriteria untuk GW	
		PASIR + BUTIR HALUS	SM	Pasir bertanau, campuran pasir-lanau		Batas atterberg dibawah garis "A" atau indeks plastisitas lebih kecil dari 4	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir lempung		Batas atterberg dibawah garis "A" atau indeks plastisitas lebih besar dari 7	
TANAH BERBUTIR HALUS 50% atau lebih lolos ayakan no.200	LANAU DAN LEMPUNG Batas cair = 50% atau kurang	HL	Lanau inorganik, pasir halus bubuk batu, bertanau atau berlempung pasir halus berlempung	TABEL PLASTISITAS Persamaan garis "A" : $I_p = 0,73 (W_L - 20)$			
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung bertanau, lempung kurus				
		OL	Lanau organik dan lempung bertanau organik dengan plastisitas rendah				
	LANAU DAN LEMPUNG Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau inorganik, pasir halus berkerang atau lanau, lanau elastis.				
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk				
		OH	Lempung inorganik dengan plastisitas sedang sampai tinggi				
		PT	Gambut, humus dan tanah berorganik tinggi lainnya				
		Tanah berorganik tinggi					

Berdasarkan pada material yang lolos ayakan 3 inci (75 mm)

Gambar 2.4 Kalsifikasi dan deskripsi tanah dengan metode USCS (1952) (ASTM, 1999).



Gambar 2.5 Diagram alir pengujian sifat fisik tanah.

Karakteristik dan klasifikasi tanah penting kaitannya dengan penentuan sifat keteknikan tanah. Salah satu karakteristik yang penting bagi tanah adalah plastisitas. Plastisitas akan memberikan gambaran mengenai kemampuan tanah untuk terdeformasi pada volume tetap tanpa terjadi retakan atau rekahan (Price, 2009). Faktor yang mengontrol sifat keplastisan dari tanah adalah kandungan mineral lempung atau bahan organik. Hubungan antarpartikel mineral lempung ini akan menghasilkan suatu konsistensi. Hubungan antarpartikel ini memiliki faktor pengontrol yang dominan yaitu kandungan air. Penurunan kadar air akan menyebabkan gaya tarik antarpartikel melemah. Berdasarkan kadar airnya, tanah digolongkan dalam tiga kondisi yaitu cair, plastis, dan semipadat atau padat.

Dalam keadaan alamiah, tanah berbutir halus berada dalam kondisi plastis. Batas atas dan batas bawah dari rentang kadar air dimana tanah masih bersifat plastis disebut batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Sedangkan indeks plastisitas (PI) adalah rentang kadar air dari

batas cari dan batas plastis. Secara umum persamaan hubungan indeks plastisitas dengan batas dapat dirumuskan sebagai berikut:

Persamaan 1:

$$PI = LL - PL$$

Kadar air tanah yang bersifat relatif terhadap batas cair dan batas plastis dapat diwakili oleh indeks kecairan (LI), dengan persamaan:

Persamaan 2:

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

Deskripsi dan klasifikasi tanah merupakan hal yang berbeda namun saling mendukung. Klasifikasi tanah merupakan sistem pengelompokkan dari berbagai jenis tanah yang memiliki kesamaan sifat suatu kelompok berdasarkan batasan tertentu. Beberapa faktor klasifikasi tanah adalah besar butir, keseragaman butir, dan gradasi butir (tingkat pemilahan) (Price, 2009). Faktor lain yang berpengaruh adalah plastisitas.

Persamaan 3:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Cu = Koefisien keseragaman butir

C_{60} = Diameter bukaan dimana 60% butiran dengan ukuran tersebut atau lebih halus dapat lolos (dilihat dari kurva distribusi)

D_{10} = Diameter bukaan dimana 10% butiran dengan ukuran tersebut atau lebih halus dapat lolos (dilihat dari kurva distribusi)

Berdasarkan persamaan tersebut, terlihat bahwa semakin besar gradasi, butiran akan semakin tidak seragam. Sedangkan koefisien gradasi butir (*coefficient of curvature*) dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

Persamaan 4:

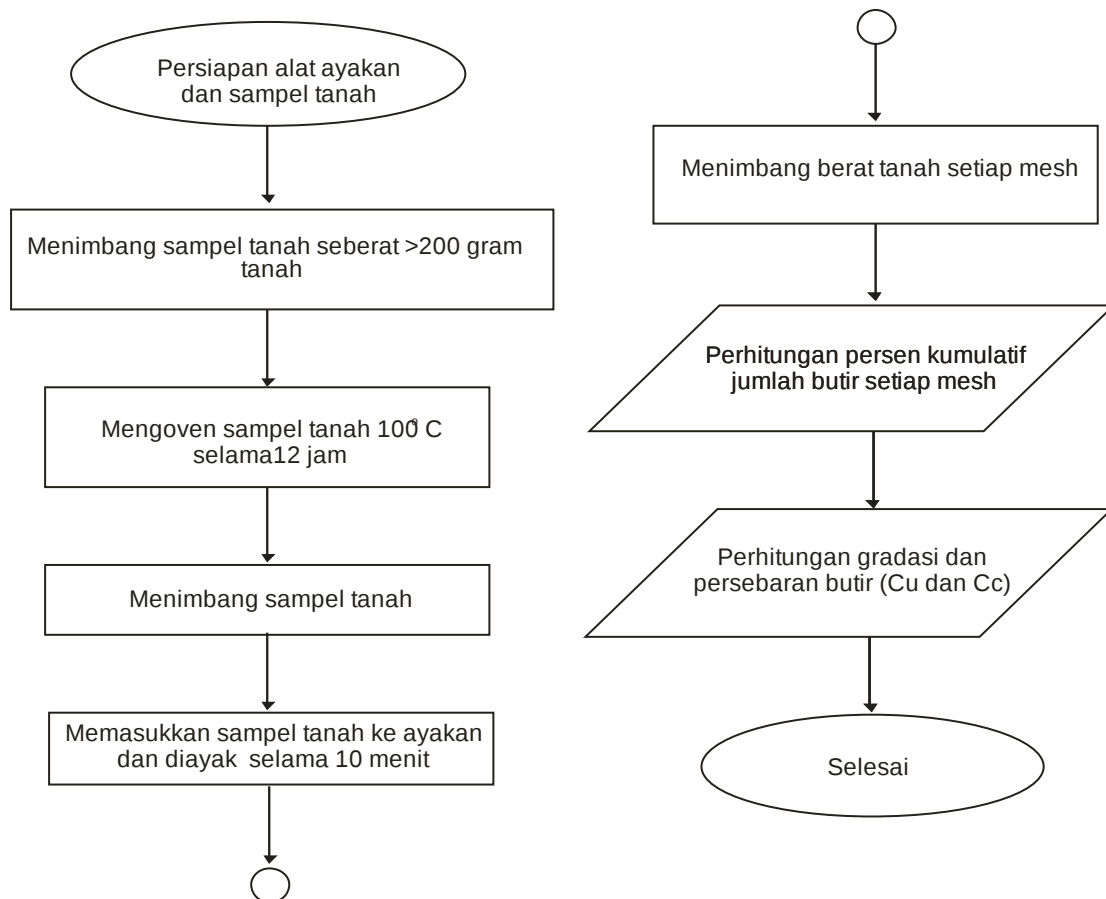
$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Keterangan :

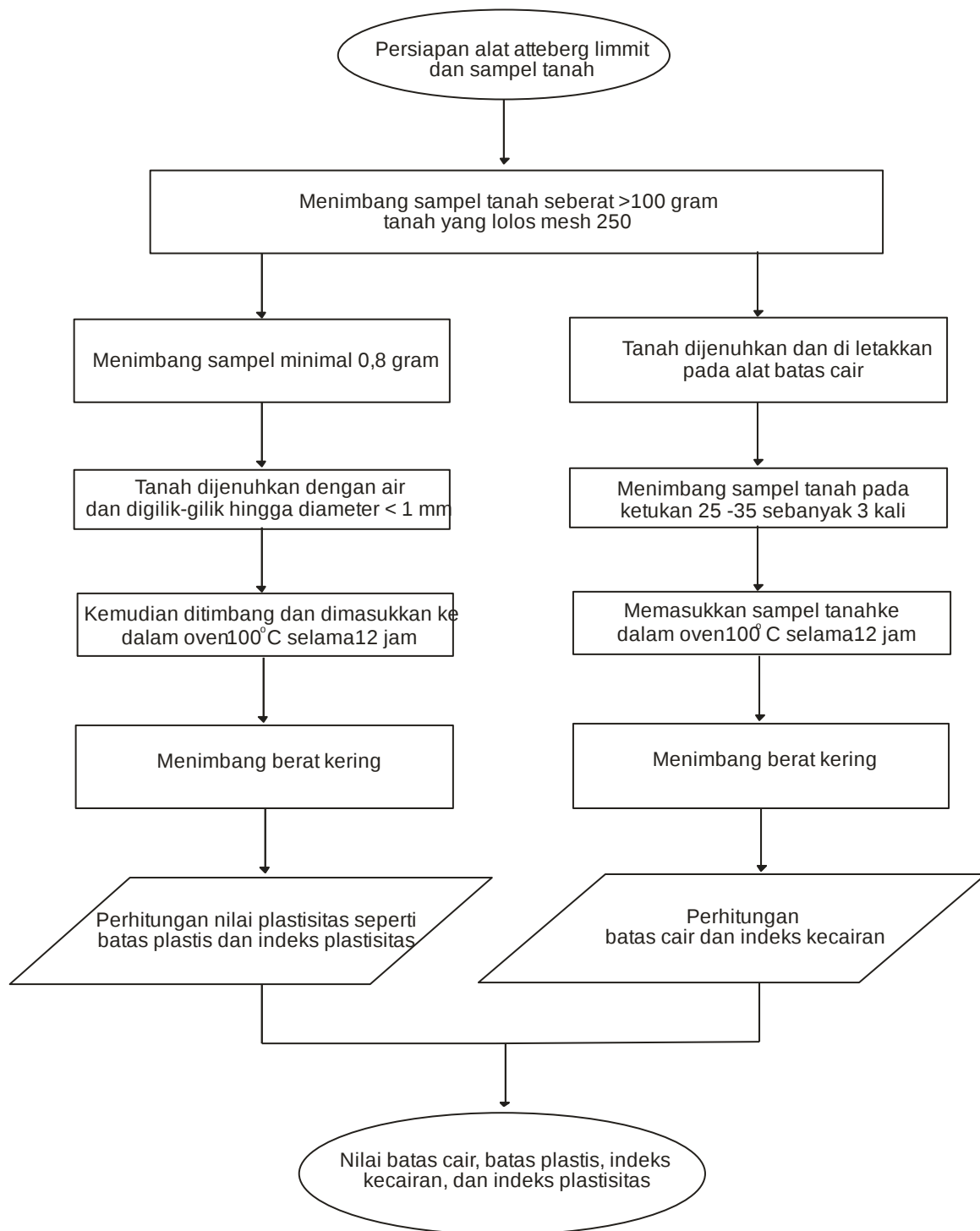
C_c = Koefisien gradasi butir

D_{30} = Diameter bukaan dimana 30% butiran dengan ukuran tersebut atau lebih halus dapat lolos (dilihat dari kurva distribusi)

Berdasarkan persamaan tersebut, jika koefisien keseragaman butir dan koefisien gradasi butir semakin besar, maka semakin baik gradasi atau semakin buruk pemilahannya dari tanah tersebut. Pengelompokan tanah dengan ukuran butir halus dilakukan berdasarkan sifat plastisitasnya. Dalam hal ini adalah hubungan antara indeks plastisitas dan batas cair tanah. Prosedur pengujian sifat penunjuk tanah dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 2.6 dan Gambar 2.7).



Gambar 2.6 Diagram alir pengujian persebaran dan gradasi butir pada sampel tanah tak terganggu.



Gambar 2.7 Diagram alir pengujian sifat plastis dan sifat cair pada sampel tanah takterganggu.

2.3 Karakteristik Massa Batuan

Massa batuan (*rock mass*) merupakan tubuh batuan yang dipisahkan oleh diskontinuitas. Massa batuan terdiri dari material geologi seperti tekstur, komposisi mineral, dan kondisi diskontinuitas. Massa Batuan dapat diklasifikasikan berdasarkan parameter-parameter tertentu untuk menilai properti keteknikannya. Klasifikasi massa batuan dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah Metode RMR (*Rock Mass Rating*).

RMR merupakan metode pengklasifikasian massa batuan berdasarkan parameter kekuatan batuan, nilai RQD, spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, dan kondisi air tanah. Hasil dari pembobotan kelima parameter pada Metode RMR digunakan untuk menentukan klasifikasi massa batuan (Tabel 2.1).

$$RMR = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

Keterangan :

R_1 = Bobot kekuatan batuan

R_2 = Bobot RQD

R_3 = Bobot spasi disontinuitas

R_4 = Bobot kondisi diskontinuitas

R_5 = Bobot kondisi air

Parameter-parameter diatas dapat dibobotkan dan menghasilkan nilai dan kelas massa batuan sebagai berikut :

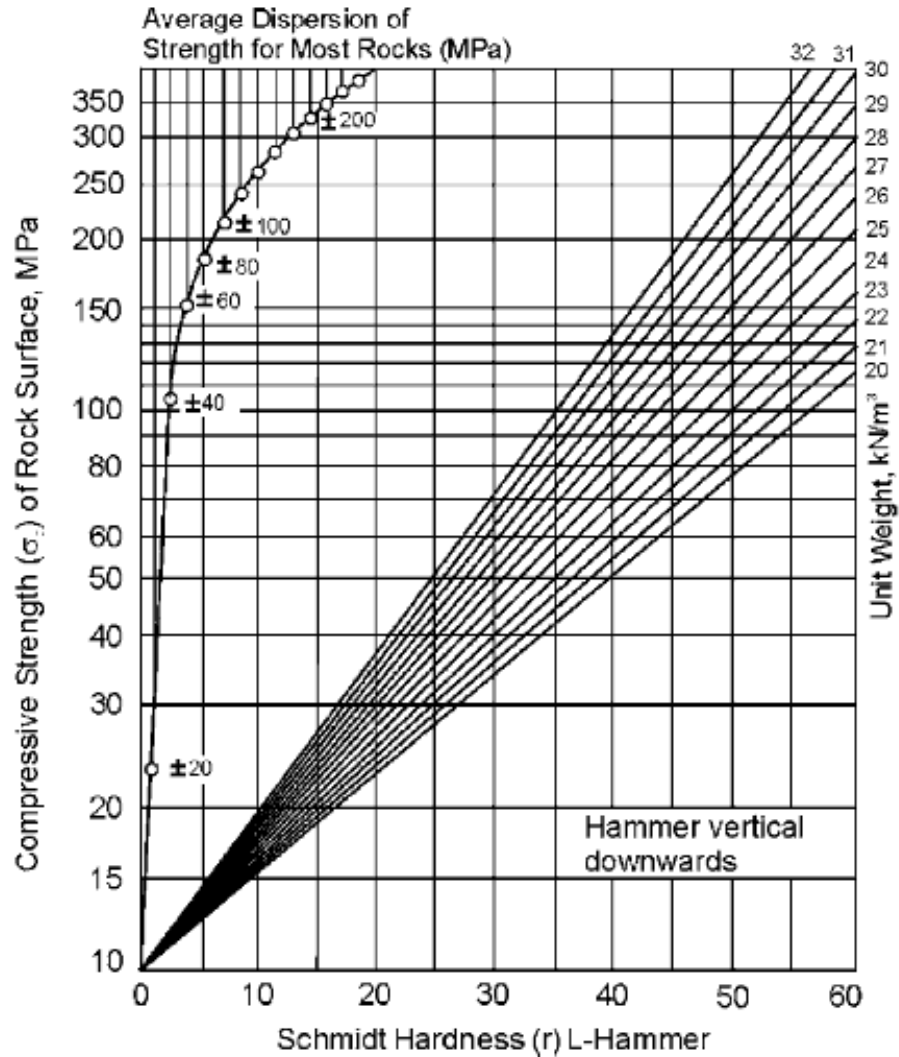
Design Parameters and Engineering Properties or Rock Mass (Bieniawski, 1989)					
Parameter/properties of rock mass	RMR				
	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20
Classification of rock mass	Very good	Good	Fair	Poor	Very Poor

Tabel 2.1 Kelas massa batuan berdasarkan nilai RMR (Bienawski, 1979).

2.3.1 Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan dalam RMR dinyatakan dengan *Uniaxial Compressive Strenght* (UCS). UCS merupakan kekuatan dari batuan utuh yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan

uniaksial atau konversi nilai palu *schmidt* (SHV) dengan berat isi atau *unit weight* batuan (Gambar 2.8). Kemudian nilai UCS dibobotkan menggunakan tabel Bienawski (1989) yang digunakan sebagai parameter karakterisasi massa batuan (Tabel 2.2).



Gambar 2.8 Grafik korelasi kekuatan kompresif batuan antara berat isi dengan nilai kekerasan Palu *Schmidt* (Miller, 1965 dalam Goel dan Singh, 2011).

2.3.2 RQD (*Rock Quality Designation*)

RQD merupakan kualitas massa batuan yang ditentukan berdasarkan nilai spasi diskontinuitas atau frekuensi diskontinuitas. Menurut Deere (1963) dalam Goel dan Singh

(2011), nilai RQD dapat dihitung berdasarkan frekuensi dari hasil pengamatan diskontinuitas pada singkapan lereng, sebagai berikut:

$$RQD^* = 100(\lambda t + 1)e^{-\lambda t}$$

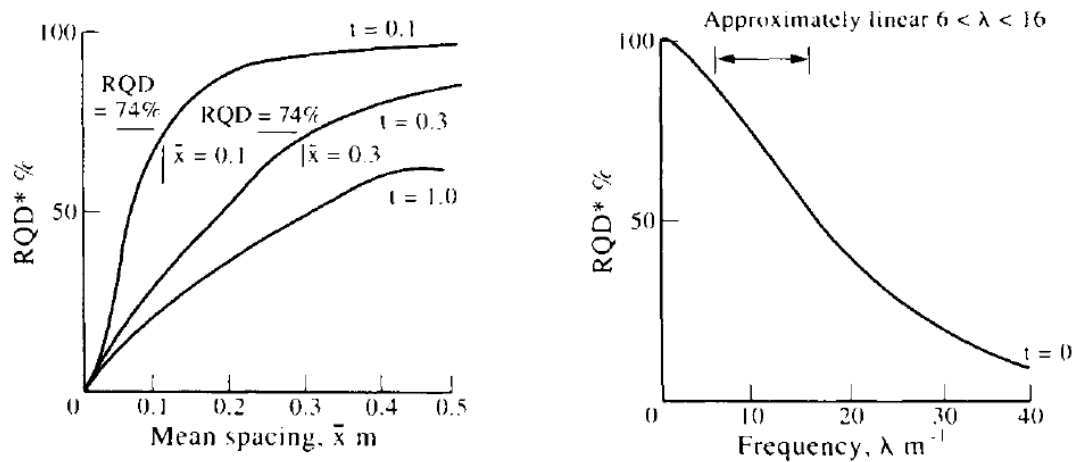
atau untuk $6 < \lambda < 16$,

$$RQD^* = -3,68\lambda + 110,4$$

$$\lambda = \text{frekuensi} = \frac{\text{Jumlah diskontinuitas}}{\text{Panjang Scanline}}$$

$t = \text{nilai threshold}$

Nilai RQD dapat ditentukan juga menggunakan grafik eksponensial nilai rata-rata spasi atau nilai frekuensi (Gambar 2.9)



Gambar 2.9 Grafik hubungan frekuensi dan rata-rata spasi dengan RQD (Hudson dan Harrison, 1997).

2.3.3 Spasi Diskontinuitas

Spasi diskontinuitas merupakan jarak antara dua diskontinuitas yang berdekatan dalam satu *scanline*.

$$\text{Spasi diskontinuitas rata - rata} = \frac{\text{Panjang scanline}}{\text{Jumlah diskontinuitas}}$$

Berdasarkan lebar bukaan, Bieniawski (1989) membagi spasi diskontinuitas menjadi beberapa jenis dan memiliki bobot berbeda-beda (Tabel 2.3).

Tabel 2.2 Bobot parameter kekuatan batuan (UCS).

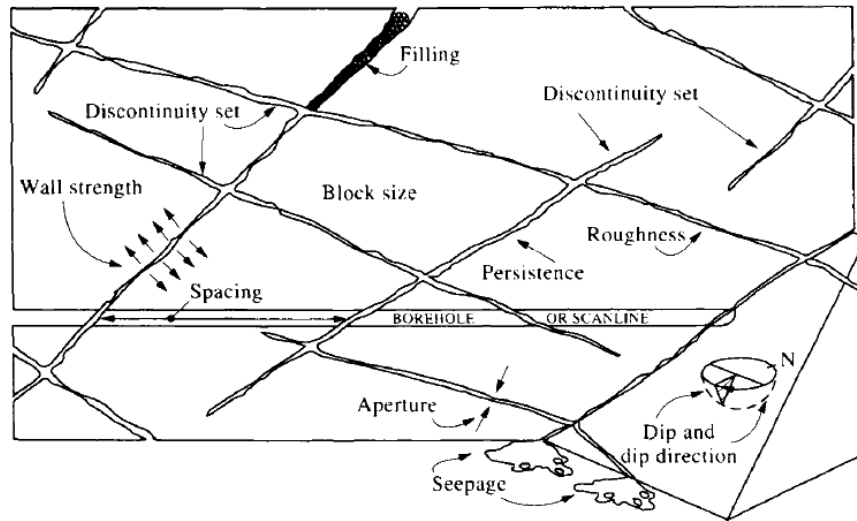
Strength of Intact Rock Material (Bieniawski, 1989)			
Qualitative description	Compressive strength (MPa)	Point load strength (MPa)	Rating
<i>Extremely Strong</i>	>250	8	15
<i>Very Strong</i>	100 - 250	4 - 8	12
<i>Strong</i>	50 - 100	2 - 4	7
<i>Medium Strong</i>	25 - 50	1 - 2	4
<i>Weak</i>	5 - 25	<i>Use of UCS is preferred</i>	2
<i>Very Weak</i>	1 - 5	-do-	1
<i>Extremely Weak</i>	<1	-do-	0

Tabel 2.3 Jenis dan bobot spasi dikontinuitas berdasarkan lebar bukaan.

Spacing of Discontinuities (Bieniawski, 1989)		
Description	Spacing (m)	Rating
<i>Very Wide</i>	>2	20
<i>Wide</i>	0.6-2	15
<i>Moderate</i>	0.2 - 0.6	10
<i>Close</i>	0.06 - 0.2	8
<i>Very Close</i>	<0.06	5

2.3.4 Kondisi Diskontinuitas

Kondisi diskontinuitas ditentukan dari deskripsi tiap bidang diskontinuitas berupa orientasi diskontinuitas, panjang diskontinuitas (*presistence*), lebar bukaan diskontinuitas (*aperture*), kekasaran diskontinuitas (*joint roughness*), tingkat pelapukan, dan isian rekahan (*infilling/gouge*) (Gambar 2.10). Deskripsi kondisi diskontinuitas merupakan parametes pada karakterisasi massa batuan yang memiliki bobot nilai berdasarkan tabel Bienawski (1989) (lihat Tabel 2.4).

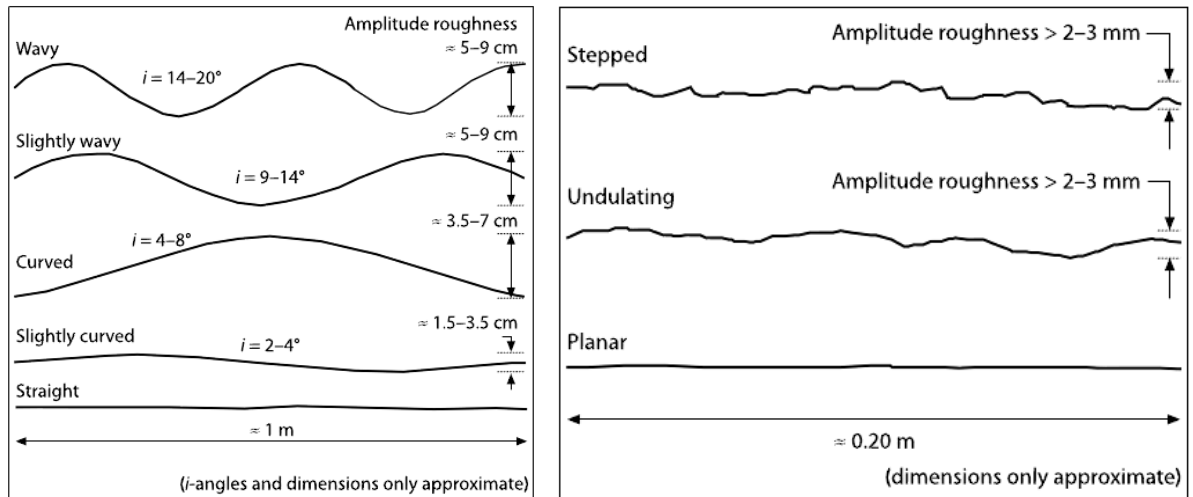


Gambar 2.10 Kondisi diskontinuitas dalam massa batuan (Hudson dan Horison, 1997).

Kekasaran diskontinuitas ditentukan dengan nilai JRC (*Joint Roughness Coeficient*). JRC dapat ditentukan menggunakan profil skala Price dan Hack tahun 1995 dalam Price (2009) berdasarkan profil kekasaran permukaan skala kecil dengan skala besar (Gambar 2.11). *Aperture* adalah jarak bukaan diskontinuitas. Semakin besar jarak bukaan diskontinuitas akan memeperkecil nilai RMR. Bukaan pada diskontinuitas sering terdapat isian berupa mineral, tanah, atau fragmen pecahan batuan. *Presistence* merupakan panjang diskontinuitas. Semakin panjang suatu diskontinuitas akan memeperkecil nilai RMR.

Tabel 2.4 Bobot Parameter kondisi diskontinuitas berdasarkan Bienawski (1989).

The RMR System: Guidelines for Clasification of Discontinuity Conditions (Bieniawski, 1989)					
Parameter	Ratings				
<i>Discontinuity length (persistence/continuity)</i>	<1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	>20 m
	6	4	2	1	0
<i>Separation (aperture)</i>	None	<0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
<i>Roughness of discontinuity surface</i>	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
	6	5	3	1	0
<i>Infillings (gouge)</i>	None	<i>Hard filling</i>		<i>Soft filling</i>	
		<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5 mm
	6	4	2	2	0
<i>Weathering discontinuity surface</i>	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
	6	5	3	1	0



Gambar 2.11 Profil skala kekasaran untuk menentukan nilai JRC (Hack dan Price, 1995 dalam Price, 2009).

2.3.5 Kondisi Airtanah

Airtanah biasanya mengisi rongga antara permukaan diskontinuitas. Keberadaan air akan mempengaruhi kuat geser antara kedua bidang diskontinuitas. Airtanah dapat mengurangi kekuatan, merubah kandungan mineral melalui proses alterasi, pelarutan, mengubah densitas, meningkatkan tekanan pori, dan menyebabkan erosi. Berdasarkan Bienawski (1989) kriteria kondisi air tanah untuk penilaian karakteristik massa batuan untuk kondisi jenuh air memiliki bobot paling kecil (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Bobot parameter kondisi air tanah dalam karakterisasi massa batuan.

<i>Groundwater Condition (Bieniawski, 1989)</i>					
<i>General description</i>	<i>Completely dry</i>	<i>Damp</i>	<i>Wet</i>	<i>Dripping</i>	<i>Flowing</i>
<i>Rating</i>	15	10	7	4	0

2.3.6 Kekuatan Geser

Kekuatan geser batuan adalah kekuatan yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab kelongsoran. Kekuatan geser dalam batuan dipengaruhi oleh sifat fisik batuan, kohesi, dan sudut geser dalam. Kohesi adalah gaya tarik-menarik antarpartikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Sudut geser dalam

adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya yang melebihi tegangan gesernya. Jika semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar.

2.4 Kestabilan Lereng Massa Batuan

Analisis kestabilan lereng merupakan analisis detil pada struktur massa batuan. Analisis ini merupakan pekerjaan pada *site investigation* yang bertujuan untuk menentukan stabilitas kemiringan lereng, stabilitas mekanisme lereng, penentuan *slope sensitivity* terhadap curah hujan, gempa bumi, dan longsor. Selain itu, analisis lereng penting dalam penentuan stabilitas dari potensial *unstable slope* atau keruntuhan karena berhubungan dengan desain lereng dalam konstruksi yang akan berimplikasi pada aplikasi dan faktor keekonomian.

Dasar yang dibutuhkan dalam evaluasi kestabilan lereng adalah karakteristik geologi, hidrogeologi, parameter geoteknik, dan *unstable mechanism* seperti model kinematika atau potensial kegagalan. Dalam analisis kestabilan lereng terdapat beberapa cara, diantaranya adalah teknik konvensional, teknik numerik, dan analisis konvensional. Teknik konvensional merupakan teknik yang masih baik digunakan, teknik ini terdapat tiga analisis diantaranya analisis kinematika, RMR, dan SMR dengan metode pengambilan data berupa *scanline*.

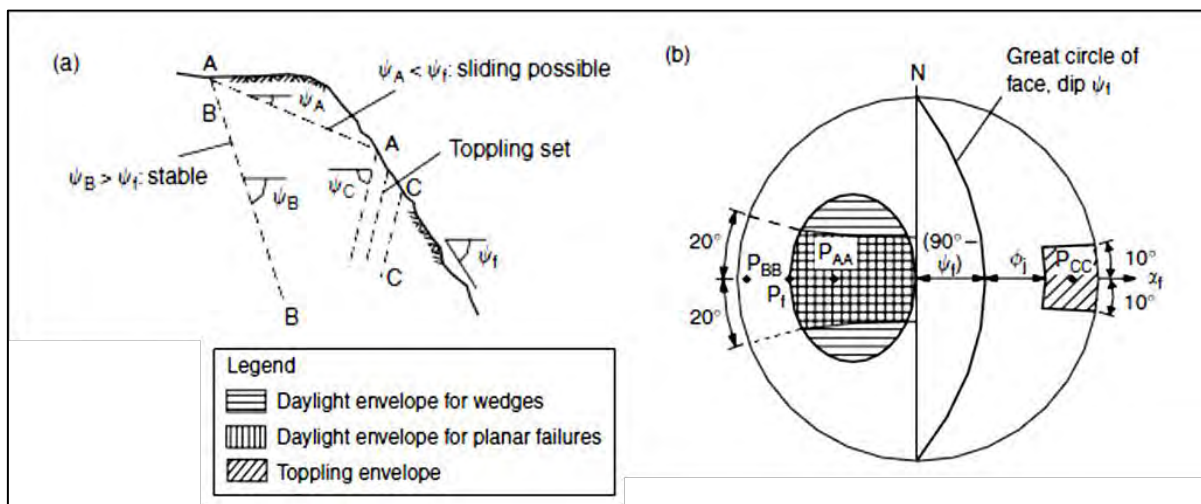
2.4.1 Analisis Kinematika

Analisis Kinematika merupakan analisis suatu diskontinuitas pada massa batuan menggunakan stereonet. Kinematika menunjukkan pergerakan suatu benda tanpa memperhitungkan gaya yang menyebabkannya bergerak (Goodman, 1989). Analisis ini digunakan pada keterarahan diskontinuitas batuan untuk memastikan bahwa tidak ada bagian batuan yang berpotensi untuk runtuh. Diskontinuitas atau bidang lemah merupakan suatu kenampakan struktur yang memisahkan blok-blok batuan dalam satu massa batuan (Hoek dan Bray, 1981).

Pertimbangan dasar dari analisis ini arah bidang lemah batuan berkaitan dengan orientasi penggalian atau pemotongan lereng dan besar sudut geser dalam. Hubungan keduanya dapat ditentukan melalui analisis stereografi dari bidang-bidang diskontinuitas

dengan arah lereng alami atau arah pemotongan lereng yang digunakan untuk menentukan potensi kegagalan (Gambar 2.12).

Pada analisis kinematika, terdapat beberapa jenis potensi kegagalan yang dibentuk oleh kedudukan lereng dengan kedudukan diskontinuitas, diantaranya adalah keruntuhan geser baji (*wedge failure*), keruntuhan geser planar (*planar failure*), keruntuhan geser melengkung (*circular failure*), keruntuhan jungkitan (*toppling*), atau blok runtuh (Gambar 2.13). Analisis kinematika biasanya digunakan untuk analisis lereng dengan karakteristik batuan yang masih keras dan kompak.



Gambar 2.12 Analisis kinematika pada lereng batuan: (a) *discontinuity set* pada lereng batuan (b) potensi kegagalan yang ditunjukkan pada area stereonet (Hoek dan Bray, 1981).

Keruntuhan Geser Planar

Keruntuhan planar merupakan potensi kegagalan yang terjadi pada lereng ketika blok batuan berada pada bidang gelincir tunggal dengan kemiringan lebih rendah dari pada muka lereng (Hoek dan Bray, 1981) (Gambar 2.14). Syarat umum terjadinya keruntuhan:

- Bidang gelincir memiliki jurus sejajar atau hampir sejajar (maksimal $\pm 20^\circ$) dengan muka lereng.
- Kemiringan bidang gelincir lebih kecil dari kemiringan lereng.
- Kemiringan bidang gelincir lebih besar daripada sudut geser dalamnya.

- d. Bidang gelincir berpotongan dengan permukaan atas lereng atau dianggap sebagai retakan tarikan (*tension crack*).

- **Keruntuhan Geser Baji**

Kegagalan geser baji merupakan kegagalan yang terjadi pada dua bidang gelincir apabila memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Terdapat dua bidang lemah atau lebih yang berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng.
- b. Sudut lereng lebih besar daripada sudut garis potong kedua bidang lemah.
- c. Sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar daripada sudut geser dalamnya.

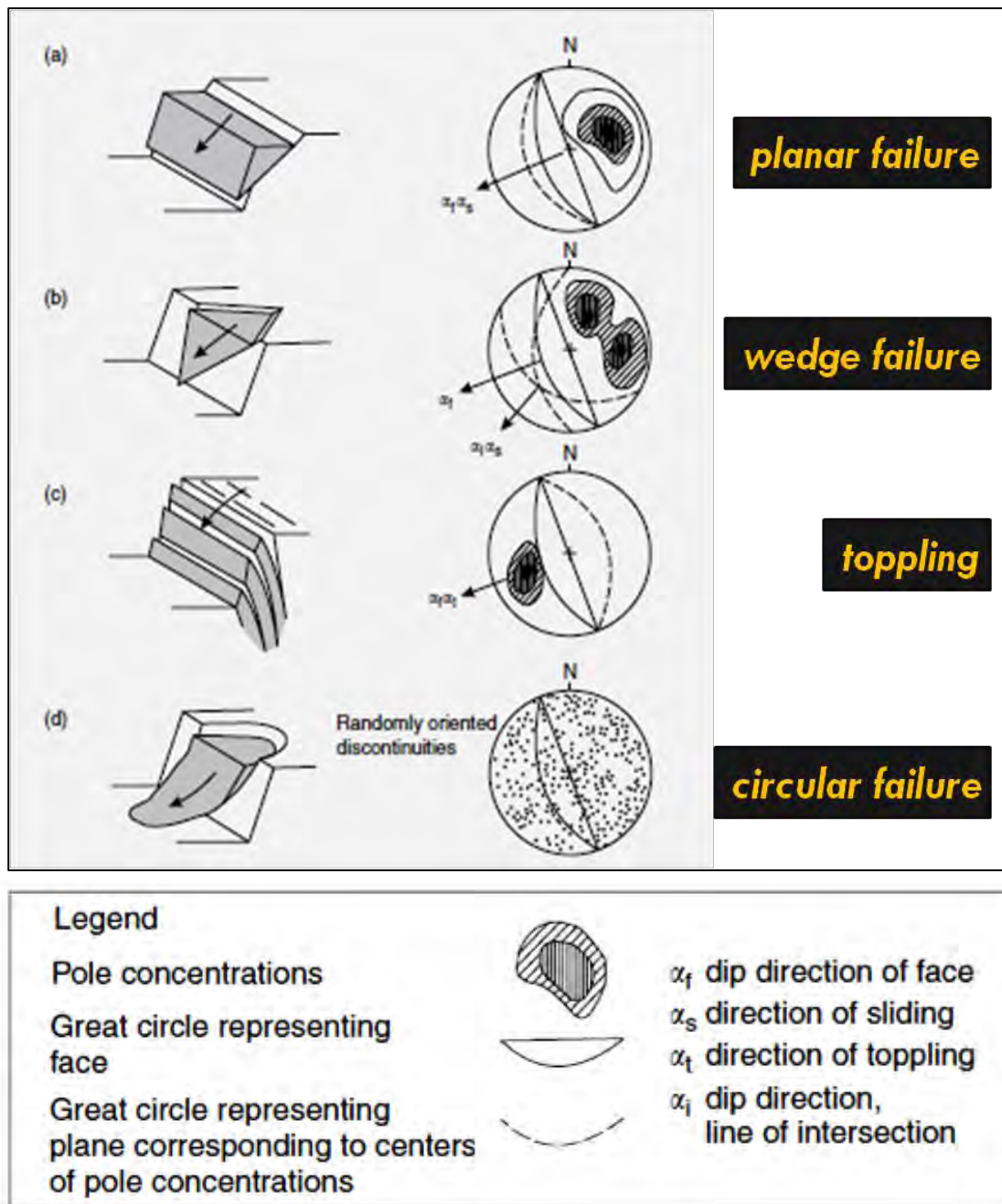
Keruntuhan geser baji juga dapat berupa kegagalan dengan bidang geser tunggal apabila arah kemiringan (*dip direction*) salah satu bidang lemah berada di antara arah garis perpotongan kedua bidang lemah dan arah kemiringan lereng.

- **Keruntuhan Jungkiran**

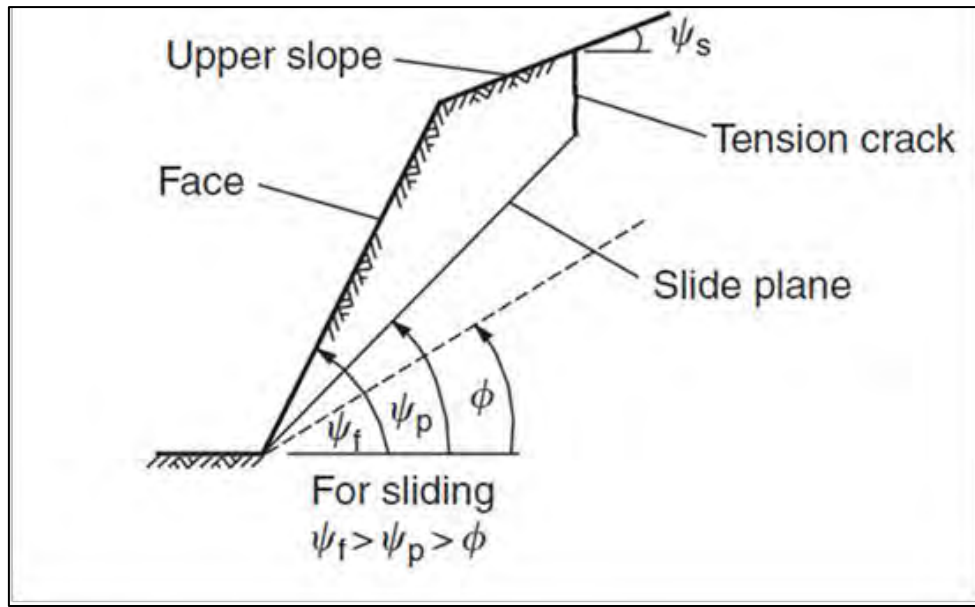
Keruntuhan jungkiran dapat terjadi apabila terdapat bidang lemah yang memiliki kemiringan berlawanan arah dengan kemiringan lereng dan perbedaan arah jurus $\pm 20^\circ$.

- **Keruntuhan Geser Melengkung**

Keruntuhan dengan bidang gelincir berbentuk melengkung atau *circular failure* merupakan keruntuhan yang terbentuk pada kondisi massa batuan yang terkekarkan kuat dengan orientasi diskontinuitas yang menyebar atau pada batuan yang sangat lapuk. Kegagalan ini merupakan kegagalan dengan tipe *soil-like* atau menyerupai tanah.



Gambar 2.13 Analisis kinematika kestabilan lereng untuk penentuan jenis keruntuhan berdasarkan orientasi kedudukan lereng dengan kedudukan diskontinuitas (a) *Planar Failure*, (b) *Wedge Failure*, (c) *Toppling*, (d) *Circular Failure* (Hoek dan Bray, 1981).



Gambar 2.14 Geometri peampang yang memperlihatkan bidang-bidang pembentuk kegagalan geser planar (Hoek dan Bray, 1981).

2.4.2 Slope Mass Rating (SMR)

Slope mass rating (SMR) merupakan modifikasi dari RMR. SMR merupakan metode untuk menentukan kestabilan lereng. Metode ini merupakan metode pembobotan klasifikasi massa batuan yang menambahkan parameter hubungan orientasi diskontinuitas dengan kemiringan lereng dalam suatu sistem ekskavasi. Prosedur perhitungan dari metode SMR untuk menentukan kestabilan lereng dapat dilihat pada diagram alir (Gambar 2.15).

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Keterangan :

F_1 = hubungan arah *joint* dengan *slope*

F_2 = hubungan antara dip *joint*

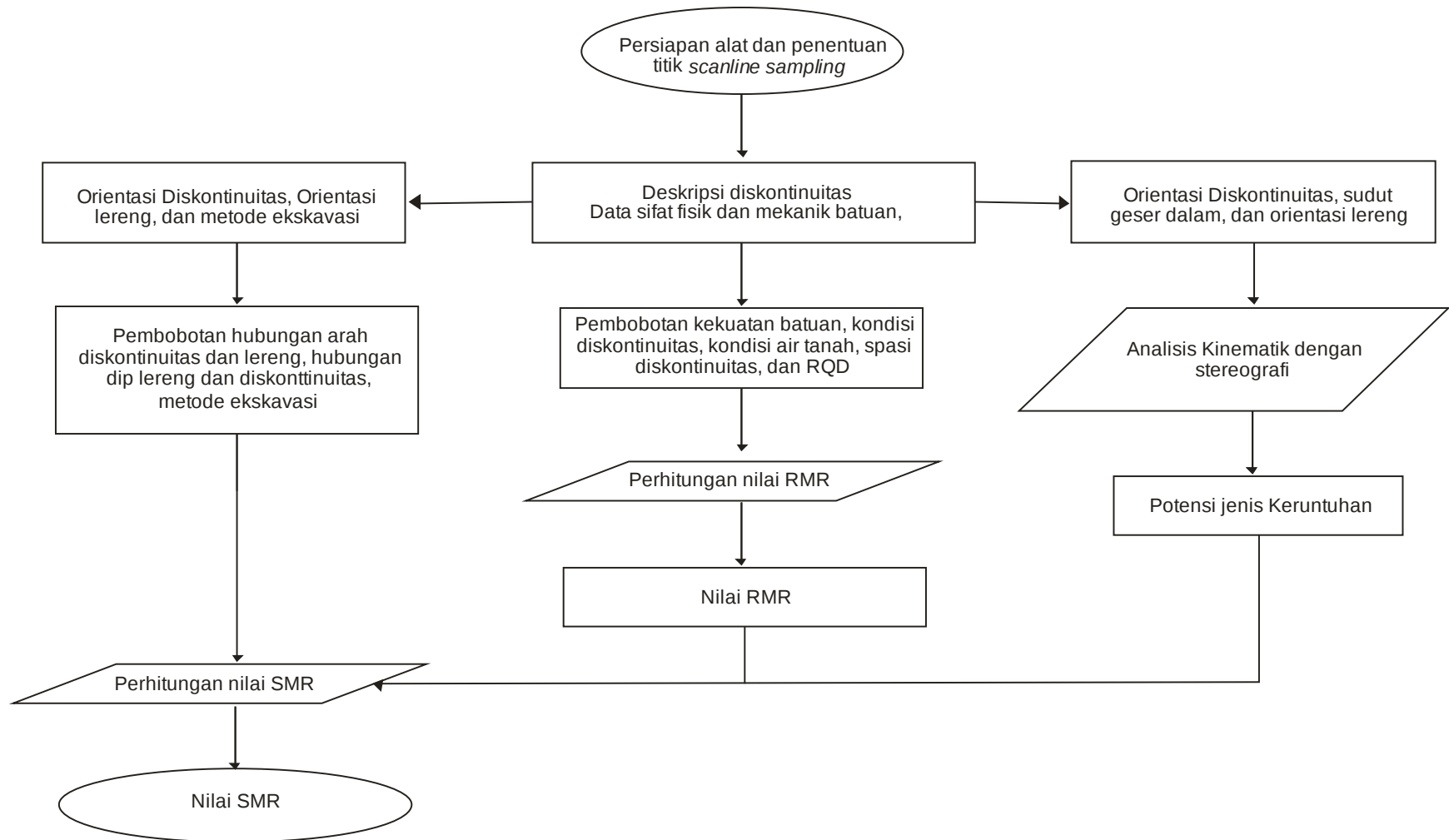
F_3 = hubungan antara dip *joint* dan *slope*

F_4 = metode ekskavasi

Set joint yang digunakan dalam analisis SMR adalah *set joint* yang memiliki potensi kegagalan dengan nilai paling tinggi dari hasil analisis kinemtika. Bobot untuk metode ekskavasi adalah 0 berupa metode ekskavasi mekanik yang disetarakan dengan bobot metode *normal blasting*. Hasil pembobotan parameter akan memberikan nilai dan kelas SMR yang digunakan untuk menentukan kestabilan lereng, potensi jenis kegagalan yang dihasilkan, serta rekomendasi perkuatan dan penyanggahan. Berikut ini merupakan tabel klasifikasi kelas SMR dan rekomendasi stabilisasi lereng (Tabel 2.6).

Tabel 2.6 Klasifikasi kelas lereng dan rekomendasi dari hasil nilai SMR (Romana, 1985).

Suggested Supports for Various SMR Class		
SMR classes	SMR values	Suggested supports
Ia	91-100	None
Ib	81-90	None, scaling is required
IIa	71-80	(None, toe ditch, or fence), spot bolting
IIb	61-70	(Toe ditch or fence nets), spot or systematic bolting
IIIa	51-60	(Toe ditch or fence nets), spot or systematic bolting, spot shotcrete
IIIb	41-50	(Toe ditch or fence nets), systematic bolting/anchors, systematic shotcrete, toe wall and/or dental concrete
IVa	31-40	Anchors, systematic shotcrete, toe wall and/or concrete (or re-excavation, drainage
IVb	21-30	Systematic reinforced shotcrete, toe wall, and/or concrete, re-excavation, deep drainage
V	11-20	Gravity or anchored wall, re-excavation



Gambar 2.15 Diagram alir penentuan kestabilan lereng massa batuan