



Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, MT

MEKANIKA BATUAN

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian maupun keseluruhan isi buku ini dalam bentuk apa pun, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Judul Buku : Mekanika Batuan

Penulis : Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

Diterbitkan oleh : Penerbit Universitas Trisakti, Jakarta

Cetakan Pertama : Agustus 2019

ISBN : 978-602-0750-08-8

Sanksi Pelanggaran :

Pasal 72 Undang-Undang No. 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,- (satu juta rupiah) atau penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,- (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan atau denda paling banyak Rp 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

BUKU AJAR

MEKANIKA

BATUAN



Penerbit Universitas Trisakti, Jakarta

BUKU AJAR MEKANIKA BATUAN

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

Penerbit Universitas Trisakti

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Tanda Anggota No. 134/DKI/99

Jl. Kyai Tapa No. 1 Grogol

Jakarta 1140

Cetakan Pertama Agustus 2019

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

Buku Ajar Mekanika Batuan/Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T. --

Jakarta : Penerbit Universitas Trisakti, 2019.

xxiv, 256 hlm.; 15,5 x 23 cm.

ISBN : 978-602-0750-08-8

PRAKATA

Buku yang tersaji berikut adalah buku ajar yang merupakan acuan untuk pengajaran mata kuliah Mekanika Batuan. Mata kuliah tersebut diberikan untuk Mahasiswa Program Studi Teknik Geologi FTKE Universitas Trisakti Semester 6. Dalam hal ini, **ada perbedaan cara saji antara materi mekanika batuan yang diberikan kepada mahasiswa di lingkungan Geologi dan luar lingkungan Geologi**, yakni: pertama, terdapat penekanan khusus saat pembahasan **deformasi batuan** yang terkait dengan aspek tektonik dan sifat fisik batuan; kedua, pada **penggunaan konvensi tanda + dan – untuk tegangan kompresi dan tegangan tarik pada Diagram Mohr**, aplikasi untuk Geologi menggunakan konvensi seperti yang digunakan oleh USGS (*United States Geological Survey*) sementara pada Pertambangan dan Teknik Sipil menggunakan konvensi tanda yang berlawanan.

Penyusunan buku ajar ini disesuaikan dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang mencantumkan tujuan dari diajarkannya mata kuliah Mekanika Batuan yaitu memberikan kemampuan dasar bagi mahasiswa untuk dapat memahami, menerapkan perhitungan-perhitungan, menganalisis secara kinematika perubahan bentuk dan ukuran regangan yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang bekerja pada batuan sehingga diperoleh suatu model mekanika batuan yang mencakup sifat diskontinuitas yang memengaruhi kekuatan atau ketahanan batuan terhadap beban atau gaya yang akan digunakan dalam suatu rancangan geologi teknik. Pokok-pokok bahasan disusun sedemikian rupa sehingga pemahaman dimulai dari hal yang bersifat global menuju hal yang bersifat rinci *in-situ*. Adapun

sistematika bahasan meliputi pemahaman mengenai ruang lingkup dan keterbatasan mekanika batuan, interior bumi, sumber gerak lempeng tektonik, mekanisme sumber gempa (*focal mechanism*), deformasi batuan, proyeksi stereonet, tegangan dan regangan, vektor dan tensor, diagram Mohr, tegangan efektif, keruntuhan batuan, diskontinuitas, uji laboratorium, rancangan kualitas batuan dan solusi mekanika batuan.

Dalam penyajiannya, buku ini dirancang tidak hanya mengetengahkan pengetahuan dasar yang berkaitan dengan deformasi batuan, namun juga merangsang mahasiswa untuk bisa mengalami proses pembelajaran sebagaimana hierarki Bloom, dimana dalam ranah kognitif terdapat 6 aspek jenjang proses berpikir, mulai dari jenjang terendah sampai dengan jenjang yang paling tinggi: pengetahuan/hafalan/ingatan (*knowledge*), pemahaman (*comprehension*), penerapan (*application*), analisis (*analysis*), sintesa (*syntesis*) dan penilaian/penghargaan/evaluasi (*evaluation*). Sebagai realisasinya *template* penulisan buku ajar ini dibuat sedemikian rupa, dimana pada setiap pembahasan akan dimunculkan suatu *insight* berupa pertanyaan-pertanyaan atau pernyataan-pernyataan yang bertindak sebagai pemicu menuju tingkat pemikiran yang lebih tinggi, baik pemahaman, analisis, sintesa ataupun evaluasi terhadap persoalan yang dibahas. Sementara itu beberapa contoh soal dimasukkan sebagai upaya untuk melatih aktivitas psikomotorik mahasiswa dalam memahami mekanika batuan.

Pada setiap bab terdapat juga rangkuman materi serta bahan diskusi dari kandungan materi bab terkait sebagai implementasi dari metode pembelajaran berbasis *Student Centered Learning*. Lebih spesifik lagi pada bab akhir disajikan suatu studi kasus tentang solusi

mekanika batuan serta tanya jawab untuk melatih psikomotorik peserta didik yang ditujukan untuk dibahas sebagai materi diskusi kelompok dan dipresentasikan di depan kelas. Pada implementasinya, hal ini sebagai realisasi dari metode pembelajaran ***Problem Based Learning***.

Tak lupa, penulis mengucapkan terimakasih kepada Dekan FTKE Dr. Ir. Afiat Anugrahadi, M.S., Ketua Prodi Teknik Geologi Dr. Ir. Fajar Hendrasto, Dip. Geoth. Tech., M.T., KMK Geologi Teknik Dr. Ir. Abdurrachman Assegaf, M.T., team reviewer yang terdiri dari Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc., Dr. Ir. Moehamad Ali Jambak, M.T., Dr. Suryo Prakoso, S.T., M.T dan Dr. Pancanita Novi Hartami, S.T., M.T., serta Ibu Yuniar Susanti, S.T. yang telah berkenan membantu administrasi pada saat review berlangsung.

Akhir kata, sama halnya dengan yang diajar, penulis pun menganggap proses pengajarannya sebagai wahana pembelajaran, yakni suatu proses perubahan berkesinambungan menuju ke arah yang lebih baik pada masa akan datang.

Jakarta, 6 Juli 2018

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA	xv
DAFTAR TABEL	xxiv
BAB I	
MENGAPA BELAJAR MEKANIKA BATUAN?	1
A. Pentingnya Mempelajari Mekanika Batuan.....	1
B. Pengertian Mekanika Batuan	2
C. Kompleksitas dan Ketidakpastian	3
D. Sasaran Mekanika Batuan	6
RANGKUMAN	7
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	7
BAHAN DISKUSI	7
BAB II	
INTERIOR BUMI	9
A. Sumber Informasi Mengenai Interior Bumi	9
1. Sumber Langsung	10
2. Sumber Tidak Langsung	10
B. Struktur dan Komposisi Bumi	15
1. Kerak Bumi	16
2. Mantel	18
3. Inti	19
C. Batuan Penyusun Kerak Bumi.....	19
RANGKUMAN	21
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	22
BAHAN DISKUSI	22

BAB III	GERAK LEMPENG TEKTONIK	23							
	A. Sumber Gerak.....	23							
	B. Macam Gerak Lempeng Tektonik.....	25							
	C. Rezim Tektonik.....	32							
	1. Kompresi – <i>Thrust Fault</i>	33							
	2. Ekstensi – <i>Normal Fault</i>	33							
	3. <i>Transcurrent – Strike-Slip Fault</i>	34							
	D. Distribusi Tegangan Dunia.....	34							
	RANGKUMAN.....	40							
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	41							
	BAHAN DISKUSI.....	41							
BAB IV	MEKANISME SUMBER GEMPA	43							
	A. Solusi Mekanisme Sumber Gempa.....	43							
	B. <i>Beachball Diagram</i>	45							
	C. Contoh Ragam Tafsir <i>Beachball Diagram</i>	49							
	D. Metode Pembuatan <i>Beachball Diagram</i>	50							
	RANGKUMAN.....	53							
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	54							
	BAHAN DISKUSI.....	54							
BAB V	DEFORMASI BATUAN	55							
	A. Penyebab Deformasi.....	55							
	B. Definisi Fisik.....	57							
	1. Medium Kontinu.....	57							
	2. Aksioma Newton.....	58							
	3. Dimensi.....	59							
	C. Gaya.....	59							
	1. Pernyataan Matematis.....	59							
	2. Orientasi.....	61							
	3. Rasio Gaya Tubuh terhadap Gaya Permukaan....	62							
	4. Gaya Berarah.....	64							
	5. Komponen Normal dan Komponen <i>Shear</i>	65							
	6. Keadaan Setimbang.....	66							
	D. Macam Deformasi Batuan.....	68							
	RANGKUMAN.....	77							
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	78							
	BAHAN DISKUSI.....	78							
BAB VI	PROYEKSI STEREO NET	79							
	A. Stereonet.....	79							
	B. Penggunaan.....	83							
	1. Pengeplotan Bidang.....	83							
	2. Pengeplotan Garis.....	85							
	3. Pengeplotan <i>Pole</i>	86							
	4. <i>Pi-Plot</i> dan Perlipatan.....	88							
	5. Restorasi.....	89							
	RANGKUMAN.....	93							
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN.....	94							
	BAHAN DISKUSI.....	94							
BAB VII	TEGANGAN DAN REGANGAN	95							
	A. Definisi.....	95							
	B. Hukum Hooke.....	98							
	C. Modulus Elastik.....	101							
	1. <i>Young Modulus</i>	101							
	2. <i>Bulk Modulus</i>	101							
	3. <i>Poisson's Ratio</i>	102							
	D. Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan.....	102							
	RANGKUMAN.....	108							

	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	109			
	BAHAN DISKUSI	110			
BAB VIII	VEKTOR DAN TENSOR	111			
	A. Definisi	111			
	B. <i>Normal Stress</i> dan <i>Shear Stress</i>	114			
	C. <i>Principal Stress</i>	115			
	D. <i>Mean Stress</i>	117			
	E. <i>Deviatoric Stress</i> dan <i>Differential Stress</i>	118			
	RANGKUMAN	119			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	120			
	BAHAN DISKUSI	120			
BAB IX	DIAGRAM MOHR	121			
	A. Latar Belakang	121			
	B. Konsep Tegangan	122			
	C. Diagram Mohr	128			
	D. Tegangan dalam 2D	129			
	E. Tegangan dalam 3D	132			
	F. Tegangan Aksial Sederhana (<i>Simple Axial Stress</i>)..	133			
	G. Tegangan Biaksial (<i>Biaxial Stress</i>)	136			
	H. Aplikasi Diagram Mohr	140			
	RANGKUMAN	144			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	144			
	BAHAN DISKUSI	145			
BAB X	TEGANGAN EFEKTIF	147			
	A. Tegangan Efektif	147			
	B. Kopling Tegangan dan Tekanan Fluida	151			
	1. Kopling pada Rezim <i>Normal Fault</i>	151			
	2. Kopling pada Rezim <i>Thrust Fault</i>	153			
	3. Kopling pada Rezim <i>Strike-Slip Fault</i>	154			
	RANGKUMAN	155			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	156			
	BAHAN DISKUSI	156			
BAB XI	KERUNTUHAN BATUAN	157			
	A. Kriteria Mohr-Coulomb	157			
	B. <i>Friction Angle</i> dan <i>Repose Angle</i>	160			
	C. Kurva Kekuatan Batuan	163			
	RANGKUMAN	165			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	166			
	BAHAN DISKUSI	166			
BAB XII	DISKONTINUITAS	167			
	A. Kejadian Diskontinuitas	167			
	B. Geometri Diskontinuitas	170			
	C. Intensitas Diskontinuitas	171			
	D. Rancangan Kualitas Batuan	173			
	RANGKUMAN	177			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	178			
	BAHAN DISKUSI	178			
BAB XIII	UJI LAPANGAN DAN LABORATORIUM	179			
	A. Metode Pengujian di Lapangan	180			
	B. Metode Pengujian Laboratorium	184			
	RANGKUMAN	185			
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	186			
	BAHAN DISKUSI	186			
BAB XIV	SOLUSI MEKANIKA BATUAN	187			
	A. Studi Kasus	187			
	B. Metode Solusi	190			

C. Analisis Kestabilan	191
RANGKUMAN	198
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	199
BAHAN DISKUSI	199
BAB XV TANYA-JAWAB	201
A. Tegangan.....	201
B. Tegangan In-Situ	217
C. Massa Batuan: Kemampuan Terdeformasi, Ketahanan dan Kegagalan	239
DAFTAR PUSTAKA	253
BIODATA PENULIS	255

DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA

Gambar 1	Sifat homogenitas dan keisotropikan batuan	4
Gambar 2	Kompleksitas yang terjadi saat pembangunan terowongan <i>Gottard Base</i> di Switzerland (Loew et al, 2000)	5
Gambar 3	Rekaman gelombang gempa (Anonim, 2018).....	12
Gambar 4	Zona bayangan dari Gelombang-P dan Gelombang-S (Anonim, 2018).....	14
Gambar 5	Susunan material penyusun bumi (Anonim, 2018).....	16
Gambar 6	Gunung api (Anonim, 2018)	18
Gambar 7	Pergerakan horizontal lempeng-lempeng tektonik (Burg, 2017).....	26
Gambar 8	Konfigurasi lempeng tektonik saat ini (Burg, 2017).....	28
Gambar 9	Klasifikasi pertemuan lempeng tektonik (Burg, 2017).....	31
Gambar 10	Macam rezim tektonik (Burg, 2017).....	32
Gambar 11	Garis alir hipotetik yang menggambarkan arus konveksi pada mantel dengan lempeng lithosferik, fragmen dan <i>mantle plumes</i> (Burg, 2017).....	36
Gambar 12	Gerak lempeng absolut dari GPS (Burg, 2017)	38
Gambar 13	Bentuk gerak lempeng sinusoidal (Burg, 2017)	38
Gambar 14	Proyeksi bidang patahan (Cronin, 2010)	45
Gambar 15	<i>Beachball Diagram</i> untuk <i>strike-slip faulting</i> (Cronin, 2010)	47

Gambar 16	Arah patahan <i>strike-slip</i> (Cronin, 2010).....	47	Gambar 38	<i>Strike-slip fault</i> (Nelson, 2015).....	75
Gambar 17	<i>Beachball diagram</i> untuk (a) <i>normal fault</i> (b) <i>thrust fault</i> (Cronin, 2010).....	48	Gambar 39	Geometri lipatan (Nelson, 2015).....	76
Gambar 18	<i>Beachball diagram</i> untuk (a) <i>oblique normal slip fault</i> (b) <i>oblique reverse slip fault</i> (Cronin, 2010)	48	Gambar 40	Proyeksi bidang pada stereonet (Houghton, 2013) ...	80
Gambar 19	Contoh ragam <i>beachball diagram</i> (Cronin, 2010) ...	49	Gambar 41	Proyeksi garis pada stereonet (Houghton, 2013)....	81
Gambar 20	Gerakan pertama gelombang-P (Cronin, 2010).....	50	Gambar 42	Stereonet (Houghton, 2013).....	82
Gambar 21	Penentuan bentuk gelombang-P yang datang pertama (Cronin, 2010).....	52	Gambar 43	Kertas kalkir di atas stereonet (Houghton, 2013) ...	83
Gambar 22	Pengeplotan bentuk gelombang-P untuk 2 contoh soal latihan (Cronin, 2010).....	53	Gambar 44	Pemutaran tanda <i>strike</i> ke arah utara stereonet (Houghton, 2013).....	83
Gambar 23	(a) Translasi (b) Rotasi (Burg, 2018).....	56	Gambar 45	Penggambaran sudut <i>dip</i> pada stereonet (Houghton, 2013).....	84
Gambar 24	(a) <i>Brittle</i> (b) <i>Ductile</i> (c) <i>Boudinage</i> (Burg, 2018)....	57	Gambar 46	Hasil penggambaran bidang perlapisan pada stereonet (Houghton, 2013).....	84
Gambar 25	Gaya tubuh (Burg, 2018).....	62	Gambar 47	Pengeplotan <i>azimuth</i> suatu garis pada stereonet (Houghton, 2013).....	85
Gambar 26	Macam gaya permukaan (Burg, 2018).....	64	Gambar 48	Pengeplotan <i>plunge</i> suatu garis pada stereonet (Houghton, 2013).....	85
Gambar 27	Dekomposisi gaya menjadi komponen <i>normal</i> dan <i>shear</i> (Burg, 2018).....	65	Gambar 49	Hasil penggambaran suatu garis <i>lineament</i> pada stereonet (Houghton, 2013).....	86
Gambar 28	Gaya dalam keadaan setimbang (Burg, 2018).....	67	Gambar 50	<i>Pole</i> (Houghton, 2013).....	86
Gambar 29	Komponen gaya <i>shear</i> dalam keadaan setimbang (Burg, 2018)	68	Gambar 51	Penentuan <i>pole</i> dari proyeksi bidang perlapisan (Houghton, 2013)	87
Gambar 30	<i>Strike</i> dan <i>dip</i> perlapisan (Nelson, 2015).....	69	Gambar 52	Penggambaran <i>pole</i> dari proyeksi bidang perlapisan pada stereonet (Houghton, 2013).....	87
Gambar 31	Perlapisan tegak dan datar (Nelson, 2015).....	70	Gambar 53	Distribusi beberapa <i>poles</i> pada stereonet menggambarkan pola perlipatan (Houghton, 2013)	88
Gambar 32	<i>Plunge</i> (Nelson, 2015).....	70	Gambar 54	Bidang profil pola perlipatan (Houghton, 2013).....	89
Gambar 33	<i>Normal fault</i> (Nelson, 2015).....	72			
Gambar 34	<i>Graben dan horst</i> (Nelson, 2015)	73			
Gambar 35	<i>Half-graben</i> (Nelson, 2015).....	74			
Gambar 36	<i>Reverse fault</i> (Nelson, 2015).....	74			
Gambar 37	<i>Thrust fault</i> (Nelson, 2015).....	75			

Gambar 55	Sumbu lipatan dan bidang sumbu lipatan (Houghton, 2013).....	89	Gambar 68	Relasi trigonometri dari gaya normal dan gaya geser pada bidang P (Burg, 2018).....	124
Gambar 56	Plot <i>poles</i> dari 2 bidang perlapisan yang tidak selaras. Titik biru menandakan <i>pole</i> bidang di atas bidang ketidak-selarasan, sedangkan merah di bawah bidang ketidak-selarasan (Houghton, 2013).....	90	Gambar 69	Relasi trigonometri dari tegangan normal dan tegangan geser (Burg, 2018).....	127
Gambar 57	Penyesuaian <i>poles</i> dari 2 bidang perlapisan yang tidak selaras (Houghton, 2013).....	91	Gambar 70	Diagram Mohr (Burg, 2018).....	129
Gambar 58	Pengeplotan <i>poles</i> dari bidang perlapisan dan lineasi yang terletak pada bidang tersebut (Houghton, 2013).....	92	Gambar 71	Diagram Mohr untuk analisis momen tensor 2D (Burg, 2018).....	131
Gambar 59	Penyesuaian <i>poles</i> dari bidang perlapisan dan lineasi yang terletak pada bidang tersebut (Houghton, 2013).....	92	Gambar 72	Diagram Mohr untuk analisis momen tensor 3D (Burg, 2018).....	133
Gambar 60	<i>Pole</i> dari lineasi saat bidang perlapisan sebelum terlipat (Houghton, 2013).....	93	Gambar 73	Spesimen uji silinder (Parry, 2004).....	134
Gambar 61	Komponen tegangan (<i>stress</i>) terdiri dari <i>normal</i> dan <i>shear</i> (Burg, 2018).....	97	Gambar 74	Sistem tegangan biaksial pada pelat persegi panjang (Parry, 2004).....	137
Gambar 62	Implikasi gaya yang bekerja pada pegas untuk menerangkan Hukum Hooke.....	99	Gambar 75	Penampang 2D tegangan kompresi dan tegangan tekan pada sepotong batu sabak.....	139
Gambar 63	<i>Differential stress</i> dan <i>confining stress</i> (Nelson, 2015).....	103	Gambar 76	Lingkaran Mohr untuk (a) kompresi biaksial, (b) kompresi-tekan biaksial dan (c) geser murni (Parry, 2004).....	142
Gambar 64	Tiga keadaan deformasi (Nelson, 2015).....	104	Gambar 77	Lingkaran Mohr untuk $\sigma_1=1,6$ MPa dan $\sigma_2=-0,4$ MPa.....	143
Gambar 65	<i>Brittle</i> dan <i>ductile</i> (Nelson, 2015).....	106	Gambar 78	Tegangan efektif.....	149
Gambar 66	<i>Brittle</i> dan <i>ductile</i> pada litosfer (Nelson, 2015).....	108	Gambar 79	Keadaan dinamik tegangan efektif (Burg, 2018) ..	150
Gambar 67	Sembilan komponen tegangan (Burg, 2018).....	112	Gambar 80	Keadaan dinamik tegangan efektif pada rezim tektonik <i>normal fault</i> (Altmann, 2010).....	152
			Gambar 81	Keadaan dinamik tegangan efektif pada rezim tektonik <i>thrust fault</i> (Altmann, 2010).	154
			Gambar 82	Keadaan dinamik tegangan efektif pada rezim tektonik <i>strike-slip fault</i> (Altmann, 2010).....	155
			Gambar 83	Bidang kegagalan Mohr-Couloumb (Parry, 2005) ...	158

Gambar 84	Selubung kegagalan pada diagram Mohr (Parry, 2005).....	159	Gambar 97	Prosedur pengujian <i>down-hole triaxial</i> (Taheri, 2008).....	182
Gambar 85	Selubung kegagalan pada diagram Mohr (Parry, 2005).....	160	Gambar 98	Hubungan tegangan-regangan dalam DHTT (Taheri, 2008).....	184
Gambar 86	<i>Repose angle</i>	161	Gambar 99	Distribusi <i>young modulus</i> untuk DHTT dan pengujian di laboratorium (Taheri, 2008).....	184
Gambar 87	<i>Intrinsic curve'</i> dengan kurva untuk (1) <i>uniaxial tension</i> ; (2) <i>unconfined axial compression</i> ; (3) <i>confined compression</i> (Parry, 2005).	163	Gambar 100	Macam-macam blok pada bagian di sekitar penggalian (Keykha et al, 2011).....	189
Gambar 88	<i>Griffith elliptical crack</i> (titik P mengindikasikan titik kegagalan) (Parry, 2005).	164	Gambar 101	Hubungan bidang diskontinuitas dengan lingkaran gesekan (Keykha et al, 2011).....	191
Gambar 89	Selubung Griffith untuk (a) tegangan utama dan (b) tegangan normal dan tegangan geser (Parry, 2005).....	165	Gambar 102	Penampang terowongan (Keykha et al, 2011).....	192
Gambar 90	Dimensi diskontinuitas di dalam suatu tubuh batuan dan dimensi suatu struktur rekayasa batuan (Hudson dan Harrison, 2000).	169	Gambar 103	Relasi kedalaman dan tegangan vertikal (Keykha et al, 2011).....	194
Gambar 91	Skematik geometri sifat fisik diskontinuitas (Hudson dan Harrison, 2000).....	170	Gambar 104	Tegangan vertikal di sekitar zona yang runtuh (Keykha et al, 2011).	194
Gambar 92	Diskontinuitas sepanjang sampel pengukuran (Hudson dan Harrison, 2000).....	172	Gambar 105	Pergerakan massa batuan di sekitar terowongan (Keykha et al, 2011).	195
Gambar 93	Histogram diskret dan kontinu (Hudson dan Harrison, 2000).....	173	Gambar 106	Analisis kestabilan pada dinding terowongan (Keykha et al, 2011).....	197
Gambar 94	Probabilitas nilai batuan utuh > 0,1 meter (Hudson dan Harrison, 2000).....	175	Gambar 107	Analisis kestabilan pada atap terowongan (Keykha et al, 2011).....	198
Gambar 95	Sebaran parameter statistik RQD (Hudson dan Harrison, 2000).....	176	Gambar 108	Uraian gaya F (Harrison dan Hudson, 2000).	202
Gambar 96	Peralatan <i>down-hole in-situ triaxial</i> (Taheri, 2008). ...	181	Gambar 109	Resolusi komponen gaya F (Harrison dan Hudson, 2000).	205
			Gambar 110	Tegangan yang bekerja pada suatu kubus (Harrison dan Hudson, 2000).....	207
			Gambar 111	Matriks simetris (Harrison dan Hudson, 2000).	207

Gambar 112	Komponen diagram Mohr (Harrison dan Hudson, 2000).	209
Gambar 113	Matriks tegangan utama yang masing-masing tegak lurus bidang utama (Harrison dan Hudson, 2000).	210
Gambar 114	Tegangan geser murni (Harrison dan Hudson, 2000).	211
Gambar 115	Perubahan laju komponen pada arah sumbu (Harrison dan Hudson, 2000).	214
Gambar 116	Tegangan geser murni (Harrison dan Hudson, 2000).	217
Gambar 117	Kubus dan sumbu referensi dan (Harrison dan Hudson, 2000)	218
Gambar 118	Kubus dan tegangan utama (Harrison dan Hudson, 2000).	218
Gambar 119	Plot tegangan utama pada stereonet (Harrison dan Hudson, 2000).	219
Gambar 120	Gangguan pada medan tegangan akibat keberadaan rekahan (Harrison dan Hudson, 2000).	222
Gambar 121	Tiga pengujian flatjack (Harrison dan Hudson, 2000).	226
Gambar 122	Penampang melintang lubang bor (Harrison dan Hudson, 2000)	230
Gambar 123	Tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada bidang rekahan (Harrison dan Hudson, 2000).	240

Gambar 124	Kehadiran rekahan pada spesimen batuan (Harrison dan Hudson, 2000).	243
Gambar 125	Kurva frekuensi rekahan vs modulus massa batuan pada variasi beberapa modulus rekahan (Harrison dan Hudson, 2000).	248
Gambar 126	Regangan geser pada massa batuan tidak retak (Harrison dan Hudson, 2000).	248

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Sub-sistem struktur fundamental (Burg, 2017)	30
Tabel 2	RQD pada interval 25 meter (Keykha et al, 2011).....	192
Tabel 3	RMR rata-rata (Keykha et al, 2011).....	193

BAB I

MENGAPA BELAJAR MEKANIKA BATUAN?

Capaian Pembelajaran :

Mahasiswa dapat memahami definisi dan ruang lingkup mekanika batuan yang merupakan irisan dari beberapa disiplin keilmuan, hambatan serta sasaran daripada pembelajaran mekanika batuan.

Deskripsi:

Dalam bab ini mahasiswa akan diajak untuk memahami pengertian mekanika batuan, ruang lingkup mekanika batuan, kendala dan sasaran mekanika batuan.

A. Pentingnya Mempelajari Mekanika Batuan

Pembelajaran tentang Mekanika Batuan dimulai sejak tahun 1950-an, berawal dari pembelajaran tentang sifat fisik batuan yang berkembang secara bertahap menjadi ilmu yang mandiri pada tahun 1960-an. Sifat mekanika batuan dipelajari sebagai produk dari adanya gangguan terhadap batuan. Gangguan tersebut bisa bersifat buatan karena adanya rekayasa manusia maupun bersifat alamiah. Gangguan alamiah memberikan implikasi yang kuat terhadap daya dukung batuan, sehingga ada keterkaitan yang erat antara sifat mekanika batuan dengan struktur geologi. Pola-pola yang teramati pada batuan merupakan artefak masa lalu yang bisa menjadi kunci untuk memahami deformasi yang pernah terjadi.

Pada aplikasinya, daya dukung batuan akan direpresentasikan dengan batas kekuatan batuan berupa titik keruntuhan batuan. Struktur perlipatan, patahan dan kekar memengaruhi daya dukung batuan, sehingga gambaran deformasi yang terjadi pada batuan dapat tercermin dari gaya yang bekerja membentuk pola-pola tersebut.

Rancang bangun pada pekerjaan keteknikan ditentukan oleh daya dukung batuan, demikian pula suatu desain penambangan untuk aktivitas penambangan juga tidak terlepas dari kebutuhan pengetahuan tentang sifat mekanika yang terkait dengan kekuatan batuan. Sehingga pembelajaran tentang sifat mekanika batuan akan membantu kita untuk mengetahui seberapa besar kekuatan serta daya dukung batuan.

Apakah yang disebut daya dukung batuan?
Apa bedanya dengan kekuatan batuan?

B. Pengertian Mekanika Batuan

Mekanika Batuan merupakan disiplin keilmuan tentang proses deformasi yang terjadi pada batuan yang tersingkap atau tidak tersingkap di permukaan bumi. Mekanika Batuan merupakan irisan dari berbagai disiplin ilmu antara lain Geologi, Geofisika, Teknik Sipil, Pertambangan dan Perminyakan. Pada tahun 1963, *The Rock Mechanics Committee of the American National Academy of Science* mendefinisikan Mekanika Batuan adalah ilmu pengetahuan teoritis dan terapan mengenai sifat mekanika batuan dan tanggapannya terhadap medan gaya yang berasal dari lingkungan fisiknya (Cook, 1966 vide Hoek, 1966).

Lebih jauh, Hoek (1966) membagi Mekanika Batuan menjadi:

- *Structural Rock Mechanics* yang menitikberatkan pada kestabilan struktur bangunan yang dibangun pada fondasi batuan.
- *Comminution* yang membahas pemecahan batuan menjadi fragmen-fragmen lebih kecil dengan mengaplikasikan gaya-gaya seperti saat pengeboran, pembuatan terowongan, peledakan batuan dan lain sebagainya.

Apakah deformasi hanya direpresentasikan oleh pola struktur geologi saja?

Dari uraian tersebut di atas tersirat adanya aspek kestabilan struktur bangunan dan proses pengekarangan pada kedua cabang ilmu tersebut. Dalam hal menjaga kestabilan struktur bangunan, keruntuhan batuan (*failure*) harus dihindari, sebab keruntuhan dalam konteks tersebut dianggap sebagai deformasi yang berlebihan, adapun pengekarangan batuan harus diinduksi dengan energi eksternal yang se-efisien mungkin.

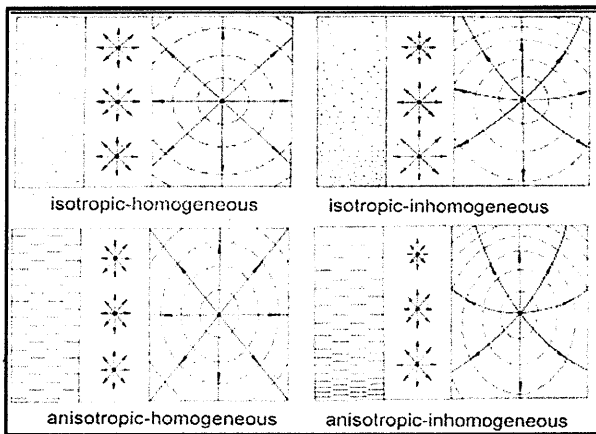
C. Kompleksitas dan Ketidakpastian

Dalam mempelajari Mekanika Batuan ditemukan kompleksitas serta ketidakpastian sifat fisik batuan karena interaksi dengan lingkungan geologi. Heterogenitas sifat fisik batuan berkaitan dengan keberagaman komponen yang menyusun batuan. Kondisi geologi sangat memengaruhi keberagaman tersebut, pola sortasi yang tidak teratur akan mengakibatkan nilai heterogenitas meningkat. Sementara, sifat anisotropi berkaitan dengan keberagaman sifat fisik bila ditinjau dari variasi arah. Arah pengendapan akan menentukan

MEKANIKA BATUAN

sifat fisik batuan yang khas serta akan berbeda dengan arah yang lain. Sehingga, massa batuan beserta genesanya bersifat unik yang mengakibatkan sistem yang kompleks dan tidak pasti.

Gambar 1 menunjukkan relasi yang kuat antara homogenitas batuan dan sifat ke-isotropik-an. Tampak adanya 4 kemungkinan yang bisa terjadi, dimana kecenderungan mempunyai sifat fisik batuan homogen isotropik adalah sangat rendah, sementara kebanyakan bersifat inhomogen anisotropik, dalam beberapa kasus terdapat hubungan yang homogen anisotropik maupun inhomogen isotropik. Dari gambaran tersebut tampak bahwa sifat ketidakpastian berkaitan dengan skala yang diamati.

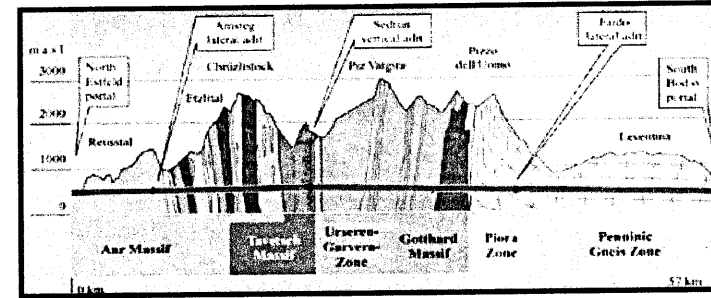


Gambar 1 Sifat homegenitas dan keisotropikan batuan

Morgenstern (1995) menyebutkan ada 3 macam ketidakpastian:

- Ketidakpastian parameter yang berkaitan dengan variasi sifat fisik secara spasial misalnya tentang daya dukung batuan.
- Ketidakpastian model yang lahir dari suatu perbedaan (*gap*) antara pengetahuan teoritis dan praktis.

- Ketidakpastian manusia yang lahir akibat keterbatasan pengamatan manusia.



Gambar 2 Kompleksitas yang terjadi saat pembangunan terowongan *Gottard Base* di Switzerland (Loew et al, 2000).

Gambar di atas mengilustrasikan betapa kompleksnya sifat mekanika batuan yang dihadapi saat pembangunan terowongan *Gottard Base* di Switzerland yang memakan waktu pembangunan lebih dari 12 tahun untuk terowongan sepanjang 57 km, serta menghabiskan biaya sebesar US \$ 7 miliar. Tampak bahwa ragam litologi dan struktur geologi mewarnai ketidakpastian yang ada.

Apa kaitan deformasi yang terjadi pada batuan dengan tingkat ketidakpastian sifat mekanika batuan?

Ketidakpastian ini yang pada akhirnya membutuhkan suatu pemetaan yang lebih rinci dan analisis yang terintegrasi baik itu berupa deformasi masa lalu maupun deformasi masa kini. Kesalahan terhadap suatu estimasi mengenai deformasi yang terjadi pada saat ini akan berakibat fatal terhadap keberlangsungan objek bangunan yang ada. Ketidakpastian tentang deformasi di masa depan juga merupakan faktor yang menambah kompleksitas permasalahan.

D. Sasaran Mekanika Batuan

Dalam pembahasannya, Mekanika Batuan mempunyai beberapa sasaran yang terkait dengan bidang keilmuan yang akan menggunakan disiplin ini. Sasaran tersebut dapat diuraikan antara lain :

- Evaluasi terhadap potensi bencana geologi seperti longsor dan gempabumi.
- Pemilihan material bangunan.
- Pemilihan letak konstruksi.
- Analisis kestabilan batuan.
- Rancangan operasi peledakan batuan.
- Rancangan sistem pendukung.
- Rancangan program *hydraulic fracturing* pada pengeboran hidrokarbon.
- Rancangan program instrumentasi penambangan.
- Evaluasi karakteristik pembuatan terowongan (*excavation*).
- Studi deformasi batuan pada tekanan dan temperatur tinggi.

Menurut Chandra (2010), persoalan yang dihadapi dalam penerapan Mekanika Batuan adalah:

- Bagaimana tanggapan batuan saat dieksploitasi?
- Bagaimana daya dukung batuan di permukaan maupun pada kedalaman tertentu?
- Berapakah nilai kuat geser batuan?
- Bagaimana ketahanan batuan terhadap gempa?
- Berapakah nilai modulus elatisitas batuan?
- Bagaimana pengaruh diskontinuitas batuan seperti perlapisan, kekar, *schistosity* dan lain-lain terhadap kekuatan batuan?
- Bagaimana mekanisme keruntuhan batuan?

RANGKUMAN

1. Rancang bangun pada pekerjaan keteknikan ditentukan oleh estimasi daya dukung batuan, demikian pula untuk aktivitas penambangan, suatu desain penambangan juga tidak terlepas dari kebutuhan pengetahuan tentang sifat mekanika yang terkait dengan kekuatan batuan.
2. Mekanika Batuan adalah ilmu pengetahuan teoritis dan terapan mengenai sifat mekanika batuan dan tanggapannya terhadap medan gaya yang berasal dari lingkungan fisiknya.
3. Massa batuan beserta genesanya bersifat unik yang mengakibatkan sistem yang kompleks dan tidak pasti. Adapun sifat ketidakpastian berkaitan dengan skala yang diamati.

UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN

1. Kenapa kita harus belajar Mekanika Batuan?
2. Apa definisi Mekanika Batuan menurut *The Rock Mechanics Committee of the American National Academy of Science*?
3. Jelaskan perbedaan titik pandang Mekanika Batuan secara *Structural Rock Mechanics* dan *Comminution*?
4. Apa yang menyebabkan Mekanika Batuan merupakan ilmu yang mengandung ketidakpastian?

BAHAN DISKUSI

Sifat mekanika batuan berkaitan dengan deformasi yang terjadi pada batuan dan tercermin dari pola struktur geologi. Daya dukung batuan tidak hanya dipengaruhi oleh deformasi yang terjadi pada masa lalu, namun juga dipengaruhi oleh deformasi pada saat ini. Diskusikan mengenai aspek-aspek apa saja yang memengaruhi perubahan deformasi masa lalu ke masa kini?

MEKANIKA BATUAN

Morgenstern, N. R., 1995, Managing risk in geotechnical engineering. 10th Pan-American Conf. on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Canadian Geotechnical Society

Nelson, S.A., 2015, Physical Geology, lecture material (unpublished)
Parry, R.H.G, 2004, Mohr circles, stress paths and geotechnics., Spon Press

Taheri, A., 2008, Study on shear strength and deformability properties of rock masses by in-situ and laboratory testing methods, thesis (unpublished)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Cilacap, 1 Juli 1960. Meraih gelar Doktor dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2011 dengan disertasi "Estimasi Tetapan Anisotropi Medium Isotrop Transversal Tegak dari Difraksi Gelombang Seismik-P dengan Pendekatan Polinomial Orde-3", mempunyai kebaruan berupa penurunan persamaan anisotropi dari fungsi difraksi, sebelumnya berupa penurunan persamaan dari fungsi refleksi. Beliau juga aktif sebagai instruktur di bidang Desain Parameter Seismik 3-D dan Geomekanika. Selama hampir 3 dekade mengabdikan diri pada sebuah perusahaan jasa minyak PT. Elnusa Tbk dengan jabatan akhir sebagai *Principal of Elnusa Petroleum School*. Setelah pensiun dari PT.Elnusa Tbk pada tahun 2015, penulis menjadi tenaga pengajar tetap di Universitas Trisakti dengan mata kuliah Geofisika Hidrokarbon, Pemodelan Geostatistik dan Mekanika Batuan. Disamping itu sebagai pengajar tidak tetap pada Program Magister F-MIPA Universitas Indonesia pada mata kuliah Seismologi Eksplorasi dan Produksi serta Geofisika Instrumentasi.

Buku ajar Mekanika Batuan ditulis karena masih sedikitnya buku dengan tema sejenis. Buku ini bermanfaat bagi mahasiswa program S1 yang mempelajari ilmu rekayasa kebumihan baik berlatar belakang Geologi maupun yang berkaitan dengan Geologi. Penyusunan buku ini disesuaikan dengan RPS (Rencana Pembelajaran Semester) yang bertujuan memberikan kemampuan dasar bagi mahasiswa agar dapat memahami dan menerapkan perhitungan-perhitungan, serta menganalisis secara kinematika perubahan bentuk dan ukuran regangan yang diakibatkan tegangan yang bekerja pada batuan, sehingga diperoleh pemodelan mekanika batuan yang akan digunakan untuk suatu rancangan geologi teknik.

Sistematika pembahasan disusun sedemikian rupa, mulai dari yang global ke *in-situ*. Pokok bahasan meliputi ruang lingkup mekanika batuan dan kendalanya, interior bumi, gerak lempeng tektonik, mekanisme sumber gempa (*focal mechanism*), deformasi batuan, proyeksi stereonet, tegangan dan regangan, vektor dan tensor, diagram Mohr, tegangan efektif, keruntuhan batuan, diskontinuitas, uji laboratorium, rancangan kualitas batuan dan solusi mekanika batuan.

Buku ini dirancang bukan hanya menyampaikan segala pengetahuan mendasar terkait deformasi batuan, namun mengajak mahasiswa untuk terlibat mengalami proses pembelajaran selayaknya hierarki Bloom, yakni meningkat dari jenjang terendah ke lebih tinggi: dari pengetahuan/hapalan/ingatan (*knowledge*), pemahaman (*comprehension*), penerapan (*application*), analisis (*analysis*), sintesis (*synthesis*) sampai ke penilaian/penghargaan/evaluasi (*evaluation*). Pada setiap bab terdapat rangkuman materi dan bahan diskusi sebagai implementasi pembelajaran berbasis SCL (*Student Centered Learning*) dan PBL (*Problem Based Learning*).

ISBN 978-602-0750-08-8



mekanika batuan

by Imam Ronoatmojo

Submission date: 18-Apr-2022 11:26PM (UTC+0700)

Submission ID: 1813623077

File name: BUKU_AJAR__Mekbat_MW2019_mei21.docx (31.86M)

Word count: 34582

Character count: 217156

BUKU AJAR
MEKANIKA BATUAN

Oleh :
Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.



PRODI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI KEBUMIHAN DAN ENERGI
UNIVERSITAS TRISAKTI
2018

PRAKATA

Buku yang tersaji berikut adalah buku ajar yang merupakan acuan untuk pengajaran mata kuliah Mekanika Batuan. Mata kuliah tersebut diberikan untuk Mahasiswa Program Studi Teknik Geologi FTKE Universitas Trisakti Semester 6. Dalam hal ini, **ada perbedaan cara saji antara materi mekanika batuan yang diberikan kepada mahasiswa di lingkungan Geologi dan luar lingkungan Geologi**, yakni: pertama, terdapat penekanan khusus saat pembahasan **deformasi batuan** yang terkait dengan aspek tektonik dan sifat fisik batuan; kedua, pada **penggunaan konvensi tanda + dan – untuk tegangan kompresi dan tegangan tarik pada Diagram Mohr**, aplikasi untuk Geologi menggunakan konvensi seperti yang digunakan oleh USGS (*United States Geological Survey*) sementara pada Pertambangan dan Teknik Sipil menggunakan konvensi tanda yang berlawanan.

Penyusunan buku ajar ini disesuaikan dengan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang mencantumkan tujuan dari diajarkannya mata kuliah Mekanika Batuan yaitu memberikan kemampuan dasar bagi mahasiswa untuk dapat memahami, menerapkan perhitungan-perhitungan, menganalisa secara kinematika perubahan bentuk dan ukuran regangan yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang bekerja pada batuan sehingga diperoleh suatu model mekanika batuan yang mencakup sifat diskontinuitas yang mempengaruhi kekuatan atau ketahanan batuan terhadap beban atau gaya yang akan digunakan dalam suatu rancangan geologi teknik. Pokok-pokok bahasan disusun sedemikian rupa sehingga pemahaman dimulai dari hal yang bersifat global menuju hal yang bersifat rinci *in-situ*. Adapun sistematika bahasan meliputi pemahaman mengenai ruang lingkup dan keterbatasan mekanika batuan, interior bumi, sumber gerak lempeng tektonik, mekanisme sumber gempa (*focal mechanism*), deformasi batuan, proyeksi stereonet, tegangan dan regangan, vektor dan tensor, diagram Mohr, tegangan efektif, keruntuhan batuan, diskontinuitas, uji laboratorium, rancangan kualitas batuan dan solusi mekanika batuan.

Dalam penyajiannya, buku ini dirancang tidak hanya menyetengahkan pengetahuan dasar yang berkaitan dengan deformasi batuan, namun juga merangsang mahasiswa untuk bisa mengalami proses pembelajaran sebagaimana hirarki Bloom, dimana dalam ranah kognitif terdapat 6 aspek jenjang proses berfikir, mulai dari jenjang terendah sampai dengan jenjang yang paling tinggi: pengetahuan/hafalan/ingatan (*knowledge*), pemahaman (*comprehension*), penerapan (*application*), analisa (*analysis*), sintesa (*syntesis*) dan penilaian/penghargaan/evaluasi (*evaluation*). Sebagai realisasinya *template* penulisan buku ajar ini dibuat sedemikian rupa, dimana pada setiap pembahasan akan dimunculkan suatu *insight* berupa pertanyaan-pertanyaan atau pernyataan-pernyataan yang bertindak sebagai pemicu menuju tingkat pemikiran yang lebih

tinggi, baik pemahaman, analisa, sintesa ataupun evaluasi terhadap persoalan yang dibahas. Sementara itu beberapa contoh soal dimasukkan sebagai upaya untuk melatih aktifitas psikomotorik mahasiswa dalam memahami mekanika batuan.

Pada setiap bab terdapat juga rangkuman materi serta bahan diskusi dari kandungan materi bab terkait sebagai implikasi dari metode pembelajaran berbasis *Student Centered Learning*. Lebih spesifik lagi pada bab akhir disajikan suatu studi kasus tentang solusi mekanika batuan serta Tanya jawab untuk melatih psikomotorik peserta didik yang ditujukan untuk dibahas sebagai materi diskusi kelompok dan dipresentasikan di depan kelas. Pada implementasinya, hal ini sebagai realisasi dari metode pembelajaran *Problem Based Learning*.

Tak lupa, penulis mengucapkan terimakasih kepada Dekan FTKE Dr. Ir. Afiat Anugrahadi, M.S., Ketua Prodi Teknik Geologi Dr. Ir. Fajar Hendrasto, Dip. Geoth. Tech., M.T., KMK Geologi Teknik Dr. Ir. Abdurrachman Assegaf, M.T., team reviewer yang terdiri dari Dr. Ir. Muhammad Burhannudinnur, M.Sc., Dr. Ir. Moehamad Ali Jambak, M.T., Dr. Suryo Prakoso, S.T., M.T dan Dr. Pancanita Novi Hartami, S.T., M.T., serta Ibu Yuniar Susanti, S.T. yang telah berkenan membantu administrasi pada saat review berlangsung.

Akhir kata, sama halnya dengan yang diajar, penulis pun menganggap proses pengajarannya sebagai wahana pembelajaran, yakni suatu proses perubahan berkesinambungan menuju ke arah yang lebih baik pada masa akan datang.

Jakarta, 6 Juli 2018

Dr. Ir. Imam Setiaji Ronoatmojo, M.T.

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
MENGAPA BELAJAR MEKANIKA BATUAN?	1
A. Pentingnya Mempelajari Mekanika Batuan	1
B. Pengertian Mekanika Batuan	2
C. Kompleksitas dan Ketidak-pastian	2
D. Sasaran Mekanika Batuan	4
RANGKUMAN	5
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	5
BAHAN DISKUSI	5
BAB II	6
INTERIOR BUMI	6
A. Sumber Informasi Mengenai Interior Bumi	6
1. Sumber Langsung	6
2. Sumber Tidak Langsung	7
B. Struktur dan Komposisi Bumi	10
1. Kerak Bumi	10
2. Mantel	11
3. Inti	12
C. Batuan Penyusun Kerak Bumi	12
RANGKUMAN	13
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	13
BAHAN DISKUSI	14
BAB III	15
GERAK LEMPENG TEKTONIK	15
A. Sumber Gerak	15
B. Macam Gerak Lempeng Tektonik	16
C. Rezim Tektonik	19
1. Kompresi – <i>Thrust Fault</i>	20
2. Ekstensi – <i>Normal Fault</i>	21
3. <i>Transcurrent – Strike-Slip Fault</i>	21
D. Distribusi Tegangan Dunia	22
RANGKUMAN	25
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	25
BAHAN DISKUSI	26
BAB IV	27
MEKANISME SUMBER GEMPA	27
A. Solusi Mekanisme Sumber Gempa	27
B. Diagram <i>Beachball</i>	28
C. Contoh Ragam Tafsir Diagram <i>Beachball</i>	31
D. Metode Pembuatan Diagram <i>Beachball</i>	32
RANGKUMAN	34
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	35
BAHAN DISKUSI	35
BAB V	36
DEFORMASI BATUAN	36
A. Penyebab Deformasi	36
B. Definisi Fisik	37
1. Medium Kontinyu	37
2. Aksioma Newton	38
3. Dimensi	38
C. Gaya	39
1. Pernyataan Matematis	39
2. Orientasi	40
3. Rasio Gaya Tubuh Terhadap Gaya Permukaan	40

4.	Gaya Berarah	41
5.	Komponen Normal dan Komponen <i>Shear</i>	42
6.	Keadaan Setimbang	43
D.	Macam Deformasi Batuan	45
	RANGKUMAN	51
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	51
	BAHAN DISKUSI	52
	BAB VI	53
	PROYEKSI STEREO NET	53
A.	Stereonet	53
B.	Penggunaan	56
1.	Pengeplotan Bidang	56
2.	Pengeplotan Garis	57
3.	Pengeplotan <i>Pole</i>	58
4.	<i>Pi-Plot</i> dan Perlipatan	59
5.	Restorasi	61
	RANGKUMAN	63
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	64
	BAHAN DISKUSI	64
	BAB VII	65
	TEGANGAN DAN REGANGAN	65
A.	Definisi	65
B.	Hukum Hooke	67
C.	Modulus Elastik	69
1.	Young Modulus	69
2.	Bulk Modulus	69
3.	Poisson's Ratio	69
D.	Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan	70
	RANGKUMAN	73
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	74
	BAHAN DISKUSI	74
	BAB VIII	75
	VEKTOR DAN TENSOR	75
A.	Definisi	75
B.	<i>Normal Stress</i> dan <i>Shear Stress</i>	77
C.	<i>Principal Stress</i>	77
D.	<i>Mean Stress</i>	79
E.	<i>Deviatoric Stress</i> dan <i>Differential Stress</i>	79
	RANGKUMAN	80
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	81
	BAHAN DISKUSI	81
	BAB IX	82
	DIAGRAM MOHR	82
A.	Latar Belakang	82
B.	Konsep Tegangan	83
C.	Diagram Mohr	86
D.	Tegangan dalam 2D	87
E.	Tegangan dalam 3D	89
F.	Tegangan Aksial Sederhana (<i>Simple Axial Stress</i>)	89
G.	Tegangan Biaksial (<i>Biaxial Stress</i>)	91
H.	Aplikasi Diagram Mohr	94
	RANGKUMAN	97
	UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	97
	BAHAN DISKUSI	97
	BAB X	98
	TEGANGAN EFEKTIF	98
A.	Tegangan Efektif	98
B.	Kopling Tegangan dan Tekanan Fluida	100
1.	Kopling pada Rezim <i>Normal Fault</i>	101
2.	Kopling pada Rezim <i>Thrust Fault</i>	102

3. Kopling pada Rezim <i>Strike-Slip Fault</i>	103
RANGKUMAN	103
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	104
BAHAN DISKUSI	104
BAB XI	105
KERUNTUHAN BATUAN	105
A. Kriteria Mohr-Coulomb	105
B. <i>Friction Angle</i> dan <i>Repose Angle</i>	107
C. Kurva Kekuatan Batuan	109
RANGKUMAN	111
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	111
BAHAN DISKUSI	111
BAB XII	112
DISKONTINYUITAS	112
A. Kejadian Diskontinyuitas	112
B. Geometri Diskontinyuitas	114
C. Intensitas Diskontinyuitas	115
D. Rancangan Kualitas Batuan	116
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	119
BAHAN DISKUSI	119
BAB XIII	120
UJI LAPANGAN DAN LABORATORIUM	120
A. Metode Pengujian di Lapangan	120
B. Metode Pengujian Laboratorium	123
RANGKUMAN	124
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	124
BAHAN DISKUSI	124
BAB XIV	125
SOLUSI MEKANIKA BATUAN	125
E. Studi Kasus	125
F. Metode	126
G. Analisa Kestabilan	127
RANGKUMAN	132
UJI CAPAIAN PEMBELAJARAN	132
BAHAN DISKUSI	133
BAB XV	134
TANYA-JAWAB	134
A. Tegangan	134
B. Tegangan In-Situ	144
C. Massa batuan: kemampuan terdeformasi, ketahanan dan kegagalan	159
DAFTAR PUSTAKA	167
BIOGRAFI PENULIS	168

DAFTAR GAMBAR DAN SUMBERNYA

Gambar 1 Sifat homegenitas dan keisotropikan batuan.	3
Gambar 2 Kompleksitas yang terjadi saat pembangunan terowongan Gottard Base di Switzerland (Loew et al, 2000).	3
Gambar 3 Rekaman gelombang gempa (Anonim, 2018).	8
Gambar 4 Zona bayangan dari Gelombang-P dan Gelombang-S (Anonim, 2018).	9
Gambar 5 Susunan material penyusun bumi (Anonim, 2018).	10
Gambar 6 Gunung api (Anonim, 2018).	11
Gambar 7 Pergerakan horizontal lempeng-lempeng tektonik (Burg, 2017).	16
Gambar 8 Konfigurasi lempeng tektonik saat ini (Burg, 2017).	17
Gambar 9 Klasifikasi pertemuan lempeng tektonik (Burg, 2017).	19
Gambar 10 Macam rezim tektonik (Burg, 2017).	20
Gambar 11 Garis alir hipotetik yang menggambarkan arus konveksi pada mantel dengan lempeng lithosferik, fragmen dan <i>mantle plumes</i> (Burg, 2017).	22
Gambar 12 Gerak lempeng absolut dari GPS (Burg, 2017).	23
Gambar 13 Bentuk gerak lempeng sinusoidal (Burg, 2017).	24
Gambar 14 Proyeksi bidang patahan (Cronin, 2010).	28
Gambar 15 Diagram <i>beachball</i> untuk <i>strike-slip faulting</i> (Cronin, 2010).	29
Gambar 16 Arah patahan <i>strike-slip</i> (Cronin, 2010).	30
Gambar 17 Diagram <i>beachball</i> untuk (a) <i>normal fault</i> (b) <i>thrust fault</i> (Cronin, 2010).	30
Gambar 18 Diagram <i>beachball</i> untuk (a) <i>oblique normal slip fault</i> (b) <i>oblique reverse slip fault</i> (Cronin, 2010).	30
Gambar 19 Contoh ragam diagram <i>beachball</i> (Cronin, 2010).	32
Gambar 20 Gerakan pertama gelombang-P (Cronin, 2010).	32
Gambar 21 Penentuan bentuk gelombang-P yang datang pertama (Cronin, 2010).	33
Gambar 22 Pengeplotan bentuk gelombang-P untuk 2 contoh soal latihan (Cronin, 2010).	34
Gambar 23 (a) Translasi (b) Rotasi (Burg, 2018).	36
Gambar 24 (a) <i>Brittle</i> (b) <i>Ductile</i> (c) <i>Boudinage</i> (Burg, 2018).	37
Gambar 25 Gaya tubuh (Burg, 2018).	41
Gambar 26 Macam gaya permukaan (Burg, 2018).	42
Gambar 27 Dekomposisi gaya menjadi komponen normal dan <i>shear</i> (Burg, 2018).	43
Gambar 28 Gaya dalam keadaan setimbang (Burg, 2018).	44
Gambar 29 Komponen gaya <i>shear</i> dalam keadaan setimbang (Burg, 2018).	44
Gambar 30 <i>Strike</i> dan <i>dip</i> perlapisan (Nelson, 2015).	45
Gambar 31 Perlapisan tegak dan datar (Nelson, 2015).	46
Gambar 32 <i>Plunge</i> (Nelson, 2015).	46
Gambar 33 <i>Normal fault</i> (Nelson, 2015).	48
Gambar 34 <i>Graben dan horst</i> (Nelson, 2015).	48
Gambar 35 <i>Half-graben</i> (Nelson, 2015).	49
Gambar 36 <i>Reverse fault</i> (Nelson, 2015).	49
Gambar 37 <i>Thrust fault</i> (Nelson, 2015).	49
Gambar 38 <i>Strike-slip fault</i> (Nelson, 2015).	50
Gambar 39 Geometri lipatan (Nelson, 2015).	50
Gambar 40 Proyeksi bidang pada stereonet (Houghton, 2013).	53
Gambar 41 Proyeksi garis pada stereonet (Houghton, 2013).	54
Gambar 42 Stereonet (Houghton, 2013).	55
Gambar 43 Kertas kalkir di atas stereonet (Houghton, 2013).	55
Gambar 44 Pemutaran tanda <i>strike</i> ke arah utara stereonet (Houghton, 2013).	56
Gambar 45 Penggambaran sudut <i>dip</i> pada stereonet (Houghton, 2013).	56
Gambar 46 Hasil penggambaran bidang perlapisan pada stereonet (Houghton, 2013).	57
Gambar 47 Pengeplotan <i>azimuth</i> suatu garis pada stereonet (Houghton, 2013).	57
Gambar 48 Pengeplotan <i>plunge</i> suatu garis pada stereonet (Houghton, 2013).	58
Gambar 49 Hasil penggambaran suatu garis <i>lineament</i> pada stereonet (Houghton, 2013).	58
Gambar 50 <i>Pole</i> (Houghton, 2013).	58
Gambar 51 Penentuan <i>pole</i> dari proyeksi bidang perlapisan (Houghton, 2013).	59
Gambar 52 Penggambaran <i>pole</i> dari proyeksi bidang perlapisan pada stereonet (Houghton, 2013).	59

Gambar 53 Distribusi beberapa <i>poles</i> pada stereonet menggambarkan pola perlipatan (Houghton, 2013).	60
Gambar 54 Bidang profil pola perlipatan (Houghton, 2013).	60
Gambar 55 Sumbu lipatan dan bidang sumbu lipatan (Houghton, 2013).	61
Gambar 56 Plot <i>poles</i> dari 2 bidang perlapisan yang tidak selaras. Titik biru menandakan pole bidang di atas bidang ketidak-selarasan, sedangkan merah di bawah bidang ketidak-selarasan (Houghton, 2013).	61
Gambar 57 Penyesuaian <i>poles</i> dari 2 bidang perlapisan yang tidak selaras (Houghton, 2013).	62
Gambar 58 Pengeplotan <i>poles</i> dari bidang perlapisan dan lineasi yang terletak pada bidang tersebut (Houghton, 2013).	62
Gambar 59 Penyesuaian <i>poles</i> dari bidang perlapisan dan lineasi yang terletak pada bidang tersebut (Houghton, 2013).	63
Gambar 60 <i>Pole</i> dari lineasi saat bidang perlapisan sebelum terlipat (Houghton, 2013).	63
Gambar 61 Komponen tegangan (<i>stress</i>) terdiri dari normal dan <i>shear</i> (Burg, 2018).	66
Gambar 62 Implikasi gaya yang bekerja pada pegas untuk menerangkan Hukum Hooke.	68
Gambar 63 <i>Differential stress</i> dan <i>confining stress</i> (Nelson, 2015).	70
Gambar 64 Tiga keadaan deformasi (Nelson, 2015).	71
Gambar 65 <i>Brittle</i> dan <i>ductile</i> (Nelson, 2015).	72
Gambar 66 <i>Brittle</i> dan <i>ductile</i> pada litosfer (Nelson, 2015).	73
Gambar 67 Sembilan komponen tegangan (Burg, 2018).	76
Gambar 68 Relasi trigonometri dari gaya normal dan gaya geser pada bidang P (Burg, 2018).	84
Gambar 69 Relasi trigonometri dari tegangan normal dan tegangan geser (Burg, 2018).	86
Gambar 70 Diagram Mohr (Burg, 2018).	87
Gambar 71 Diagram Mohr untuk analisa momen tensor 2D (Burg, 2018).	88
Gambar 72 Diagram Mohr untuk analisa momen tensor 3D (Burg, 2018).	89
Gambar 82 Keadaan dinamik tegangan efektif pada rezim tektonik strike-slip fault (Altmann, 2010).	103
Gambar 83 Bidang kegagalan Mohr-Couloumb (Parry, 2005).	105
Gambar 84 Selubung kegagalan pada diagram Mohr (Parry, 2005).	106
Gambar 86 <i>Repose angle</i>	108
Gambar 88 <i>Griffith elliptical crack</i> (titik P mengindikasikan titik kegagalan) (Parry, 2005).	110
Gambar 89 Selubung Griffith untuk (a) tegangan utama dan (b) tegangan normal dan tegangan geser (Parry, 2005).	110
Gambar 90 Dimensi diskontinuitas di dalam suatu tubuh batuan dan dimensi suatu struktur rekayasa batuan (Hudson dan Harrison, 2000).	113

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sub-sistem struktur fundamental (Burg, 2017).	18
Tabel 2 RQD pada interval 25 meter (Keykha et al, 2011).	128
Tabel 3 RMR rata-rata (Keykha et al, 2011).	129

BAB I

MENGAPA BELAJAR MEKANIKA BATUAN?

Capaian Pembelajaran :

Mahasiswa dapat memahami definisi dan ruang lingkup mekanika batuan yang merupakan irisan dari beberapa disiplin keilmuan, hambatan serta sasaran daripada pembelajaran mekanika batuan.

Deskripsi:

Dalam bab ini mahasiswa akan diajak untuk memahami pengertian mekanika batuan, ruang lingkup mekanika batuan, kendala dan sasaran mekanika batuan.

A. Pentingnya Mempelajari Mekanika Batuan

Pembelajaran tentang Mekanika Batuan dimulai sejak tahun 1950an, berawal dari pembelajaran tentang sifat fisik batuan yang berkembang secara bertahap menjadi ilmu yang mandiri pada tahun 1960an. Sifat mekanika batuan dipelajari sebagai produk dari adanya gangguan terhadap batuan. Gangguan tersebut bisa bersifat buatan karena adanya rekayasa manusia maupun bersifat alamiah. Gangguan alamiah memberikan implikasi yang kuat terhadap daya dukung batuan, sehingga ada keterkaitan yang erat antara sifat mekanika batuan dengan struktur geologi. Pola-pola yang teramati pada batuan merupakan artefak masalalu yang bisa menjadi kunci untuk memahami deformasi yang pernah terjadi.

Pada aplikasinya, daya dukung batuan akan direpresentasikan dengan batas kekuatan batuan berupa titik keruntuhan batuan. Struktur perlipatan, patahan dan kekar mempengaruhi daya dukung batuan, sehingga gambaran deformasi yang terjadi pada batuan dapat tercermin dari gaya yang bekerja membentuk pola-pola tersebut.

Rancang bangun pada pekerjaan keteknikan ditentukan oleh daya dukung batuan, demikian pula suatu desain penambangan untuk aktifitas penambangan juga tidak terlepas dari kebutuhan pengetahuan tentang sifat mekanika yang terkait dengan kekuatan batuan. Sehingga pembelajaran tentang sifat mekanika batuan akan membantu kita untuk mengetahui seberapa besar kekuatan serta daya dukung batuan.

Apakah yang disebut daya dukung batuan? Apa bedanya dengan kekuatan batuan?

B. Pengertian Mekanika Batuan

Mekanika Batuan merupakan disiplin keilmuan tentang proses deformasi yang terjadi pada batuan yang tersingkap atau tidak tersingkap di permukaan bumi. Mekanika Batuan merupakan irisan dari berbagai disiplin ilmu antara lain Geologi, Geofisika, Teknik Sipil, Pertambangan dan Perminyakan. Pada tahun 1963, *The Rock Mechanics Committee of the American National Academy of Science* mendefinisikan Mekanika Batuan adalah ilmu pengetahuan teoritis dan terapan mengenai sifat mekanika batuan dan tanggapannya terhadap medan gaya yang berasal dari lingkungan fisiknya (Cook, 1966 vide Hoek, 1966).

Lebih jauh, Hoek (1966) membagi Mekanika Batuan menjadi:

- *Structural Rock Mechanics* yang menitik-beratkan pada kestabilan struktur bangunan yang dibangun pada fondasi batuan.
- *Comminution* yang membahas pemecahan batuan menjadi fragmen-fragmen lebih kecil dengan mengaplikasikan gaya-gaya seperti saat pemboran, pembuatan terowongan, peledakan batuan dan lain sebagainya.

Apakah deformasi hanya direpresentasikan oleh pola struktur geologi saja?

Dari uraian tersebut di atas tersirat adanya aspek kestabilan struktur bangunan dan proses pengekarakan pada kedua cabang ilmu tersebut. Dalam hal menjaga kestabilan struktur bangunan, keruntuhan batuan (*failure*) harus dihindari, sebab keruntuhan dalam konteks tersebut dianggap sebagai deformasi yang berlebihan, adapun pengekarakan batuan harus diinduksi dengan energi eksternal yang se-efisien mungkin.

C. Kompleksitas dan Ketidak-pastian

Dalam mempelajari Mekanika Batuan ditemukan kompleksitas serta ketidak-pastian sifat fisik batuan karena interaksi dengan lingkungan geologi. Heterogenitas sifat fisik batuan berkaitan dengan keberagaman komponen yang menyusun batuan. Kondisi geologi sangat mempengaruhi keberagaman tersebut, pola sortasi yang tidak teratur akan mengakibatkan nilai heterogenitas meningkat. Sementara, sifat anisotropi berkaitan dengan keberagaman sifat fisik bila ditinjau dari variasi arah. Arah pengendapan akan menentukan sifat fisik batuan yang khas serta akan berbeda dengan arah yang lain. Sehingga, massa batuan beserta genesanya bersifat unik yang mengakibatkan sistem yang kompleks dan tidak pasti.

Gambar 1 menunjukkan relasi yang kuat antara homogenitas batuan dan sifat ke-isotropik-an. Tampak adanya 4 kemungkinan yang bisa terjadi, dimana kecenderungan mempunyai sifat fisik batuan homogen isotropik adalah sangat

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Cilacap, 1 Juli 1960. Meraih gelar Doktor dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2011 dengan disertasi “Estimasi Tetapan Anisotropi Medium Isotrop Transversal Tegak dari Difraksi Gelombang Seismik-P dengan Pendekatan Polinomial Orde-3”, mempunyai kebaruan berupa penurunan persamaan anisotropi dari fungsi difraksi, sebelumnya berupa penurunan persamaan dari fungsi refleksi. Beliau juga aktif sebagai instruktur di bidang Desain Parameter Seismik 3-D dan Geomekanika. Selama hampir 3 dekade mengabdikan diri pada sebuah perusahaan jasa minyak PT. Elnusa Tbk dengan jabatan akhir sebagai *Principal of Elnusa Petroleum School*. Setelah pensiun dari PT.Elnusa Tbk pada tahun 2015, penulis menjadi tenaga pengajar tetap di Universitas Trisakti dengan mata kuliah Geofisika Hidrokarbon, Pemodelan Geostatistik dan Mekanika Batuan. Disamping itu sebagai pengajar tidak tetap pada Program Magister F-MIPA Universitas Indonesia pada mata kuliah Seismologi Eksplorasi dan Produksi serta Geofisika Instrumentasi.

mekanika batuan

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	che-micho.blogspot.com Internet Source	1%
2	www.coursehero.com Internet Source	1%
3	www.scribd.com Internet Source	1%
4	idoc.pub Internet Source	<1%
5	www.repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1%
6	Submitted to Indian School of Mines Student Paper	<1%
7	es.scribd.com Internet Source	<1%
8	www.penerbitan.trisakti.ac.id Internet Source	<1%
9	geologi.ftke.trisakti.ac.id Internet Source	<1%

10	id.scribd.com Internet Source	<1 %
11	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
12	qdoc.tips Internet Source	<1 %
13	epdf.pub Internet Source	<1 %
14	123dok.com Internet Source	<1 %
15	Submitted to University of Warwick Student Paper	<1 %
16	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
17	docplayer.info Internet Source	<1 %
18	fitriapl.blogspot.com Internet Source	<1 %
19	igmpublication.org Internet Source	<1 %
20	www.skb.se Internet Source	<1 %
21	ascelibrary.org Internet Source	<1 %

22	library.jsce.or.jp Internet Source	<1 %
23	www.i-scholar.in Internet Source	<1 %
24	vdocuments.site Internet Source	<1 %
25	Submitted to University of Pretoria Student Paper	<1 %
26	fttm.itb.ac.id Internet Source	<1 %
27	id.howtodoiteasy.com Internet Source	<1 %
28	ardyway12.blogspot.com Internet Source	<1 %
29	doku.pub Internet Source	<1 %
30	inakharina.wordpress.com Internet Source	<1 %
31	mithaariany.wordpress.com Internet Source	<1 %
32	Fernando R. Fernholz. "Multicriteria Analysis for Capital Budgeting", Wiley, 2013 Publication	<1 %

33 J HARRISON. "In situ rock stress", Engineering Rock Mechanics Part II, 2000 <1 %
Publication

34 alfacrewsains4.blogspot.com <1 %
Internet Source

35 www.geoengineer.org <1 %
Internet Source

36 afidburhanuddin.wordpress.com <1 %
Internet Source

37 docplayer.fi <1 %
Internet Source

38 www.bukesi.my.id <1 %
Internet Source

39 www.tandfonline.com <1 %
Internet Source

40 "Stability of Slopes and Underground Excavations", Springer Science and Business Media LLC, 2022 <1 %
Publication

41 Favel Gov, Moti Karpel. "Geometrically nonlinear model for gust response of very flexible wings using segmental modes", AIAA Scitech 2021 Forum, 2021 <1 %
Publication

42 repository.trisakti.ac.id
Internet Source

<1 %

43

stefanitkj.blogspot.com

Internet Source

<1 %

44

text-id.123dok.com

Internet Source

<1 %

45

trikuangdalam.blogspot.com

Internet Source

<1 %

46

archive.org

Internet Source

<1 %

47

hairiebmtutor.wordpress.com

Internet Source

<1 %

48

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

49

mgmpmatematikasmadki.files.wordpress.com

Internet Source

<1 %

50

purpureabauhinia.blogspot.com

Internet Source

<1 %

51

trisakti.ac.id

Internet Source

<1 %

52

Alfred Leick, Lev Rapoport, Dmitry Tatarnikov.
"GPS Satellite Surveying", Wiley, 2015

Publication

<1 %

53	Submitted to Fakultas Teknologi Kebumian dan Energi Universitas Trisakti Student Paper	<1 %
54	Repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
55	cahayailahiinstitute.wordpress.com Internet Source	<1 %
56	divergenmor.blogspot.com Internet Source	<1 %
57	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1 %
58	ejournal.upi.edu Internet Source	<1 %
59	eprints.unram.ac.id Internet Source	<1 %
60	ignoudocs.com Internet Source	<1 %
61	jurnalmahasiswa.stiesia.ac.id Internet Source	<1 %
62	kelompok-sembilan.blogspot.com Internet Source	<1 %
63	look-better.fun Internet Source	<1 %
64	scholar.sun.ac.za	

Internet Source

<1 %

65 www.calstateautoparts.com
Internet Source

<1 %

66 www.openagrar.de
Internet Source

<1 %

67 inba.info
Internet Source

<1 %

68 zombiedoc.com
Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

mekanika batuan

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/1000

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20