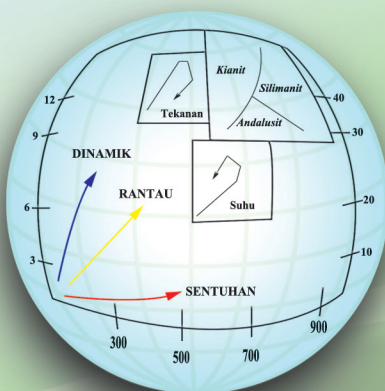


ASAS PETROLOGI METAMORFIK



ASAS PETROLOGI METAMORFIK

SHARIFF AK OMANG

PENERBIT UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

Kota Kinabalu • Sabah • Malaysia

<http://www.ums.edu.my>

2016

Ahli Majlis Penerbitan Ilmiah Malaysia (MAPIM)

© Universiti Malaysia Sabah, 2016

Hak cipta terpelihara. Tiada bahagian daripada terbitan ini boleh diterbitkan semula, disimpan untuk pengeluaran atau dikeluarkan ke dalam sebarang bentuk sama ada dengan cara elektronik, gambar serta rakaman dan sebagainya tanpa kebenaran bertulis daripada Penerbit Universiti Malaysia Sabah, kecuali seperti yang diperuntukkan dalam Akta 332, Akta Hak Cipta 1987. Keizinan adalah tertakluk kepada pembayaran royalti atau honorarium.

Segala kesahihan maklumat yang terdapat dalam buku ini tidak semestinya mewakili atau menggambarkan pendirian mahupun pendapat Penerbit Universiti Malaysia Sabah. Pembaca atau pengguna buku ini perlu berusaha sendiri untuk mendapatkan maklumat yang tepat sebelum menggunakan sebarang maklumat yang terkandung di dalamnya. Pandangan yang terdapat dalam buku ini merupakan pandangan ataupun pendapat penulis dan tidak semestinya menunjukkan pendapat atau polisi Universiti Malaysia Sabah. Penerbit Universiti Malaysia Sabah tidak akan bertanggungjawab terhadap sebarang masalah mahupun kesulitan yang timbul, sama ada secara menyeluruh atau sebahagian, yang diakibatkan oleh penggunaan atau kebergantungan pembaca terhadap kandungan buku ini.

Perpustakaan Negara Malaysia Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan

Shariff AK Omang, 1955-

ASAS PETROLOGI METAMORFIK/SHARIFF AK OMANG.

Includes index

ISBN 978-967-0521-66-4

1. Petrology. 2. Metamorphism (Geology).

3. Geology. I. Judul.

552.4

Muka taip teks:	Corbel
Saiz taip teks dan <i>leading</i> :	11/14 poin
Diterbitkan oleh:	Penerbit Universiti Malaysia Sabah Tingkat Bawah, Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah Jalan UMS 88400 Kota Kinabalu, Sabah
Dicetak oleh:	Gayawara Sdn. Bhd. No. 2, Jalan Nountun, Tingkat Bawah, Wisma Capital 88450 Kota Kinabalu, Sabah

KANDUNGAN



Senarai Jadual
Senarai Rajah
Prakata
Penghargaan

1

PENGENALAN

1

Definisi dan Konsep
Sekitaran Tektonik Batuan Metamorfik
Prinsip Asas Petrologi Metamorfik
Penamaan Batuan
Kepentingan

2

FABRIK, FOLIASI, TEKSTUR DAN STRUKTUR MIKRO

29

Pengenalan
Fabrik
Foliasi
Tekstur
Struktur Mikro

3

MINERAL METAMORFIK, ZON MINERAL, ZON METAMORFIK DAN GRED METAMORFIK

47

Pengenalan
Mineral Metamorfik
Zon Mineral dan Zon Metamorfik
Gred Metamorfik

4

JENIS METAMORFISME, FASIES METAMORFIK DAN BATUAN ASAL

57

Pengenalan
Metamorfisme Rantau
Metamorfisme Dinamik dan Zon Subduksi
Metamorfisme Sentuhan
Metamorfisme Hidrotermal
Fasies Metamorfik
Batuan Asal

5

TINDAK BALAS KESEIMBANGAN MINERAL, GEOKIMIA DAN SEKITARAN TEKTONO - METAMORFISME 79

Pengenalan
Tindak Balas Keseimbangan Mineral
Geokimia
Sekitaran Tektono-Metamorfisme

Lampiran
Bibliografi
Indeks

Senarai Jadual

Jadual		Halaman
1.1	Jenis-jenis batuan metamorfik yang berasaskan kewujudan fabrik	5
1.2	Perbandingan nama tekstur asas antara batuan metamorfik dan igneus yang merujuk kepada saiz butiran	6
1.3	Jenis-jenis mineral yang penting dalam batuan metamorfik	8
1.4	Gred metamorfik dan kriteria masing-masing	10
2.1	Jenis-jenis foliasi dalam batuan metamorfik	34
2.2	Perbandingan jenis tekstur atau fabrik (foliasi)	37
3.1(a-c)	Jenis-jenis mineral yang penting (tipikal) dalam batuan metamorfik	48
3.2	Zon mineral dan himpunan mineral bagi metamorfisme Barovian	52
3.3	Zon mineral dan himpunan mineral bagi metamorfisme Buchan	53
3.4	Zon mineral, himpunan mineral, gred metamorfik dan mineral indeks/petunjuk (*)	54
4.1	Fasies metamorfik rantau dan himpunan mineral	65
4.2	Fasies metamorfik sentuhan (suhu) atau fasies Hornfels	66
4.3	Himpunan mineral dan batuan asalan bagi fasies metamorfik sentuhan (suhu)	67
4.4	Fasies metamorfik, batuan asalan dan himpunan mineral	72
4.5	Fasies metamorfik, keadaan tekanan (P), suhu (T) dan kedalaman (d)	73
4.6	Kategori fasies metamorfik yang berasaskan kepada tekanan (P) dan suhu (T)	77
4.7	Himpunan mineral bagi fasies metamorfik yang dikawal oleh tekanan (<i>Baric types</i>)	77
4.8	Batuan asal, jenis batuan metamorfik dan himpunan mineral utama	78
5.1	Perkaitan antara sekitaran tektono-metamorfisme (ETm) dengan jenis metamorfisme (Jm) dan fasies metamorfik (Fs)	99

Senarai Rajah

Rajah		Halaman
1.1	Konsep proses geologi dan metamorfisme	2
1.2	Konsep gambar rajah P-T-d yang menunjukkan konsep asas, jenis dan trend metamorfisme merujuk kepada keadaan tekanan (P) dan suhu (T). Fasies IA – Fasies Sekis biru; Fasies IB – Fasies Eklogit; Fasies II – Fasies jenis Rantau (jenis Barovian dan Buchan) dan Fasies III – Fasies jenis Sentuhan/Termal	11
1.3	Konsep gambarajah P-T-d yang menunjukkan metamorfisme Barovian (kecerunan geotermal ~ 30°C/km), metamorfisme Buchan (kecerunan geotermal ~ 60°C/km) dan metamorfisme Sekis Biru (kecerunan geotermal ~ 10°C/km) serta jenis-jenis Fasies metamorfik. FZ – Fasies Zeolit; FPP – Fasies Prehinit-Pumpelit; FSH - Fasies Sekis Hijau; FA – Fasies Amfibolit; FG – Fasies Granulit; HAE – Fasies Hornfels Albit-Epidot; HHB – Fasies Hornfels Hornblen; HPX – Fasies Hornfels Piroksen; SD – Fasies Sanidinit; B – Penimbunan (<i>burial</i>)	13
1.4	Konsep gambar rajah P-T-d yang menunjukkan garis Tindak balas Keseimbangan bagi mineral Silimanit – Andalusit – Kianit (SAK). <i>Triple point</i> pada suhu (T) ~ 500°C dan tekanan (P) ~ 4 kbar). Garis merah menunjukkan kecerunan suhu (<i>geothermal gradient</i>)	15
1.5	Konsep gambar rajah P-T-d yang menunjukkan konsep perkaitan antara proses metamorfisme (dari progred ke retrograd), jenis/trend metamorfisme dan Fasies metamorfik. FZ – Fasies Zeolit; FPP – Fasies Prehinit-Pumpelit; FSH – Fasies Sekis Hijau; FA – Fasies Amfibolit; FG – Fasies Granulit; FE – Fasies Eklogit; FSB – Fasies Sekis Biru; FH – Fasies Hornfels	16
1.6	Konsep gambar rajah P-T-d yang menunjukkan konsep perkaitan antara proses metamorfisme (dari progred ke retrograd) dengan proses penimbunan (<i>burial</i>) dan pengangkatan (<i>uplift</i>) yang terjadi pada bahagian atas kerak lautan yang menyusup (<i>subducted oceanic crust</i>).	17
1.7	Konsep gambar rajah P-T-d yang menunjukkan konsep perkaitan antara proses metamorfisme (dari progred ke retrograd) dengan proses penimbunan (<i>burial</i>) dan pengangkatan (<i>uplift</i>) yang terjadi pada bahagian bawah kerak benua	18
2.1	Konsep gambar rajah yang menunjukkan susunan dan jenis fabrik yang terdapat dalam batuan metamorfik	31

2.2	Konsep gambar rajah yang menunjukkan perkaitan antara fabrik mikro yang terdapat dalam porfiroblas mineral (garnet atau feldspar) dengan foliasi. AB – Fabrik Pra-tekonik; CD – Fabrik Sin-tekonik dan EF – Fabrik Pos-tekonik. S_1 – Foliasi deformasi pertama (D_1); S_2 – Foliasi deformasi kedua (D_2)	33
2.3	Konsep gambar rajah yang menunjukkan perkaitan antara perlipatan, foliasi (ira) dan lineasi	35
2.4	Perkaitan lipatan dengan foliasi (ira) dan lineasi. Garis biru – Satah paksi lipatan; Garis merah – Ira (<i>cleavage</i>)	36
2.5	Bentuk tekstur bayang tekanan (<i>pressure shadows texture/ pressure fringes texture</i>) yang terdapat pada batuan metamorfik bergred tinggi	39
2.6	Tekstur korona (zon mineral/zon fabrik)	40
2.7	Corak struktur mikro: (A) perkaitan antara foliasi/fabrik dan porfiroblas (garnet, feldspar), (B) Reliks foliasi/fabrik pertama (S_1) dipotong oleh foliasi/fabrik kedua (S_2)	42
2.8	Konsep perkaitan lipatan pertama (F_1) dan lipatan kedua (F_2)	44
2.9	Konsep polifasa perlipatan (F_1 , F_2 dan F_3). F_1 – Lipatan rebah; F_2 – Lipatan condong; F_3 – Lipatan tegak	44
2.10	Model keterikan elips untuk menunjukkan hubungan daya tegasan (P, Q, R) dan jenis struktur yang akan terbentuk	45
3.1	Jenis dan himpunan mineral dalam batuan metamorfik dan perkaitannya dengan gred metamorfik dan jenis fasies metamorfik. ZF – Fasies Zeolit; PP – Fasies Prehnit-Pumpelit	56
4.1	Konsep model perlanggaran plat tektonik: A) Kerak benua (CC) – Kerak lautan (OC) – Kerak benua, B) Kerak lautan (OC) – Kerak benua yang menyebabkan pembentukan metamorfisme rantau. Tafsiran sempadan garis fasies metamorfik ditunjukkan oleh garis putus-putus (berwarna) dan suhu kecerunan geotermal	60

4.2	Konsep model pembentukan sol metamorfik (batuan metamorfik subofiolit), lapisan kerak lautan dan jenis fasies metamorfik. FG – Fasies Granulit; FA – Fasies Amfibolit [GA – Garnet Amfibolit (<i>Upper Amphibolite Facies</i>), EA – Epidot Amfibolit (<i>Lower Amphibolite Facies</i>), EAmf – <i>Epidote Amphibolite Facies</i>]; FSH – Fasies Sekis Hijau; FSB – Fasies Sekis Biru; PL – Lava bantal; SDC – Kompleks kepingan daik; GD – Gabro+Diorite; Kum – Kumulat; TMP – <i>Tectonised mantle peridotite (peridotite - dunite tectonites)</i> dan <i>peridotite mylonites</i> ; MP – Mantel Peridotit; DT – <i>Displacement thrust</i> ; ET – <i>Emplacement thrust</i>	62
4.3	Konsep model tektono-metamorfisme di kawasan perlanggaran antara kerak lautan dengan kerak lautan/benua yang menyebabkan pembentukan sol metamorfik dan unit melanj yang disebabkan oleh proses <i>intra-oceanic thrusting</i> . Urutan metamorfisme (retrograd – suhu menurun dan tekanan bertambah): Amfibolit garnet → Sekis biru epidot → Sekis biru lawsonit/glaukofen	63
4.4	Konsep model pembentukan batuan metamorfik di kawasan zon retakan lautan (ZRL) atau sesar transform. SP – Sedimen Pelagik; CB – Lapisan Cert –Basalt; KD – Korok Dolerit; GD – Gabro & Diorit; Kum – Kumulat; MP – Mantel Peridotit	64
4.5	Konsep model pembentukan fasies atau batuan metamorfik jenis sentuhan/suhu yang dikaitkan dengan intrusi/terobosan batuan igneus felsik	66
4.6	Konsep model menunjukkan metamorfisme hidrotermal di kawasan Banjaran Tengah Lautan. Fs. – Fasies	69
4.7	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan jenis fasies metamorfik	71
4.8	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan taburan fasies metamorfik dan garis sempadan keseimbangan mineral polimorf Al_2SiO_5 : Silimanit – Andalusit – Kianit. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 500^\circ C$; $P \sim 4$ kbar). HAE – Hornfels Albit-Epidot; HHB – Hornfels Hornblen; HPX – Hornfels Piroksen	75
4.9	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan perkaitan antara taburan jenis batuan metamorfik dan fasies metamorfik. FZ – Fasies Zeolit; FPP – Fasies Prehnit-Pumpelit; FSH – Fasies Sekis Hijau	76

5.1	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan kategori Fasies IA dan garis (sempadan) tindak balas keseimbangan mineral. Tindak balas keseimbangan ini dibaca dari kiri ke kanan atau dibaca mengikut arah jam. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 500^{\circ}\text{C}$ dan $P \sim 4$ kbar). A – Geotermal Kerak Benua, B – Geotermal Kerak Lautan, C – Geotermal Arka Kepulauan, D – Geotermal Banjaran Tengah Lautan	83
5.2	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan kategori Fasies IB dan garis (sempadan) tindak balas keseimbangan mineral. Tindak balas keseimbangan ini dibaca dari kiri ke kanan atau dibaca mengikut arah jam. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 500^{\circ}\text{C}$ dan $P \sim 4$ kbar). A – Geotermal Kerak Benua, B – Geotermal Kerak Lautan, C – Geotermal Arka Kepulauan, D – Geotermal Banjaran Tengah Lautan	84
5.3	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan kategori Fasies II dan garis (sempadan) tindak balas keseimbangan mineral. Tindak balas keseimbangan ini dibaca dari kiri ke kanan atau dibaca mengikut arah jam. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 500^{\circ}\text{C}$ dan $P \sim 4$ kbar). A – Geotermal Kerak Benua, B – Geotermal Kerak Lautan, C – Geotermal Arka Kepulauan, D – Geotermal Banjaran Tengah Lautan	86
5.4	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan kategori Fasies II dan garis (sempadan) tindak balas keseimbangan mineral. Tindak balas keseimbangan ini dibaca dari kiri ke kanan atau dibaca mengikut arah jam. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 500^{\circ}\text{C}$ dan $P \sim 4$ kbar). A – Geotermal Kerak Benua, B – Geotermal Kerak Lautan, C – Geotermal Arka Kepulauan, D – Geotermal Banjaran Tengah Lautan	88
5.5	Model gambar rajah P-T-d yang menunjukkan kategori Fasies II (Tekanan sederhana dan Suhu tinggi, $T > 5000\text{C}$) dan garis (sempadan) tindak balas keseimbangan mineral. Tindak balas keseimbangan ini dibaca dari kiri ke kanan atau dibaca mengikut arah jam. TP – <i>Triple point</i> ($T \sim 5000\text{C}$ dan $P \sim 4$ kbar). A – Geotermal Kerak Benua, B – Geotermal Kerak Lautan, C – Geotermal Arka Kepulauan, D – Geotermal Banjaran Tengah Lautan	89

Bidang petrologi metamorfik adalah cabang ilmu geologi atau sains bumi. Untuk mempelajari dan menghayati bidang ini, individu memerlukan asas mineralogi, petrografi dan geokimia. Bidang geologi metamorfik ini juga akan mengkaji, menganalisis dan mentafsir petrogenesis metamorfik, termasuk menentukan proses metamorfisme dan sekitaran metamorfisme atau tektono-metamorfisme. Justeru, buku ini ditulis khusus untuk para pelajar di Institusi Pengajian Tinggi Awam (IPTA) yang menjurus dalam bidang Geologi atau Sains Bumi.

Buku ini ditulis berasaskan pengalaman dalam mengendalikan pengajaran dan pembelajaran bagi kursus kristalografi, mineralogi, petrografi dan petrologi yang menjangkau 30 tahun serta disokong oleh pengalaman yang diperoleh melalui penyelidikan, persidangan dan bacaan. Penulisan buku ini merupakan lanjutan daripada siri penulisan buku *Asas Petrogenesis Igneus* yang diterbitkan oleh Penerbit UMS.

Buku ini mengandungi lima bab kesemuanya. Bab pertama merupakan pengenalan kepada aspek-aspek yang penting dalam mengkaji petrologi metamorfik. Bab kedua membincangkan aspek petrografi yang memfokuskan kepada aspek fabrik, tekstur dan struktur mikro. Bab ketiga pula menerangkan aspek mineral metamorfik, zon mineral, zon metamorfik dan gred metamorfik. Bab keempat pula memberi fokus kepada aspek petrogenesis iaitu membincangkan jenis metamorfisme, fasies metamorfik dan batuan asal (protolit). Bab kelima menjelaskan panduan asas tentang tatacara atau kaedah untuk mentafsir tindak balas keseimbangan mineral, analisis geokimia dan seterusnya menentukan sekitaran tektonik metamorfisme (tektono-metamorfisme).

Diharapkan penerbitan buku ini sedikit banyak dapat membantu dan menjadi nilai tambah kepada para pembaca, khasnya kepada pelajar-pelajar Geologi yang tercari-cari buku seumpamanya yang ditulis dalam bahasa Melayu. Akhir kata, apa pun ciptaan Tuhan di bumi ini sudah pasti mempunyai kepentingannya yang tersendiri. Terserahlah kepada manusia yang beriman dan bertakwa untuk memikir, mempelajari dan menggunakannya demi kebaikan sejagat dan seterusnya melihat kebesaran Tuhan Rabbulamin.

Shariff AK Omang, PhD, ADK, ASDK
Fakulti Sains dan Sumber Alam (FSSA)
Universiti Malaysia Sabah (UMS)

Penghargaan

Dalam kesempatan ini penulis ingin merakamkan ucapan penghargaan dan terima kasih Penerbit UMS yang banyak memberi kerjasama, sokongan dan membantu penerbitan buku ini. Tidak dilupakan juga kepada rakan-rakan di Program Geologi, FSSA, UMS yang telah memberi pandangan dan komen dalam proses menyiapkan buku ini. Juga kepada rakan-rakan yang telah memberi maklumat sama ada secara langsung atau tidak langsung. Jasa dan bakti anda tetap dikenang. Kepada keluarga tersayang, terutama anak-anak, cucu dan menantu, mudah-mudahan dengan adanya penerbitan buku ini dapat memberi suntikan semangat bagi menggerakkan hati masing-masing supaya terus berusaha selagi nyawa dikandung badan serta tidak berputus asa untuk mencapai cita-cita.