

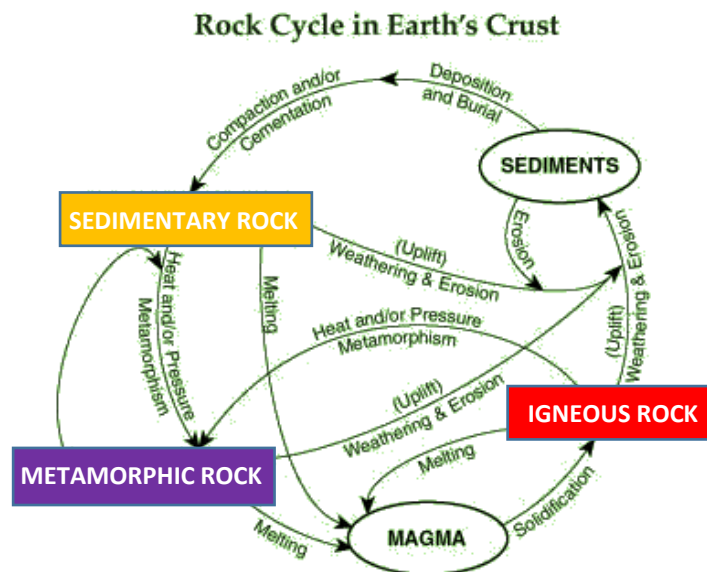
## ACARA IX – MINERALOGI OPTIK

### ASOSIASI MINERAL DALAM BATUAN

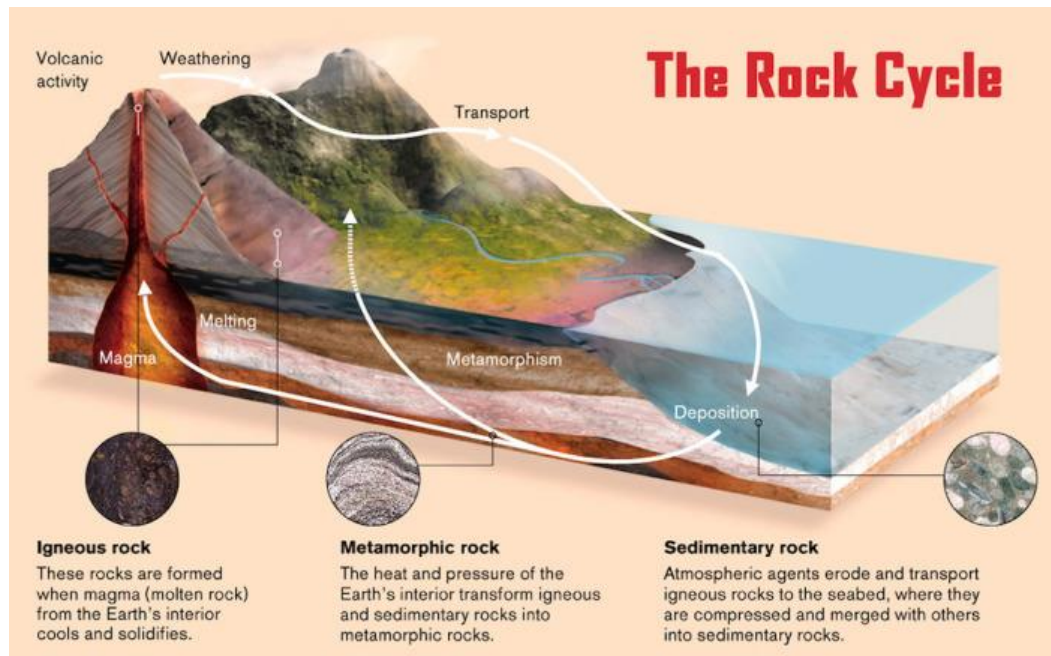
#### I. Pendahuluan

Ilmu geologi adalah studi tentang bumi dan terbuat dari apa itu bumi, termasuk sejarah pembentukannya. Sejarah ini dicatat dalam batuan dan menjelaskan bagaimana bumi selalu berubah dari waktu ke waktu. Siklus batuan menyoroti bagaimana tiga jenis utama dari batu, yaitu batuan sedimen, metamorf, dan batuan beku yang memberi pertanyaan datang dari mana mereka berasal. Setiap jenis batuan selalu mengalami perubahan kondisi dari waktu ke waktu. Batu tersebut dapat hancur, meleleh, dan terdeformasi melalui berbagai cara, antara lain:

- pelapukan dan erosi
- sedimentasi dan deposisi
- lithification (pemadatan dan cementasi)
- pelelehan, pendinginan atau mengkristal
- peningkatan temperatur dan tekanan



Gambar 9.1 Diagram siklus batuan di kerak bumi yang menggambarkan proses dan hubungan batuan. (N. Gary Lane, Indiana Geological Survey)



Gambar 9.2 Siklus batuan (infohow.org)

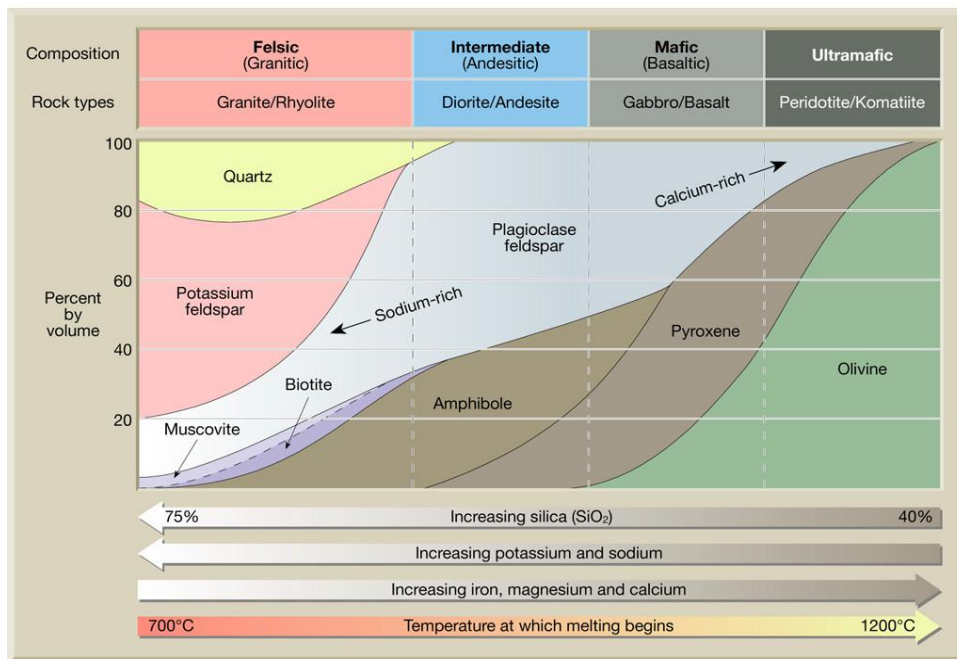
Mineral merupakan benda padat dan homogen yang ditemukan secara alami, mempunyai sifat fisik dan kimia tertentu, biasanya ditemukan dalam bentuk kristalin, dan merupakan zat anorganik. Keterdapatannya di bumi ini dapat membentuk batuan atau berasosiasi dengan mineral lain dalam membentuk batuan. Memahami karakteristik dan genesis mineral khususnya melalui *sifat optis* suatu mineral dapat mempermudah dalam mendeskripsikan baik mineral itu sendiri ataupun asosiasi mineral tersebut dalam batuan, sehingga klasifikasi batuan dapat dilakukan dengan baik dengan memperhatikan komposisi batuan tersebut serta mempertimbangkan tekstur batuan yang berkembang.

Untuk lebih memahami asosiasi mineral diharuskan memiliki pemahaman terhadap setiap klasifikasi batuan sehingga terbentuk pola pikir yang logis atas keterdapatannya setiap mineral dalam batuan tertentu.

## II. Batuan Beku

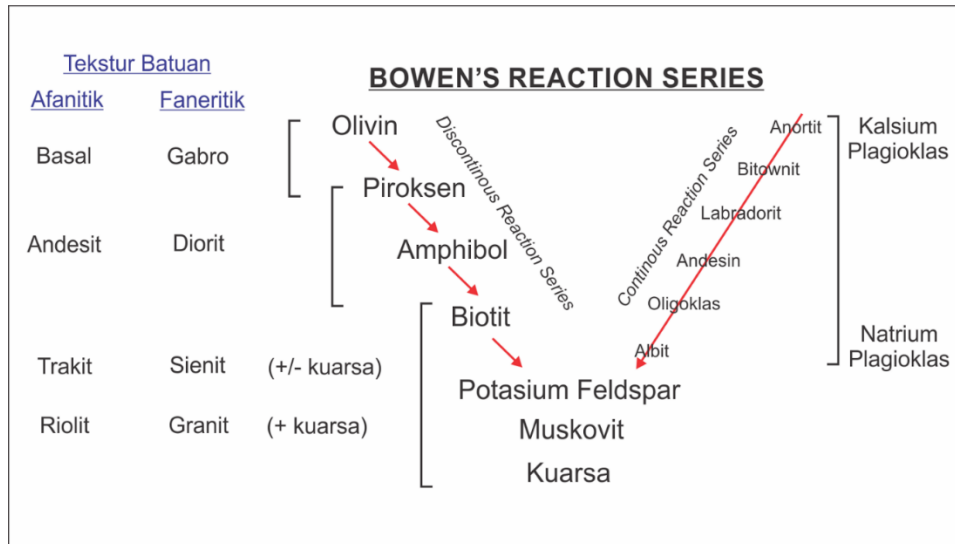
Batuan beku terbentuk dari pendinginan magma. Saat magma lebih dekat ke permukaan, magma akan mendingin lebih cepat. Kecepatan pendinginan magma akan mengontrol tekstur dan pembentukan mineral pada batuan. Granit merupakan salah satu contoh batuan beku yang terbentuk dari pendinginan magma yang lambat.

Secara genesa batuan, kondisi temperatur, tekanan dan waktu serta kandungan komposisi magma akan membentuk mineral tertentu pada batuan. Hal ini dapat dipelajari dengan memperhatikan diagram berikut:



Gambar 9.3 Diagram mineral-mineral umum penyusun batuan beku (O'Dunn & Sill, 1986)

Deret Bowen adalah deret yang memperlihatkan diferensiasi mineral hasil pembekuan magma berdasarkan pendinginan magma. Dalam susunan Deret Bowen, temperatur pembentukan kristal – kristal mineral makin rendah makin ke bawah. Deret Bowen menyimpan dua poin penting, yaitu tentang temperatur terbentuknya mineral dan tentang sifat mineral yang terbentuk. Ketika magma bergerak menuju permukaan bumi, maka temperturnya berangsur turun dan mulai membentuk mineral. Mineral yang pertama kali terbentuk merupakan mineral-mineral yang bersifat basa, yang tersusun dari unsur-unsur magnesium, ferrum dan kalsium, contohnya Olivin dan Piroksen, lalu selanjutnya terbentuk mineral-mineral bersifat intermediet seperti hornblenda atau biotit, dan yang terakhir adalah mineral-mineral bersifat asam yang mengandung banyak silika dan alumina, seperti muskovit dan kuarsa. Sehingga pada batuan beku sangat jarang ditemukan mineral yang bersifat basa berasosiasi dengan mineral asam.

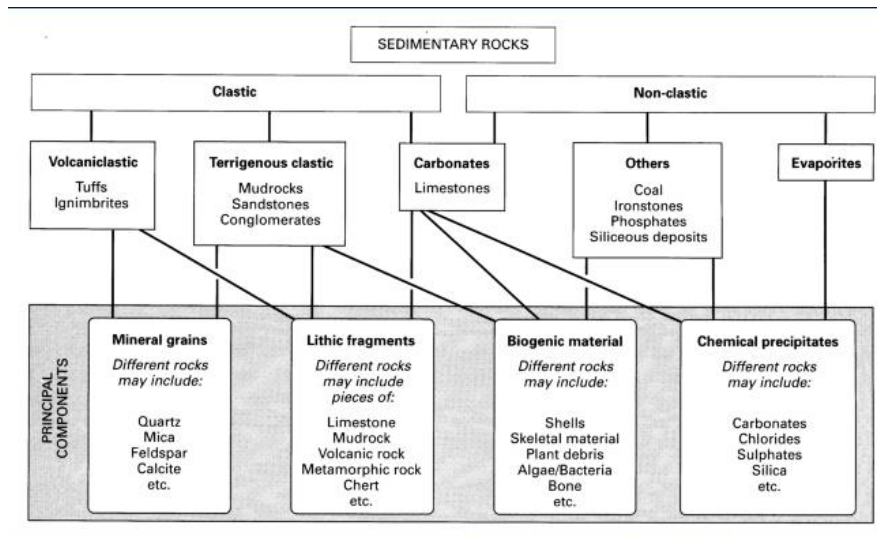


Gambar 9.4 Deret reaksi Bowen

### III. Batuan Sedimen

Batuan ini berasal dari batuan yang lebih dahulu terbentuk, yang mengalami pelapukan, erosi, dan kemudian lapukannya diangkut oleh air, udara, atau es, yang selanjutnya diendapkan dan berakumulasi di dalam cekungan pengendapan, membentuk sedimen. Material-material sedimen itu kemudian terkompaksi, mengeras, dan mengalami litifikasi. Batuan sedimen terjadi akibat pengendapan materi hasil erosi yang terdiri atas berbagai jenis partikel yaitu ada yang halus, kasar, berat dan ada juga yang ringan. Cara pengangkutannya pun bermacam-macam seperti terdorong (traction), terbawa secara melompat-lompat (saltation), terbawa dalam bentuk suspensi, dan ada pula yang larut (solution).

Berdasarkan proses pembentukan batuan sedimen, dapat dibagi menjadi empat kelompok: batuan sedimen klastik, batuan sedimen biokimia (atau biogenik), batuan sedimen kimia dan kategori keempat untuk "kategori lainnya" adalah untuk batuan sedimen yang dibentuk oleh dampak vulkanisme, dan proses-proses minor lainnya.



Gambar 9.5 Pembagian kelompok batuan sedimen berdasarkan proses pembentukan batuan. (Boggs, 1987)

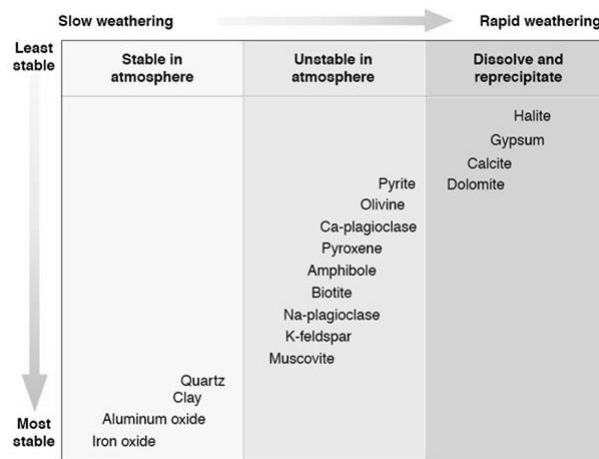
Clastic Sedimentary Rocks			
Texture (grain size)		Sediment Name	Rock Name
Coarse (over 2 mm)		Gravel (rounded fragments)	Conglomerate
		Gravel (angular fragments)	Breccia
Medium (1/16 to 2 mm)		Sand	Sandstone
Fine (1/16 to 1/256 mm)		Mud	Siltstone
Very Fine (less than 1/256)		Mud	Shale
Non-clastic Sedimentary Rocks			
Composition	Texture (grain size)	Rock Name	
Calcite	Fine to coarse crystalline	Crystalline Limestone	
		Travertine	
	Shells and cemented shell fragments	Coquina	Biochemical Limestone
	Shells and shell fragments cemented with calcite cement	Fossiliferous Limestone	
Quartz	Very fine crystalline	Chert (light color) Flint (dark color)	
Gypsum	Fine to coarse crystalline	Rock Gypsum	
Halite	Fine to coarse crystalline	Rock Salt	
Altered plant fragments	Fine-grained organic matter	Bituminous Coal	

Gambar 6 Penamaan batuan sedimen berdasarkan komposisi dan tekstur batuan (Boggs, 1987)

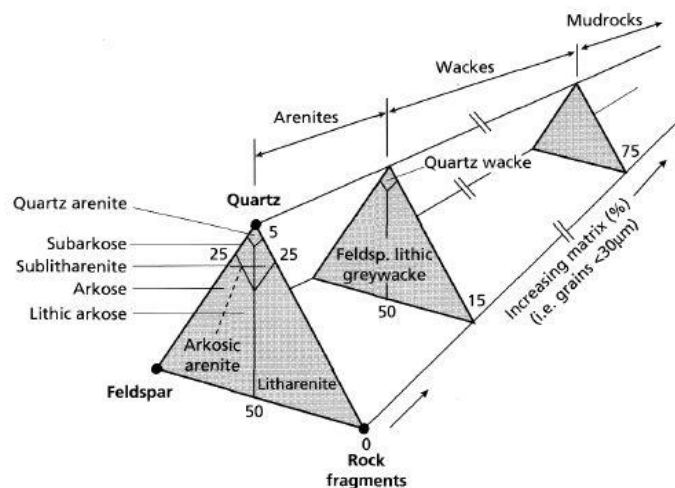
Berbeda dengan batuan beku dan batuan metamorf, batuan sedimen biasanya mengandung sangat sedikit mineral utama yang berbeda. Namun, asal-usul mineral dalam batuan sedimen sering lebih kompleks daripada dalam batuan

beku. Mineral dalam batuan sedimen dapat dibentuk oleh presipitasi selama sedimentasi maupun ketika terjadi diagenesis.

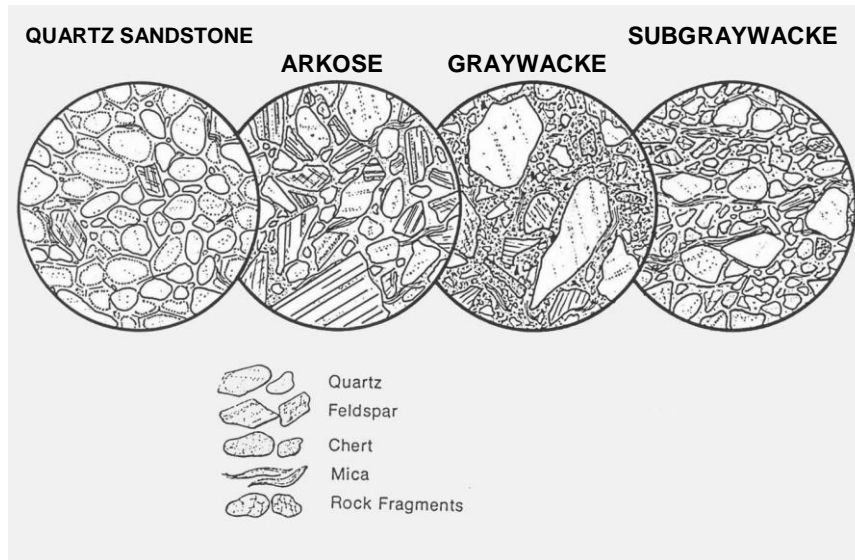
Mineralogi dari batuan sedimen klastik ditentukan oleh material yang dipasok dari daerah sumber, cara transportasi ke tempat pengendapan dan stabilitas mineral tertentu. Stabilitas mineral pembentuk utama batuan (ketahanan terhadap pelapukan) dinyatakan oleh seri Goldich. Dalam seri ini, kuarsa adalah yang paling stabil, diikuti oleh feldspar, mika, dan mineral kurang stabil lainnya yang hanya hadir ketika telah terjadi sedikit pelapukan. Jumlah pelapukan terutama bergantung pada jarak ke daerah sumber, iklim lokal dan waktu yang dibutuhkan untuk sedimen yang akan diangkut sana. Di sebagian besar batuan sedimen, mika, mineral feldspar dan mineral kurang stabil lainnya telah bereaksi dengan mineral lempung seperti kaolinit, illite atau smektit.



Gambar 9.7 Goldich series menunjukkan derajat ketahanan mineral terhadap pelapukan (Goldich, 1938)

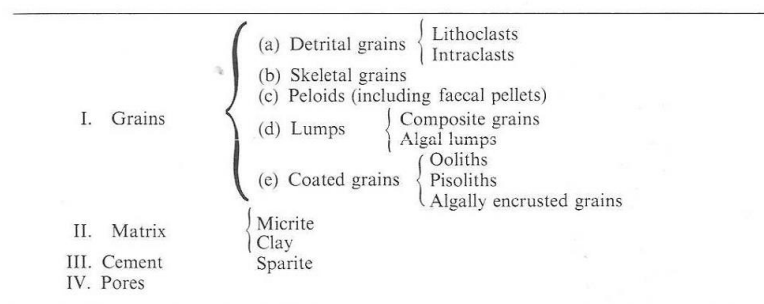


Gambar 9.8 Diagram Pettijohn, klasifikasi batuan sedimen klastik (Pettijohn, 1975)



Gambar 9.9 Perbandingan batuan sedimen klastik secara petrografi (William et.al., 1982)

Sedangkan pada batuan sedimen karbonat dominan terdiri dari mineral karbonat seperti kalsit, aragonit atau dolomit, baik semen maupun butir (termasuk fosil dan ooid) dari batuan karbonat dapat terdiri dari mineral karbonat. Batuan karbonat itu sendiri merupakan batuan dengan kandungan material karbonat lebih dari 50% yang tersusun atas partikel karbonat biogenik, klastik atau hasil kristalisasi dari presipitasi langsung. Batuan sedimen karbonat tersusun oleh beberapa komponen utama, yaitu:

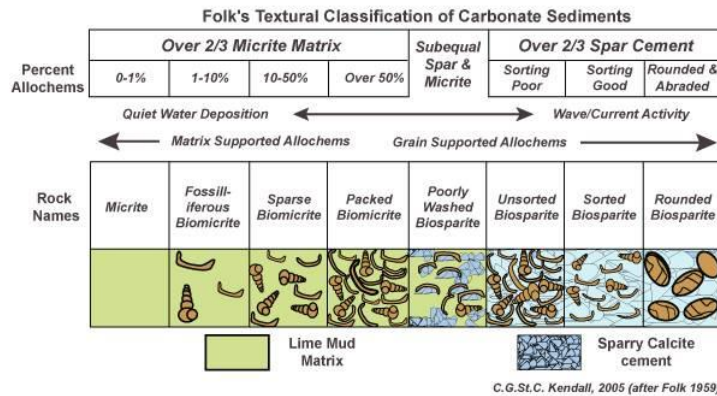


After Leighton and Pendexter (1962).

Gambar 9.10 Komponen utama penyusun batuan sedimen karbonat (after Leighton & Pendexter, 1962)

- Skeletal fragments
  - Ukuran beragam
- Peloid : komposisi micritik
  - Butiran karbonat cryptocrystalline
  - Tidak berstruktur
  - 20-60  $\mu\text{m}$
  - Macam = pellets = dibentuk oleh invertebrata laut; pelloid = dibentuk melalui mikritisasi skeletal grains
  - Karakteristik endapan lagoon, atau paparan yang dangkal
- Coated grains =
  - skeletal-fragment nucleous dikelilingi oleh algae;
  - ooids atau ooliths (*concentric/radial layers; medium-fine grain size, kerja blue-green algae, indikator high-energy enviro, sand bank, tidal enviro*)
  - *Pisoliths* (terbentuk di vaduse zone, dibawah zona lapukan, indikator low energy enviro.)
  - *Oncolith* (*cm diameter, tidak beraturan, blue-green algae, indikator low energy enviro.*)
- Lump : composite grains yang dibatasi oleh micrite
  
- Matrix =
  - Carbonate mud disebut micrite
  - 0,003-0,04 mm diameter
  - Dijumpai sedikit pada batuan yang didukung butiran
  - Dijumpai melimpah pada batuan carbonate mudrocks
  
- Cement =
  - Material kristalin yang mengisi kemas sedimen selama diagenesis
  - Komposisi calcite = sparite





Gambar 9.11 Klasifikasi batuan sedimen karbonat berdasarkan teksturnya (Folk, 1962)

Depositional texture recognisable							Depositional texture not recognisable	
Original components not bound together during deposition				Original components organically bound during deposition				
Contains mud (clay and fine silt-size carbonate)		Lacks mud and is grain-supported		>10% grains >2mm			Boundstone (may be divided into three types below)	
Mud-supported	Grain-supported							Matrix-supported
Less than 10% grains <b>Mudstone</b>	More than 10% grains <b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>	<b>Floatstone</b>	<b>Rudstone</b>	By organisms which act as baffles <b>Bafflestone</b>	By organisms which encrust and bind <b>Bindstone</b>	By organisms which build a rigid framework <b>Framestone</b>
							<b>Crystalline</b>	

Gambar 9.12 Klasifikasi batuan sedimen karbonat berdasarkan tekstur komponen penyusun dan proses deposisinya (Embry & Klovan, 1971)

#### IV. Batuan Metamorf

Batuan metamorf adalah batuan yang terbentuk dari proses metamorfisme batuan-batuan sebelumnya karena perubahan temperatur dan tekanan. Metamorfisme terjadi pada keadaan padat (padat ke padat) meliputi proses kristalisasi, reorientasi dan pembentukan mineral-mineral baru serta terjadi dalam lingkungan yang sama sekali berbeda dengan lingkungan batuan asalnya terbentuk. Banyak mineral yang mempunyai batas-batas kestabilan tertentu yang jika dikenakan tekanan dan temperatur yang melebihi batas tersebut maka akan terjadi penyesuaian dalam batuan dengan membentuk mineral-mineral baru yang stabil.

Disamping karena pengaruh tekanan dan temperatur, metamorfisme juga dipengaruhi oleh fluida, dimana fluida (H<sub>2</sub>O) dalam jumlah bervariasi di antara butiran mineral atau pori-pori batuan yang pada umumnya mengandung ion terlarut akan mempercepat proses metamorfisme. Batuan metamorf memiliki beragam

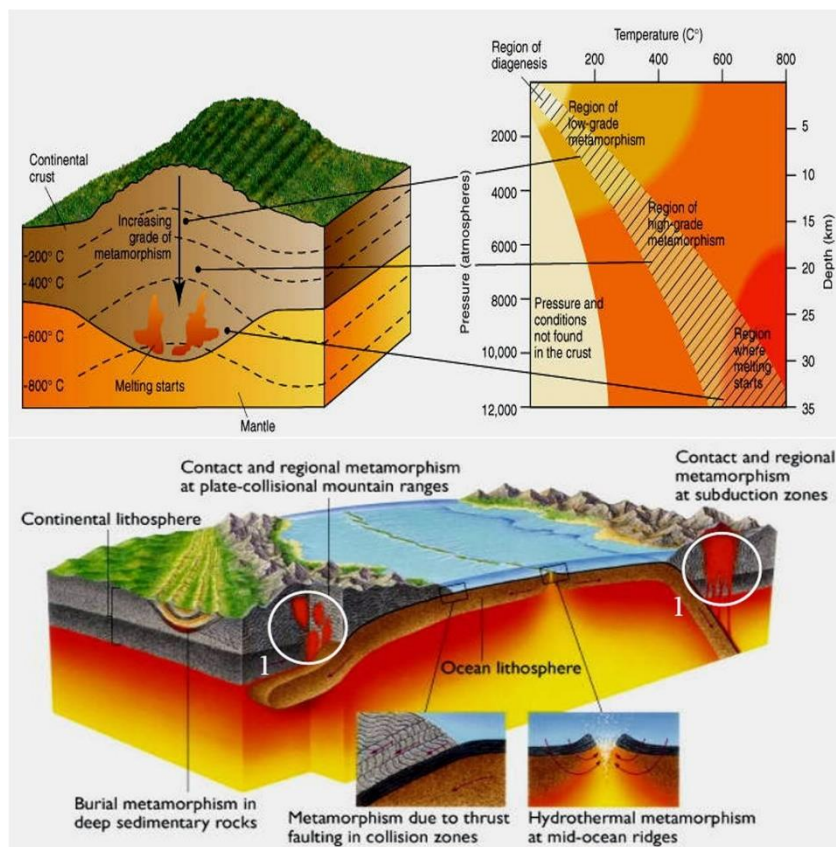
karakteristik. Karakteristik ini dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam pembentukan batuan tersebut:

- Komposisi mineral batuan asal
- Tekanan dan temperatur saat proses metamorfisme
- Pengaruh gaya tektonik
- Pengaruh fluida

Mineral metamorfik adalah mineral yang terbentuk hanya pada suhu dan tekanan tinggi terkait dengan proses metamorfosis. Mineral ini, yang dikenal sebagai mineral - mineral indeks, termasuk silimanit, kyanit, staurolit, andalusit, dan beberapa garnet.

Mineral lainnya, seperti olivin, piroksen, ampibol, mika, feldspar, dan kuarsa dapat ditemukan dalam batuan metamorf, tetapi belum tentu merupakan hasil dari proses metamorfisme. Mineral ini terbentuk selama kristalisasi batuan beku. Mereka stabil pada suhu dan tekanan tinggi yang secara kimia tidak berubah ketika selama terjadinya proses metamorfisme. Namun, semua mineral stabil hanya dalam batas-batas tertentu, dan adanya beberapa mineral dalam batuan metamorf menunjukkan perkiraan suhu dan tekanan di mana mereka terbentuk.

Perubahan ukuran partikel batuan selama proses metamorfisme disebut rekristalisasi. Misalnya, kristal kalsit kecil pada batugamping berubah menjadi kristal yang lebih besar di marmer pada batuan metamorf, atau dalam batupasir yang termetamorfosis, rekristalisasi dari kuarsa asal butir-butir pasir menghasilkan kuarsit yang sangat kompak, atau biasa disebut dengan metakuarsit, di mana kristal kuarsa yang lebih besar biasanya saling bertautan. Baik suhu maupun tekanan yang tinggi berkontribusi terhadap rekristalisasi. Tekanan yang tinggi memungkinkan atom dan ion dalam kristal padat untuk bermigrasi, sehingga membentuk suatu susunan baru pada kristal, sementara temperatur tinggi menyebabkan pelarutan kristal dalam batuan di titik kontak mereka.

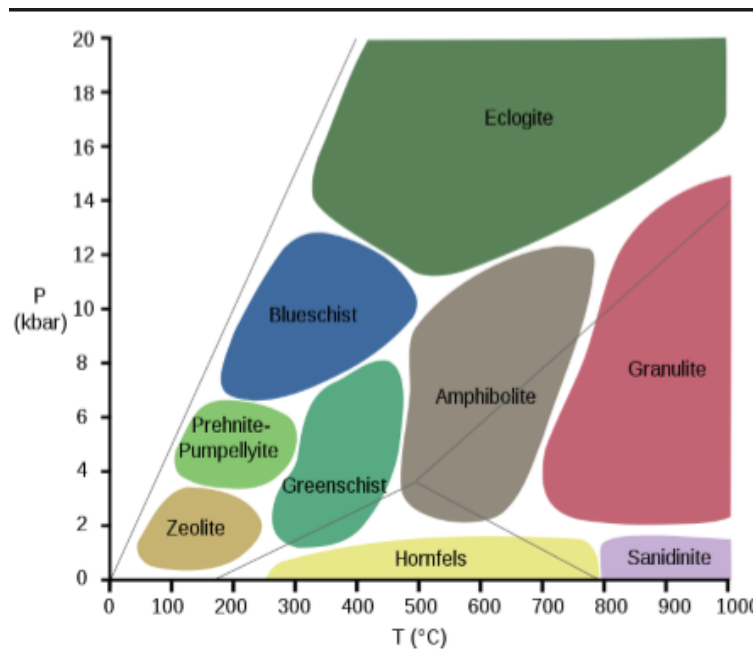


Gambar 9.13 Perbandingan derajat metamorfisme dan tipe metamorfisme berdasarkan proses pembentukan

Fasies metamorfisme adalah sekelompok batuan yang termetamorfosa pada kondisi yang sama yang dicirikan oleh kumpulan mineral yang tetap. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Pennti Eskola tahun 1915. Dalam hal ini, Pennti Eskola mengemukakan bahwa kumpulan mineral pada batuan metamorf merupakan karakteristik genetik yang sangat penting sehingga terdapat hubungan antara kelompok mineral dengan komposisi batuan pada tingkat metamorfosa tertentu. Dalam hal ini berarti tiap fasies metamorfik dibatasi oleh tekanan dan temperature tertentu serta dicirikan oleh hubungan teratur antar komposisi kimia dan mineralogi batuan.

Fasies metamorfisme juga bisa dianggap sebagai hasil dari proses isokimia metamorfisme, yaitu proses metamorfisme yang terjadi tanpa adanya penambahan unsur-unsur kimia yang dalam hal ini komposisi kimianya tetap. Penentuan fasies metamorf dapat dilakukan dengan dua cara yakni dengan cara menentukan mineral penyusun batuan atau dengan menggunakan reaksi metamorf yang dapat diperoleh dari kondisi tekanan dan temperature tertentu dari batuan metamorf.

Jadi, fasies metamorfisme intinya menyatakan bahwa pada komposisi batuan tertentu, kumpulan mineral yang mencapai keseimbangan selama metamorfisme di bawah kisaran kondisi fisik tertentu, termasuk dalam fasies metamorfisme yang sama. Prinsip fasies metamorfisme bersamaan dengan gradien hidrotermal dan kondisi geologi.



Gambar 9.14 Pembagian fasies batuan metamorf (Turner, 1960)

# Metamorphic Facies vs Mineral Assemblages

	Ultramafic rocks	Marbles	Metapelites	Metamarls	Metabasalts	Metagranitoids	Fluids
Protolith	Ol + Opx ± Cpx ± Spl Ol + Opx ± Cpx ± Grt	Cal + Dol + Qtz + Kfs ±Chl, ±Ab, ±"clay"	"Clay" + Qtz ± Ab ± Kfs	Cal+"clay"	Pl + Cpx ± Opx ± Qtz Pl + Cpx ± Opx ± Ol	Pl + Kfs + Qtz ±Hbl ± Bt ± Ol ± Cpx ± Opx	
Subgreenschist	Chrysotil + Brc + Act Chrysotil + Tlc + Act ± Chl	Cal + Dol + Qtz + Kfs +Chl + Ms	Kln(Prf) + Chl + Illite + Qtz	Cal + Kln(Prf) + Chl + Illite + Qtz	Zeolites Pmp + Prh + Chl + Ab ± Ep	"Clay", illite, zeolites Prh, Stilp, Chl + Kfs	H <sub>2</sub> O-CH <sub>4</sub>
Greenschist	Atg + Brc + Di + Chl Atg + Tlc + Di + Chl Atg + Fo + Di + Chl	Cal + Dol + Qtz + Chl Cal + Dol + Qtz + Kfs + Ab	Prf(Als) + Chl + Ms ± Pg ± Clid, ±Bt, ±Grt	Cal + Qtz + Mrg + Chl + Ms ± Ep	Ab + Chl + Ep + Act ± Phe, ±Bt, ±Stp	Ab + Kfs + Chl + Qtz ± Bt ± Act ± Ep	H <sub>2</sub> O
Amphibolite	Atg + Fo + Tr + Chl Tlc + Fo + Tr + Chl Ath + Fo + Tr + Chl En + Fo + Tr + Chl En + Fo + Hbl + Spl	Cal + Dol + Qtz + Tlc Cal + Dol + Tr + Phl Cal + Dol + Di + Phl Cal + Qtz + Tr + Di + Phl	St + Chl + Grt + Ms St + Bt + Als + Ms St + Bt + Grt + Ms Crd + Bt + Grt + Ms Bt + Als + Kfs + Grt	Cal + Qtz + Pl ±Hbl ± Grt ± Bt	Pl + Hbl + Ep Pl + Hbl + Grt Pl + Hbl + Cpx ±Bt	Pl + Kfs + Qtz ±Bt ± Ms ± Hbl	H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub>
Granulite	En + Fo + Di + Spl	Cal + Qtz + Di + Phl Cal + Dol + Di + Spl Cal + Dol + Fo + Spl Cal + Qtz + Di + Spl	Opx + Qtz Opx + Crd + Bt + Qtz Opx + Als + Qtz ± Spr ± Spl	Cal + Qtz + Pl + Cpx ± Grt	Pl + Cpx + Grt Pl + Cpx + Opx ±Hbl ± Bt	Opx + Qtz + Fsp ±Ol ± Cpx Mesoperthite	No fluid or CO <sub>2</sub>
Blueschist	Atg + Fo + Di + Chl	CaCO <sub>3</sub> + Dol + Qtz + Phe	Carpholite Phe + Tlc + Grt Phe + carpholite	Cal + Gln + Ep + Phe + Pg	Gln + Lws + Chl ± Pg Gln + Ep ± Grt ± Pg ± Clid ±Tlc ± Chl		H <sub>2</sub> O-(CO <sub>2</sub> )
Eclogite	Atg + Fo + Di + Chl En + Fo + Di + Grt		Tlc + Ky Jd + Qtz(Coe) + Tlc + Ky		Omp + Grt ± Ky Omp + Grt ± Zo ± Phe Omp + Grt ± Zo ± Tlc ± Clid	Jd + Qtz ± Phe ± Ky	H <sub>2</sub> O-N <sub>2</sub>

"Clay" includes: kaolinite, smectite, montmorillonite, vermiculite, saponite and many others; Metagranitoids include metaquartzofeldspathic (metapsammitic) rocks

FACIES – PROTOLITH—MINERAL ASSEMBLAGE TABLE:

<b>Facies</b>	<b>Pelitic</b>	<b>Calcareous</b>	<b>Mafic</b>
<b>Zeolite</b> 100-200° C	interlayered smectite/chlorite calcite	calcite	Laumontite, thompsonite, calcite, interlayered smectite/chlorite
<b>Prehnite- Pumpellyite</b> 150-300° C	Prehnite, pumpellyite, calcite, chlorite, albite	calcite	Prehnite, pumpellyite, calcite, chlorite, albite
<b>Greenschist</b> 300-450° C	muscovite, chlorite, quartz, albite, biotite, garnet	calcite, dolomite, quartz, epidote, tremolite	albite, chlorite, quartz, epidote, actinolite, sphene
<b>Epidote Amphibolite</b> 450-550° C	muscovite, biotite, garnet, albite, quartz	calcite, quartz, tremolite, epidote, diopside	albite, epidote, hornblende, quartz
<b>Amphibolite</b> 500-700° C	garnet, biotite, muscovite, quartz, plagioclase, staurolite, kyanite or sillimanite	calcite, diopside quartz, wollastonite	hornblende, plagioclase, garnet, quartz, sphene, biotite
<b>Granulite</b> 700-900° C	garnet, Kspar, sillimanite or kyanite, quartz, plagioclase, hypersthene	calcite, quartz, plagioclase, diopside, hypersthene	plagioclase, augite, hypersthene, hornblende, garnet, olivine
<b>Blueschist</b> 150-350° C P > 5-8 Kb	Jadeite, albite, quartz, lawsonite, aragonite, paragonite	aragonite, white mica	Glaucofane, albite, lawsonite, sphene, ± garnet
<b>Eclogite</b> 350-750° C P > 8-10 Kb	coesite, Kspar, sillimanite, plagioclase	aragonite, quartz, plagioclase, diopside, hypersthene	omphacite (px), pyrope garnet

Gambar 9.15 Fasies, protolith dan sebaran mineral untuk berbagai protolith (Strekeisen, 2007)