

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Batuan

Batuan adalah benda alam yang menjadi penyusun utama bumi, yang menyediakan mineral-mineral anorganik melalui pelapukan yang selanjutnya menghasilkan tanah. Batuan mempunyai komposisi mineral, sifat fisik dan umur yang beranekaragam. Batuan penyusun kerak bumi berdasarkan kejadiannya (genesis), tekstur, dan komposisi mineralnya dapat dibagi menjadi 3 yaitu batuan beku (*igneous rocks*), batuan sedimen (*sedimentary rocks*) dan batuan metamorf/malihan (*metamorphic rocks*) [8].

Batuan beku (*igneous rocks*) adalah jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (*plutonik*) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (*vulkanik*). Batuan beku plutonik pada umumnya mengalami proses pembekuan magma dalam waktu yang lebih lambat, sehingga mineral penyusunnya cenderung berukuran besar, sedangkan batuan beku vulkanik mengalami proses pembekuan magma dalam waktu yang lebih cepat [9]. Klasifikasi sederhana batuan beku didasarkan pada tekstur dan komposisi mineralnya. Keragaman tekstur batuan beku disebabkan oleh pendinginan magma, sedangkan komposisi mineral tergantung pada kandungan unsur kimia magma induk dan lingkungan kristalisasinya [10].

Batuan sedimen (*sedimentary rocks*) adalah batuan yang terbentuk oleh konsolidasi sedimen sebagai material lepas yang terangkut ke lokasi pengendapan oleh air, angin, es dan longsor gravitasi, gerakan tanah atau tanah longsor. Batuan sedimen termasuk dalam batuan sekunder karena material pembentuknya merupakan hasil dari aktifitas kimia dan mekanik denudasi terhadap batuan yang sudah ada [11]. Batuan sedimen biasanya tersusun secara berlapis-lapis dan mendatar. Secara kimiawi, batuan sedimen tersusun dari penguapan larutan kalsium karbonat, garam, silika dan material lainnya.

Batuan metamorf/malihan (*metamorphic rocks*) adalah batuan yang telah mengalami perubahan dari bentuk asalnya dari batuan yang sudah ada baik batuan beku, batuan sedimen, ataupun batuan metamorf lain. Batuan metamorf mengalami perubahan secara fisik dan kimiawi sehingga berbeda dengan batuan induknya [8]. Batuan induk tersebut bisa berasal dari batuan itu sendiri yang sudah melalui proses mineralogi, struktur dan tekstur yang disebabkan oleh perubahan temperatur dan tingginya tekanan pada batuan induk. Temperatur dan tekanan tinggi dari batuan induk akan berakibat merubah struktur dan tekstur batuan tersebut. Batuan yang terbentuk akan menyesuaikan sifatnya sesuai dengan material pembentuknya. Sehingga, batuan yang terbentuk memiliki perbedaan struktur dan tekstur yang disebabkan proses metamorfismenya.

2.2 Mineral Batuan

Mineral merupakan bahan anorganik yang terbentuk melalui proses geologi, yang terdiri dari komposisi kimia, atom-atom yang tersusun membentuk pola yang teratur, dan mempunyai struktur kristal [8]. Mineral dapat ditemukan di lingkungan sekitar kita, dapat berupa batuan, tanah, atau pasir yang terendapkan di dasar sungai. Beberapa dari mineral mempunyai nilai ekonomis, seperti emas dan perak. Beberapa jenis mineral memiliki sifat, bentuk tertentu dalam keadaan padat, sebagai perwujudan dari atom-atom yang tersusun secara teratur, bentuk yang teratur disebut sebagai kristalin. Berdasarkan komposisi kimianya, mineral dapat dikelompokkan menjadi mineral Silikat dan mineral Non-silikat. Adapun beberapa mineral yang terlibat dalam pembentukan batuan adalah sebagai berikut [9] [12].

2.2.1 Mineral silikat

Mineral silikat merupakan bagian terbesar dari mineral pembentuk batuan baik itu batuan beku, batuan sedimen maupun batuan malihan/metamorf, mineral ini terbentuk sebagai akibat dari percampuran antara unsur silikon dan oksigen

dengan unsur lain. Mineral ini merupakan bagian dari unsur utama pembentuk kerak bumi, hampir 95% mineral yang pernah ditemukan di kerak bumi adalah mineral silikat yang terdiri dari *feldspar* dan *kuarsa*. Adapun kelompok mineral silikat dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini [9] [13].

Tabel 2. 1 Kelompok mineral silikat [9] [14]

Mineral		Rumus Kimia	Karakteristik Fisik
Olivine		$(Mg, Fe)_2SiO_4$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna kuning kehijauan, kelabu kehijauan atau coklat. • Berat jenis antara 3,27-3,37 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang kurang sempurna.
Pyroxene		$(Mg, Fe)SiO_3$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna hitam atau hijau tua. • Berat jenis antara 3,2-3,4 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang hampir tegak lurus. • Mengandung silika relatif rendah
Amphibole		$(Ca_2Mg_5)Si_8O_{22}(OH)_2$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna hijau gelap. • Struktur kristalnya berbentuk prismatic atau menyerupai jarum. • Mineral ini umumnya mengandung besi (<i>Fe</i>), Magnesium (<i>Mg</i>), Kalsium (<i>Ca</i>), Alumunium (<i>Al</i>), Silika (<i>Si</i>), dan Oksigen (<i>O</i>)
Mica	Muscovite	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna terang seperti, kuning muda, coklat, hijau atau

			<p>merah.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Berat jenis antara 2,8-3,1 gr/cm³.
	Biotite	$K(Mg, Fe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna hijau tua, coklat atau hitam. • Berat jenis antara 2,8-3,2 gr/cm³.
Feldspar	Orthoclase	$KAlSi_3O_8$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna merah daging atau putih. • Struktur kristalnya berbentuk prismatic. • Bagian dari mineral silikat yang mengandung unsur Kalium.
	Plagioclase	$(Ca, Na)AlSi_3O_8$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna putih hingga abu-abu. • Struktur kristalnya berbentuk prismatic. • Bagian dari mineral silikat yang mengandung unsur Natrium.
	Kuarsa	SiO_2	<ul style="list-style-type: none"> • Biasa berwarna bening atau transparan. • Kadang juga dijumpai dengan warna merah, ungu, kuning hingga coklat, hal tersebut karena ada unsur lain yang tidak bersih.

2.2.2 Mineral oksida

Mineral oksida terbentuk sebagai akibat dari percampuran langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Keragaman oksida diakibatkan oleh kelimpahan oksigen di kerak bumi. Adapun kelompok mineral oksida dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini [9] [15].

Tabel 2. 2 Kelompok mineral oksida [9][14]

Mineral	Rumus Kimia	Karakteristik Fisik
Magnetite	(Fe_3O_4)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna hitam keabu-abuan. • Berat jenis adalah 5,2 gr/cm³.
Ilminate	$(FeTiO_3)$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna abu-abu hingga hitam • Dengan berat jenis antara 4,70-4,79 g/cm³.
Corundum	(Al_2O_3)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna abu-abu, putih, hingga coklat. • Dengan berat bersih 4,0 gr/cm³. • Terbentuk di lingkungan batuan beku dan batuan malihan/metamorf.
Kasiterit	(SnO_2)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna kemerahan sampai hitam. • Dengan berat jenis antara 6,8-7,1 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang sempurna. • Terbentuk melalui proses hidrotermal dengan temperatur yang tinggi

2.2.3 Mineral sulfida

Mineral sulfida merupakan hasil percampuran antara Sulfur (belerang) dengan unsur tertentu. Pembentukan mineral ini biasanya terjadi disekitar wilayah gunung api yang memiliki kandungan sulfur yang tinggi. Adapun kelompok mineral sulfida dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini [9] [14].

Tabel 2. 3 Kelompok mineral Sulfida [9][14]

Mineral	Rumus Kimia	Karakteristik Fisik
Bornite	(Cu_3FeS_4)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna sampai hitam dengan bintik keunguan. • Dengan berat jenis antara 4,9-5,3 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang kurang sempurna.
Pyrite	(FeS_3)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna kuning terang. • Dengan berat jenis antara 4,95-5,0 gr/cm³. • Mineral aksesoris dalam beberapa jenis batuan.
Galena	(PbS)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna abu abu terang. • Dengan berat jenis yaitu 7,58 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang sempurna. • Biasa terbentuk di batuan sedimen namun, dapat pula ditemukan pada batuan metamorf.
Sphalerit	(ZnS)	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna coklat hingga kehitaman. • Dengan berat jenis sebesar 4,0 gr/cm³. • Mempunyai bidang belah yang sempurna.

2.2.4 Mineral karbonat

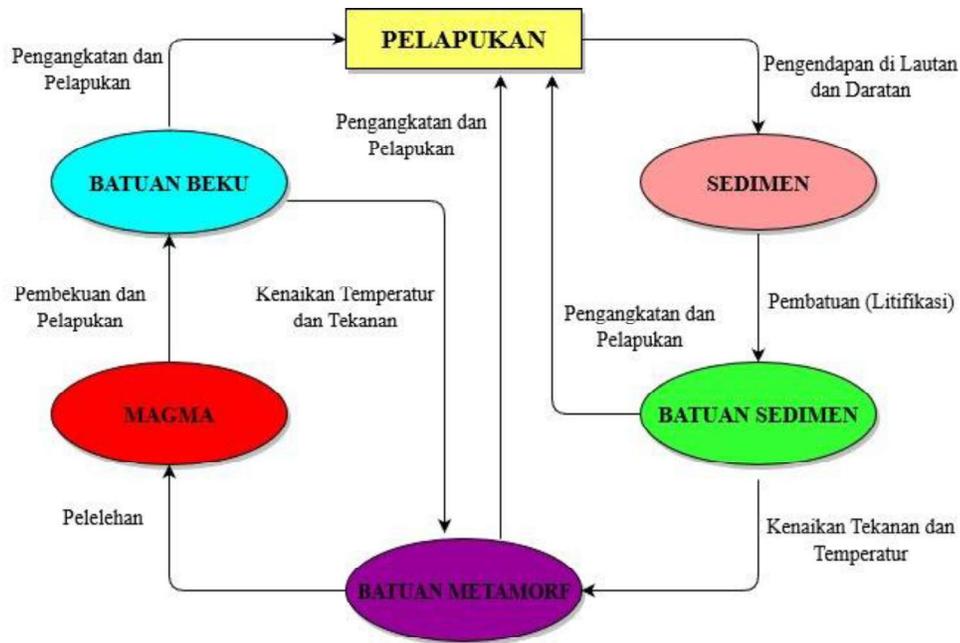
Mineral karbonat merupakan percampuran antara ion $(CO_3)^{2-}$ dengan unsur lain. Mineral karbonat adalah mineral utama pembentuk batuan sedimen. Mineral ini terbentuk di lingkungan laut oleh bangkai plankton. Adapun kelompok mineral karbonat dapat dilihat pada Tabel 2.4 di bawah ini [9].

Tabel 2. 4 Kelompok mineral karbonat [9][14]

Mineral	Rumus Kimia	Karakteristik Fisik
Calcite	$(CaCO_3)$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna bening/putih. • Dengan berat jenis sebesar 2,71 gr/cm³. • Mempunyai belahan yang sempurna. • Terbentuk di lingkungan laut atau pada daerah evaporitic dan di endapkan oleh bangkai plankton.
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna putih. • Dengan berat jenis sebesar 2,85 gr/cm³. • Mempunyai belahan yang sempurna. • Terbentuk di lingkungan laut atau pada daerah evaporitic dan di endapkan oleh bangkai plankton.
Magnesite	$(MgCO_3)$	<ul style="list-style-type: none"> • Biasanya berwarna bening, kuning terang, coklat terang hingga merah muda. • Dengan berat jenis 3,0-3,2 gr/cm³.

2.3 Proses Pengkristalan atau Pembentukan Batuan

Perubahan yang terjadi pada batuan mengikuti suatu siklus atau daur batuan. Siklus batuan adalah suatu proses geologi yang bekerja dan mengubah kelompok batuan yang satu ke yang lainnya dan terjadi akibat interaksi antara lempengan tektonik dan siklus hidrologi. Siklus batuan dapat dijelaskan oleh Gambar 2.1. di bawah ini.



Gambar 2. 1 Siklus batuan (digambar ulang oleh penulis) [9]

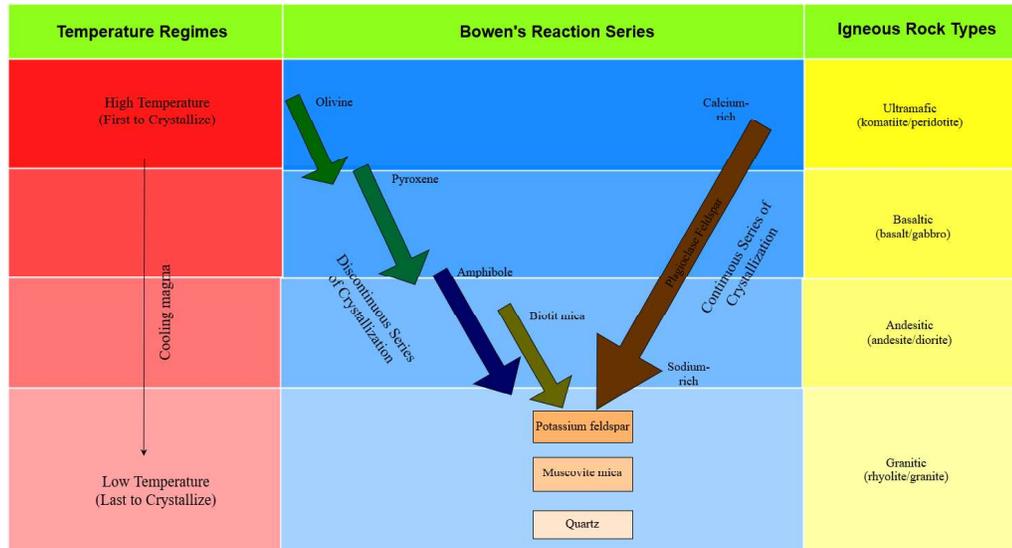
Batuan pertama adalah batuan beku (*igneous rock*) terjadi akibat magma yang mendingin dan memadat atau membeku. Proses ini dapat terjadi baik di bawah maupun di atas permukaan bumi. Saat bumi mulai terbentuk, kulit terluarnya masih berupa material yang meleleh yang kemudian mendingin dan membeku secara bertahap dan membentuk kerak bumi pertama yang terdiri dari batuan beku. Batuan beku di permukaan bumi bersentuhan langsung dengan atmosfer setiap saat, maka perlahan ia terdisintegrasi dan terdekomposisi. Mengalami penyesuaian untuk mencapai keseimbangan dengan lingkungan sekitar, proses ini disebut proses pelapukan (*weathering*).

Material hasil rombakan yang terlepas dari induk batuan, kemudian ditransport oleh berbagai media seperti gravitasi, aliran air, gletser atau angin dan diendapkan sebagai sedimen atau endapan, ditempat yang rendah (di darat, laut, danau dan sebagainya) sebagai lapisan-lapisan mendatar. Sedimen yang terbentuk tidak hanya sebagai hasil pelapukan saja, ada proses erosi yang juga menghasilkan sedimen. Melalui proses litifikasi, yang artinya berubah menjadi batuan, sedimen ini berubah menjadi batuan sedimen. Jika batuan sedimen suatu saat berada jauh di bawah permukaan bumi atau terlibat dalam dinamika pembentukan pegunungan

(*orogenesis*), ia akan dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur yang tinggi. Akibatnya batuan sedimen bereaksi dan berubah menjadi batuan metamorf atau batuan malihan.

Apabila batuan metamorf berada pada tekanan dan temperatur yang tinggi ia akan melebur menjadi magma. Perulangan atau daur tersebut, tidak selalu demikian, akan tetapi ada penyimpangan-penyimpangan. Misalnya batuan beku disamping tersingkap di permukaan, dapat juga dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur yang tinggi jauh di bawah permukaan bumi, akan menjadi batuan metamorf, bahkan dapat melebur kembali menjadi magma. Sebaliknya batuan sedimen dan batuan metamorf bila berada diatas permukaan bumi akan mengalami proses pelapukan dan erosi.

Pada saat magma mulai mendingin, lalu mengkristal mineral-mineral yang titik hablurnya sesuai dengan kondisi saat itu (pada temperatur yang masih tinggi). Kemudian temperatur makin menurun dan mengkristal mineral-mineral lainnya, sesuai dengan kondisi, baik temperatur maupun sisa larutan magma. Demikianlah seterusnya sampai semua ion-ion dalam magma saling mengikat menjadi kristal mineral. Urutan pengkristalan mineral-mineral ini disusun oleh Bowen, dan terkenal sebagai Deret Reaksi Bowen (*Bowen's Reaction Series*) seperti Gambar 2.2. dibawah ini [16] [8].



Gambar 2. 2 Deret Bowen (digambar ulang oleh penulis) [16]

Dalam deret bowen menyajikan informasi mengenai proses pembentukan mineral yang ditentukan oleh temperatur terbentuknya mineral dan berpengaruh pada sifat yang akan dibawa saat mineral yang terbentuk. Ketika magma bergerak menuju permukaan bumi, maka temperatur berangsur turun dan mulai membentuk mineral. Mineral yang pertama terbentuk merupakan mineral yang tidak stabil, sehingga mudah berubah menjadi mineral lain, terutama mineral dibawahnya sesuai deret bowen (*Olivin, Piroksen, Amfibol, Biotit*) mewakili mineral yang bersifat basa. Selanjutnya terbentuk mineral-mineral bersifat intermediet seperti *Hornblenda atau biotit* dan yang terakhir adalah mineral yang paling stabil dan bersifat asam yang mengandung banyak *silika dan alumina*, seperti *muskovit dan kuarsa* [17].

Deret bowen dibagi menjadi dua bagian, yaitu seri reaksi *kontinyu* (sebelah kanan), dan *diskontinyu* (sebelah kiri). Deret menerus (*kontinyu*) umumnya terdiri dari mineral-mineral *felsik* (berwarna terang) dan mineral awal yang terbentuk akan turut serta dalam pembentukan mineral selanjutnya. Mineral awal yang terbentuk yaitu *plagioclase feldspar* yang kaya akan *Ca* dan di akhir *plagioclase feldspar* yang kaya akan *Na*. Sedangkan deret tak menerus (diskontinyu) adalah deret pada seri *Olivin* ke bawah yang diwakili oleh mineral-mineral *mafik* (berwarna gelap) dan mineral yang terbentuk pada temperatur dengan rentang

tertentu dengan melakukan reaksi terhadap sisa larutan magma. Mineral awal yang terbentuk yaitu *Olivin* (tetapi jika magma jenuh oleh *silika*, maka yang pertama kali terbentuk adalah *piroksen*). *Olivin* dan *Piroksen* merupakan pasangan *Incongruent melting*, dimana pasca pembentukan *olivin*, sisa magma akan bereaksi membentuk *piroksen*, maka sering kali *olivin* dan *piroksen* terbentuk bersama-sama (*Overlapping*) dalam satu jenis batuan. Temperatur magma akan terus menurun hingga akhirnya terbentuk *biotit*. Deret menerus dan tak menerus akan bertemu pada mineral *Potassium feldspar*, lalu ke mineral *muskovit*, dan terakhir menuju mineral *Kuarsa*. Mineral *kuarsa* merupakan mineral yang paling resisten dibanding seluruh mineral dalam Deret Bowen. Saat kedua reaksi tersebut berakhir dan sisa-sisa mineral dari kedua reaksi tersebut akan membentuk *potassium feldspar*. *Potassium feldspar* mendapat tekanan yang tinggi akan berubah menjadi *muscovite mica*, sedangkan larutan magma yang mengandung *silica* dan oksigen akan berubah menjadi *kuarsa* [18].

2.4 Karakteristik Batu Granit

Granit merupakan batuan beku asam berdasarkan komposisi kimianya. Batu granit adalah batuan beku dalam yang bertekstur *holokristalin*, *feneritik* dan berbutir kasar serta mengandung mineral *Kuarsa* 10-40%, *K-feldspar* 30-60%, *Plagioklas natrium* 0-35%, mineral *mafis (biotit, hornblend)* 10-35% [8]. Berdasarkan asal magma pembentuknya, granit di klasifikasikan menjadi 2 kelompok yaitu granit tipe S (*sedimentary*) dan granit tipe I (*igneous*). Granit tipe-S berasal dari pencairan sebagian batuan sumber metasedimen, prosesnya disebut *anatexis* atau ultra metamorfosa sedangkan granit tipe-I berasal dari batuan sumber berkomposisi batuan beku yang belum mengalami pelapukan permukaan atau dari fraksinasi kristal magma. Penentuan tipe granit dapat dilakukan dengan metode pengamatan megaskopis, petrografis, dan geokimia. Berdasarkan kombinasi ketiga metode tersebut, karakteristik tipe granit ditunjukkan pada Tabel 2.5 [19].

Tabel 2. 5 Karakteristik tipe granit [19]

Granit Tipe-S	Granit Tipe-I
<p>Pengamatan megaskopis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>K-feldspar</i> sebagai megakristal, tekstur fanerik kasar-pegmatik. • <i>K-feldspar</i> biasanya berwarna abu-abu atau putih, umumnya berupa mikrolin. • Umumnya dijumpai <i>xenolith metasedimen</i> 	<p>Pengamatan megaskopis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>K-feldspar</i> biasanya berwarna merah jambu. • Kemungkinan berupa dike mafik. • Umumnya dijumpai <i>xenolith hornblenda</i>.
<p>Pengamatan petrografi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>K-feldspar</i> umumnya berupa mikrolin • <i>Biotit</i> selalu hadir umumnya berwarna merah foxi, kecoklatan atau hijau gelap. • Dicirikan oleh kehadiran mineral <i>ilmenit</i>. • Mineral asosiasi terdiri dari <i>muskovit</i>, <i>monasit</i> (mineral radioaktif), <i>kordirit</i> dan <i>garnet</i>. • Komposisi magma kisaran dari <i>monzogranit-granodiorit</i>. 	<p>Pengamatan petrografi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>K-feldspar</i> bukan berupa mikrolin • Tekstur <i>equigranular</i> atau <i>inequigranular</i>. • Dicirikan oleh kehadiran mineral <i>magnetit</i>. • Mineral asosiasi terdiri dari <i>hornblenda</i> dan <i>sphene</i>. • Komposisi magma kisaran dari <i>diorit</i>, <i>tonalit</i>, <i>granodiorit</i> sampai <i>monzogranit</i>.
<p>Karakter geokimia :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kandungan <i>Sodium</i> relatif rendah • Rasio isotop stronsium $87/\text{stronsium } 86 > 0,708$ • Berasal dari magma dengan komposisi asam 	<p>Karakter geokimia :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kandungan <i>sodium</i> relatif tinggi. • Rasio isotop stronsium $87/\text{stronsium } 86 < 0,708$. • Berasal dari magma berkomposisi asam hingga menengah

Menurut Ishihara, granit diklasifikasikan menjadi seri *Ilmenite/Magnetite* berdasarkan kadar mineral opak (mineral berat) yang terkandung pada batu granit [20]. Pada umumnya mineral opak terdiri dari *magnetite*, *ilmenite*, *hematite*, *limonite* dan *pirite*. Seri *ilminate* mengandung volume <0,1% mineral opak, sedangkan seri *magnetite* mengandung volume 0,1-2% mineral opak, selain itu seri *magnetite* memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi dari seri *ilminate* [20] [21]. Granit seri *magnetite* dikaitkan dengan mineralisasi logam sedangkan granit seri *ilminate* dikaitkan dengan mineralisasi timah. Penerapan klasifikasi granit seri *Ilmenite/Magnetite*, menunjukkan bahwa granit tipe I dan S dapat berasal dari seri *Ilmenite/Magnetit*, granit seri *ilminate* setara dengan granit tipe-S dan granit seri *magnetite* setara dengan granit tipe-I, karena granit seri *magnetite* memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi dari Seri *ilmenite* selain itu terdapat perbedaan yang berkaitan dengan Fe^{3+} / Fe^{2+} yang lebih rendah dari tipe S, menunjukkan bahwa mineral opak pada granit tipe S adalah *ilminate* [22] [23]. Namun granit tipe-I yang berada di jalur granit timur dapat berupa seri *Ilmenite/Magnetite*, dikarenakan letak geografis, jalur granit timur (granit tipe-I) saling tumpang tindih dengan jalur granit utama (granit tipe-S) [24].

Menurut Wikarno, distribusi granit di Pulau Sumatera seringkali disamakan antara tipe S (*sedimentary*) atau tipe I (*igneous*) dan seri *Ilmenite/Magnetite*. Tabel 2.6 menunjukkan distribusi seri *Ilmenite*/granit tipe S, seri *Ilmenite*/granit tipe I, dan seri *magnetite*/granit tipe I. Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa dua granit dari seri *Ilmenite* dan granit tipe S berasal dari pluton Penyabungan dan Singkarak, yang pada umumnya berkaitan dengan mineralisasi timah. Sedangkan untuk pluton granit yang ada di Pulau Bangka digolongkan sebagai seri *Ilmenite* dan tipe S, namun ada beberapa pluton yang digolongkan sebagai seri *Ilmenite* dan tipe I yaitu pluton Kelapa dan sebagian pluton Belinyu. Tabel 2.7 menunjukkan distribusi seri *Ilmenite*/granit tipe S, seri *Ilmenite*/granit tipe I, dan seri *magnetite*/granit tipe I yang ada di Pulau Bangka [25].

Tabel 2. 6 Klasifikasi granit Sumatera kedalam seri Ilmenite/Magnetite dan tipe I/S berdasarkan data yang berhubungan dengan deposit timah [25].

Granit Pluton	Nama Batuan	Seri		Tipe	
		Ilmenite	Magnetite	I	S
Tanjung Gadang	Granit biotite-hornblende	-	✓	✓	-
Lassi	Granit tonalite/foliated	-	✓	✓	-
Lolo	Granit tonalite	-	✓	✓	-
Muara Gadang	Granit	-	✓	✓	-
Sulit Air	Monzodiorit	-	✓	✓	-
Singkarak	Granit foliated-muscovite	✓	-	-	✓
Anai Pluton	Granit	✓	-	✓	-
Salibutan	Granit	✓	-	-	-
Matur	Granit	-	-	-	-
Sibolga	Granit	✓	-	✓	-
Penyabungan	Granit	✓	-	-	✓

Tabel 2. 7 Klasifikasi granit Pulau Bangka Sumatera berdasarkan seri Ilmenite/Magnetite dan tipe I/S [25]

Granit Pluton	Nama Batuan	Seri		Tipe	
		Ilmenite	Magnetite	I	S
Tanjung Raya	Granit megacryst	✓	-	-	-
Tanjung Layang	Granit biotit	✓	-	-	✓
Belinyu	Granit	✓	-	-	✓
Panangas	Granit	✓	-	-	✓
Bt. Bias	Granit	✓	-	-	✓
Tanjung Batu	Granit	✓	-	-	✓
Menumbing	Granit	✓	-	-	✓

Tempilang	Granit	✓	-	-	✓
Kelapa	Granit biotite-hornblende	✓	-	✓	-
Mangkol	Granit	✓	-	-	✓
Permisan	Granit biotit	✓	-	-	
Toboali	Granit biotite-hornblende	✓	-		-
	Granit	✓		-	✓
Kulur	Granit hornblende	✓	-	✓	-
	Gabbro	✓		✓	
Pading	Granit	✓	-	-	✓

2.5 Geologi Regional

Pulau bangka merupakan daerah yang terletak pada serangkaian jalur granit timah Asia Tenggara yang membentang dari daratan Burma, Thailand, semenanjung Malaya hingga Bangka-Belitung [2]. Granit jalur timah Asia Tenggara terbagi dalam tiga jalur yaitu granit jalur barat, granit jalur timur dan granit jalur utama [26]. Granit jalur barat membentang dari semenanjung Thailand ke Myanmar, sedangkan granit jalur utama dan granit jalur timur membentang dari bagian tengah Muangthai, pantai barat Malaysia, Kep. Singkep dan Kep. Bangka-Belitung. Secara geografis, jalur granit utama saling tumpang tindih dengan jalur granit timur [26] [27] [24].

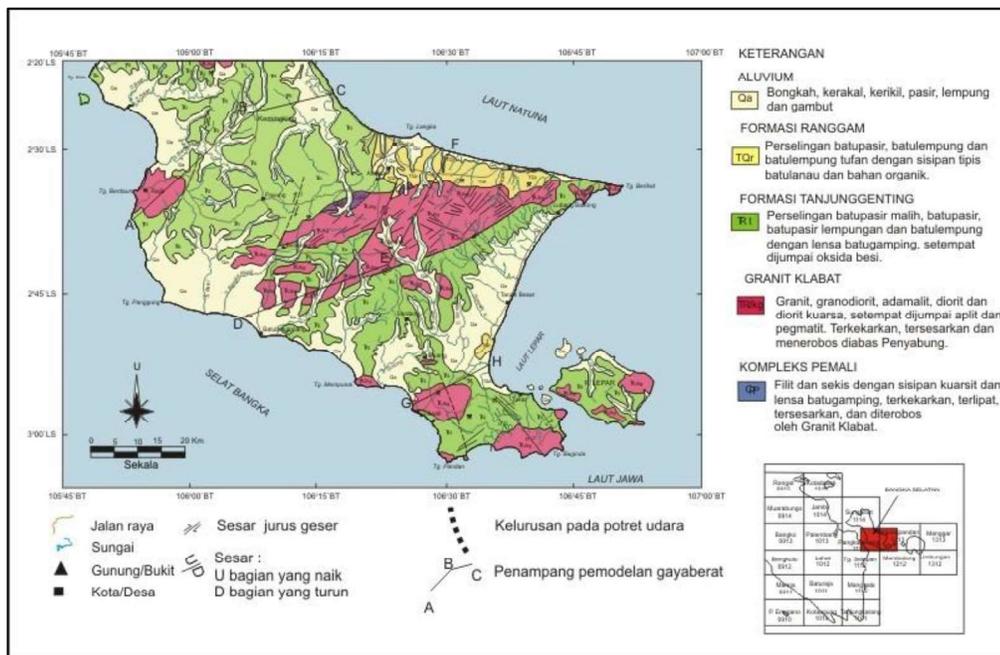
Pulau Bangka dan pulau-pulau disekitarnya termasuk kedalam Punggungan Bangka-Belitung (*Bangka-Biliton Ridge*) yang merupakan tinggian batuan dasar yang berada di sebelah timur Cekungan Sumatera Selatan dan disebelah utara Cekungan Sunda. Punggungan ini merupakan bagian dari jalur timah batuan granit (*Tin Belt Granite*) dari Paparan Sunda yang memanjang dari daratan Thailand, Semenanjung Malaysia, Kepulauan Riau, Bangka-Belitung hingga Kalimantan Barat [28].

Berdasarkan kerangka tektonik, Paparan Sunda dapat dibedakan menjadi 3 yaitu, Paparan Sunda bagian utara, *Platform Singapura* dan Paparan Sunda bagian selatan. *Platform Singapura* merupakan pemisah antara Paparan Sunda bagian utara dan Paparan Sunda bagian selatan [26]. Pulau-pulau di Paparan Sunda pada mulanya merupakan bagian yang menjulang tinggi diantara *Sunda Penepain*, daerah dengan elevasi rendah tergenang oleh air laut sehingga hanya tersisa daerah dengan elevasi tinggi yang berada diatas permukaan laut yang kemudian menjadi kepulauan. Kenaikan permukaan laut pada Zaman Kuartar mengakibatkan munculnya pulau-pulau kecil yang pada dasarnya masih berhubungan dengan pulau yang lebih besar, termasuk di dalamnya Pulau Bangka [29].

Pulau Bangka pada mula *Paleozoikum* berhubungan erat dengan tektonik yang membentuk Semenanjung Malaya dan umumnya *terrane* Asia Tenggara (*Sundaland*) yang berasal dari *Gondwana*. Blok-blok benua yang membentuk Paparan Sunda meliputi Blok Malaya Timur, Indo China, *Sibumasu*, *West Burma* dan Borneo dari batas timur *Gondwana* seiring dengan terbukanya *Paleo-Tethys* selama *Paleozoikum* hingga *Kenozoikum* yang menghasilkan tumbukan antara *Sibumasu* dan Malaya Timur-Indochina. Pulau Timah berada sepanjang Zona *Suture Bentong-Raub* utama yang membuat batas antara timur dan *Terranes* Malaya *Sibumasu*. *Suture Bentong-Raub* adalah salah satu sisa-sisa deformasi yang paling dikenal dari kompleks akresi yang membentang di sepanjang Semenanjung Melayu melalui pulau timah, terkait dengan subduksi dan penutupan *Paleo-Tethys*, diikuti oleh tabrakan benua selama Trias-Jura Awal. Di Semenanjung Melayu, yang disebut *Main* (utama) sabuk granit Asia Tenggara yang terdiri dari Granit tipe-S berumur Trias Akhir-Jurassic Awal. Sementara itu, di sisi timur dari *Suture Raub-Bentong*, didominasi oleh granit tipe-I yang usianya bervariasi dari Perm-Trias dan Kapur Atas [30].

Struktur geologi di Bangka Selatan berupa kelurusan, lipatan dan sesar seperti yang ditunjukkan ada Gambar 2.3 dibawah ini. Lipatan terjadi pada batuan berumur Perm dan Trias. Lipatan batuan meliputi Formasi Tanjung Genting dan Formasi Ranggung, mempunyai arah sumbu timur laut-barat daya dan kemiringan

besar antara $18^{\circ} - 75^{\circ}$, yang menunjukkan intensitas tektonik besar. Sebaran batuan plutonik mengikuti arah lipatan dan terletak pada inti antiklin, demikian juga bentuk lintasan garis pantai Bangka Selatan mengikuti arah struktur geologi, khususnya sumbu lipatan. Adapun kehadiran arah sumbu lipatan acak dimungkinkan hasil deformasi batuan yang lebih tua dari masa *Mesozoikum*. Struktur kekar dan patahan memiliki banyak orientasi. Arah umum utara-selatan, timur laut-barat daya dan tenggara-barat laut. Kekar dan patahan tersebut berkaitan erat terhadap perlipatan. Patahannya berupa patahan naik, geser dan patahan normal. Pola patahan mempunyai arah utara-selatan merupakan fase patahan paling muda. Patahan naik dan normal mempunyai arah relatif barat laut-tenggara, serta patahan mendatar dengan arah relatif utara-selatan memotong patahan lebih tua [31].

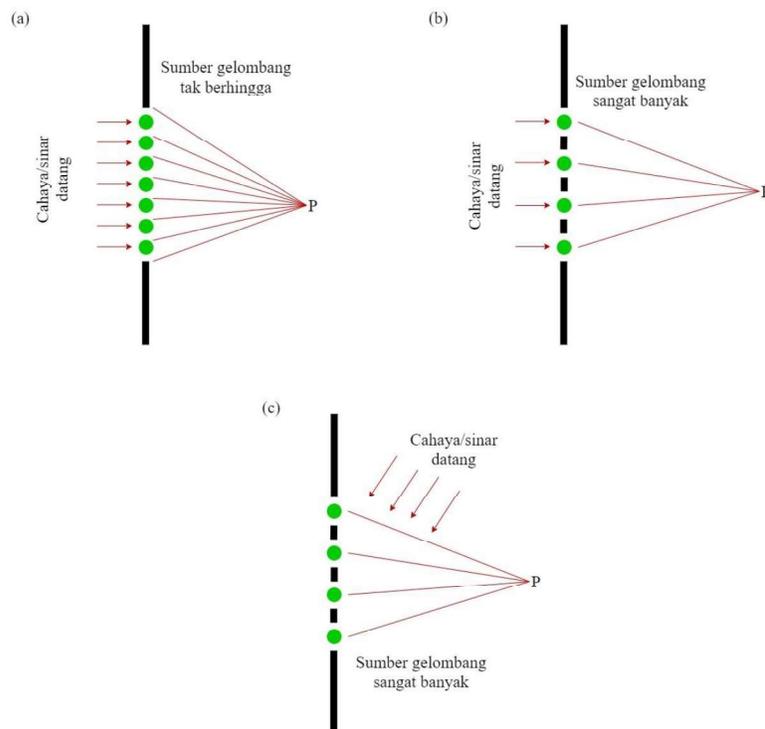


Gambar 2. 3 Peta geologi Bangka Selatan [31]

2.6 X-Ray Diffraction (XRD)

2.6.1 Difraksi sinar-X

Difraksi merupakan suatu peristiwa ketika gelombang cahaya melewati celah kecil dari penghalang yang tidak tembus cahaya, maka celah kecil tersebut bertindak sebagai sumber cahaya titik. Difraksi atau penghamburan cahaya biasanya terjadi saat cahaya melewati penghalang yang berupa celah sempit, hal tersebut merupakan salah satu karakteristik cahaya sebagai gelombang, karena sifat gelombang saat merambat dan mengenai penghalang, maka muka gelombang akan menjadi sumber cahaya titik baru [32]. Untuk lebih memahami tentang fenomena difraksi, dapat dilihat ilustrasi pada Gambar 2.4. Berdasarkan Prinsip *Huygens-Fresnel*, setiap titik dari muka gelombang akan bertindak sebagai sumber cahaya titik baru, karena cahaya dari satu celah dapat berinterferensi dengan celah lain, maka saat mengenai celah cahaya akan mengalami penghamburan [32] [33].



Gambar 2. 4 (a) Satu celah sempit berperan sebagai sumber gelombang tak terhingga (b) Kisi tembus berperan sebagai sumber gelombang dengan jumlah yang banyak (c) Kisi pantul berperan sebagai sumber gelombang dengan jumlah yang banyak (digambar ulang oleh penulis) [34]

X-Ray Diffraction atau difraksi sinar-X merupakan salah satu metode karakterisasi material yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Metode ini digunakan mengidentifikasi serta menentukan parameter, kisi dan struktur Kristal yang terbentuk serta untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam Kristal [3]. Penentuan struktur kristal suatu mineral yang dilakukan dengan metode difraksi sinar-X, akan diperoleh data koordinat atom dalam kristal yang mendasari sifat serta karakteristik mineral pada umumnya dan identifikasi dapat dilakukan dengan membandingkan pola difraksi sinar-X yang muncul [35]. Difraksi sinar-X oleh sebuah kristal tergantung pada struktur Kristal serta panjang gelombang. Apabila panjang gelombang lebih besar dari ukuran atom atau kristal maka tidak akan terjadi peristiwa difraksi karena sinar akan dipantulkan sedangkan jika panjang gelombang mendekati atau lebih kecil dari ukuran atom atau kristal maka akan terjadi proses difraksi. Saat berkas sinar-X yang ditembakkan pada suatu material kristalin maka sinar tersebut akan menghasilkan pola difraksi yang khas [36].

Sinar-X yang jatuh pada kristal akan didifraksikan, artinya sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling meniadakan atau melemahkan. Berkas yang terdifraksi tersebut dapat didefinisikan sebagai suatu berkas yang tersusun dari beberapa sinar yang terhambur dan saling memperkuat satu sama lain [37]. Berkas yang terdifraksi harus memenuhi Hukum Bragg, fenomena yang teramati oleh Hukum Bragg ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Hukum Bragg merupakan perumusan matematik mengenai proses difraksi yang terjadi sebagai hasil interaksi antara sinar-X yang dipantulkan oleh material. Pantulan tersebut terjadi tanpa mengalami kehilangan energi sehingga menghasilkan pantulan elastis atau *elastic scattering*. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom-atom didalam kristal akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin [38]. Berdasarkan Gambar 2.5 sinar datang pertama menumbuk titik Z, kemudian sinar tersebut di pantulkan, begitu juga dengan sinar datang kedua yang kedua menumbuk titik C, kemudian sinar di pantulkan dengan tambahan jarak $AC + CB$, tambahan jarak ini dapat dituliskan dengan persamaan [39] [40]:

$$n\lambda = AC + CB \quad (2.1)$$

$$\sin \theta = \frac{AC}{ZC} = \frac{AC}{d}$$

$$d \sin \theta = AC \quad (2.2)$$

Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa $AC = CB$, maka persamaan (2.1) menjadi :

$$n\lambda = AC + CB$$

$$n\lambda = 2AC \quad (2.3)$$

Kemudian persamaan (2.3) disubstitusikan ke persamaan (2.2) :

$$d \sin \theta = AC$$

$$d \sin \theta = \frac{1}{2}n\lambda$$

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.4)$$

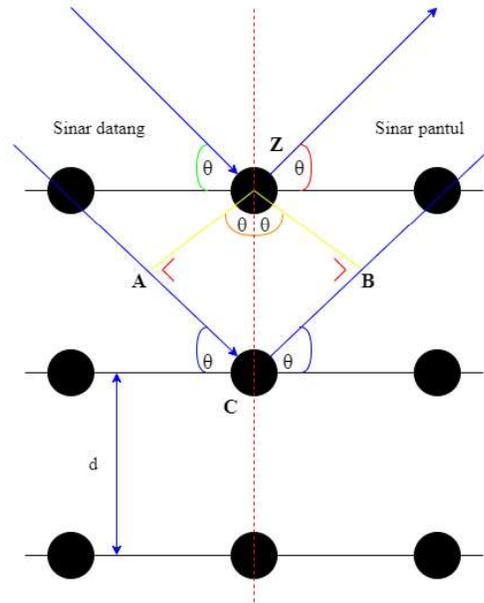
Persamaan (2.4) merupakan persamaan Hukum Bragg dengan:

λ = panjang gelombang (m)

d = jarak antar bidang atau celah (m)

n = bilangan bulat (1,2,3,...) yang menyatakan orde berkas dihambur

θ = sudut difraksi



Gambar 2. 5 Skema difraksi sinar-X (digambar ulang oleh penulis) [41]

2.6.2 Prinsip kerja *X-Ray Diffraction*

Sistem kerja difraktometer sinar-X didasarkan pada Hukum Bragg yang menjelaskan tentang pola, intensitas dan sudut difraksi (2θ) yang berbeda-beda pada tiap bahan. Interferensi berupa puncak-puncak sebagai hasil difraksi dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal [37]. Apabila sebuah gelombang sinar-X diarahkan pada material kristal, maka fenomena yang dapat diamati adalah difraksi sinar-X dengan sudut bervariasi bergantung pada gelombang pertama. Ketika sinar-X menumbuk atom, maka dua proses hamburan terjadi. Elektron-elektron yang terikat akan mengalami osilasi dan memancarkan sinar-X yang panjang gelombangnya sama dengan panjang gelombang datang. Elektron yang terikat tidak begitu kuat akan menghamburkan sebagian sinar-X yang datang dan akan menaikkan sedikit panjang gelombang sinar-X yang dihamburkan. Hamburan pertama disebut hamburan koheren dan yang kedua disebut inkoheren. Pada kristal, radiasi hamburan koheren dari semua atom akan saling menguatkan pada arah tertentu dan saling meniadakan pada semua arah yang lain dan menghasilkan sinar difraksi [38].

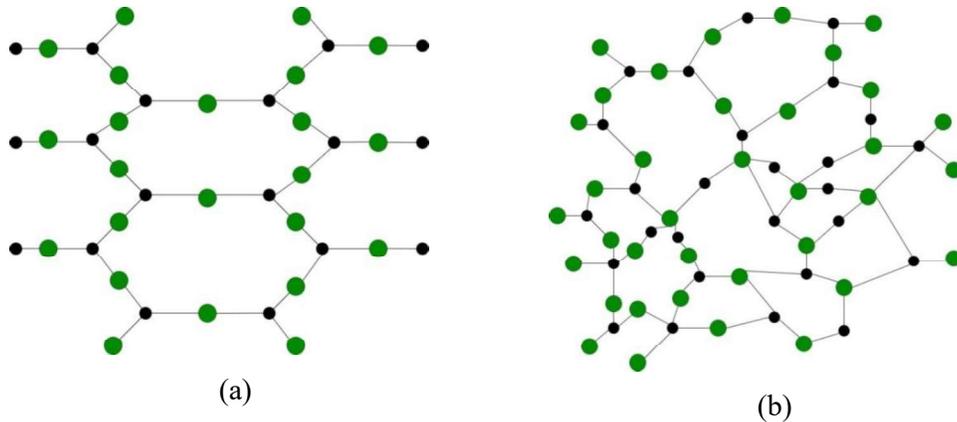
Secara umum, pola difraksi mengandung informasi tentang simetri susunan atom, penentuan struktur bahan kristal amorf, orientasi kristal serta pengukuran berbagai sifat bahan [42]. Prinsip analisis XRD didasarkan pada atom-atom dalam suatu struktur bahan yang terdifraksi pada panjang gelombang tertentu pada sudut 2θ . Identifikasi struktur kandungan yang ada pada sampel secara umum dilakukan dengan menggunakan standar melalui data base *Joint Commite on Powder Diffraction Standar* (JCPDS), dan *International Centre for Diffraction Data* (ICPDF). Analisis kualitatif didasarkan pada intensitas dari sampel dibandingkan atau dicocokkan menggunakan data base yang ada.

2.7 Struktur Kristal

2.7.1 Kristal

Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur dalam tiga dimensi. Ditinjau dari struktur atom penyusunnya, bahan padat dapat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan amorf. Pada kristal tunggal, atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga [43].

Polikristal dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat. Struktur amorf memiliki pola hampir sama dengan kristal, akan tetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur dengan jangka yang pendek. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak tepat menempati lokasi kisinya. Susunan dua-dimensional semetris dari dua jenis atom yang berbeda antara kristal dan amorf ditunjukkan pada Gambar 2.6 dibawah ini [3].

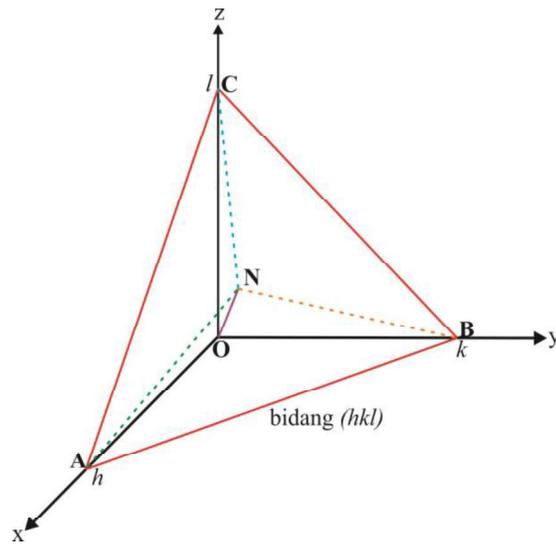


Gambar 2. 6 (a) Struktur Kristal mempunyai pola yang teratur (b) Struktur amorf mempunyai pola yang tidak teratur (digambar ulang oleh penulis) [3]

2.7.2 Kisi ruang bravais dan susunan atom pada kristal

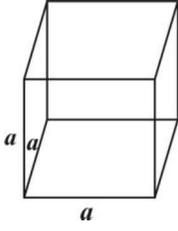
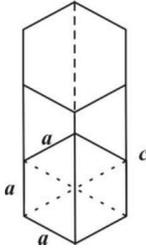
Kisi ruang kristal (*space lattice*) didefinisikan sebagai susunan titik-titik dalam ruang tiga dimensi dimana setiap titik dalam ruang tiga dimensi yang memiliki lingkungan yang identik antara satu dengan lainnya. Titik dengan lingkungan yang identik disebut simpul kisi (*lattice points*). Simpul kisi hanya dapat disusun dalam 14 susunan yang berbeda, yang disebut kisi-kisi bravais. Setiap simpul kisi dapat ditempati oleh lebih dari satu atom, dan atom yang menempati tiap-tiap simpul kisi harus identik.

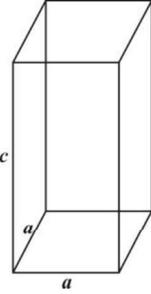
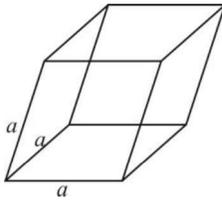
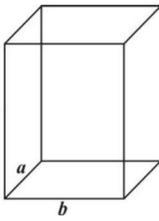
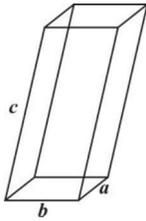
Karena kristal yang sempurna merupakan susunan atom secara teratur dalam kisi ruang, maka susunan tersebut dapat dinyatakan sebagai posisi atom dalam suatu kesatuan yang berulang. Kesatuan yang berulang didalam kisi ruang disebut sel unit (*unit cell*). Pada suatu sel satuan terdapat tiga buah sumbu yang merupakan sumbu kristal teratur yang berhubungan dengan atom atau ion yang sama [3]. Sumbu-sumbu a, b dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi seperti Gambar 2.7. Gambar tersebut memperlihatkan sumbu dan sudut antar sumbu kristal. Untuk α, β , dan γ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal. Variasi sudut aksial dan variasi ukuran relative dari dimensi a, b dan c akan menghasilkan sistem kristal yang tercantum pada Tabel 2.8. dibawah ini [43].

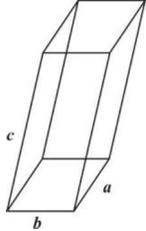


Gambar 2. 7 Perpotongan bidang dan sumbu antar sumbu kristal (digambar ulang oleh penulis) [3]

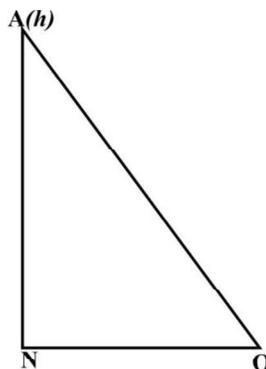
Tabel 2. 8 Sistem kristal [43]

No.	Sistem Kristal	Parameter Kristal	Geometri Sel Satuan
1.	Kubus	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
2.	Hexagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$	

3.	Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
4.	Trigonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
5.	Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
6.	Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	

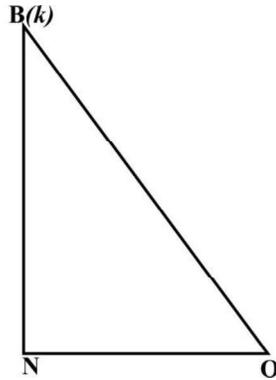
7.	Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	
----	-----------	--	---

Bidang kristal merupakan bidang yang terbentuk dari susunan atom yang berulang dalam sebuah sistem kristal. Jarak yang terdapat antara bidang yang saling berdekatan disebut dengan jarak antar bidang atau *spacing* (d). Jarak antar bidang merupakan hal yang penting untuk diketahui ketika melakukan analisa struktur kristal, diantaranya untuk mengetahui dimensi atau ukuran kristal yang terbentuk. Cara yang dapat dilakukan untuk menghitung besarnya jarak antar bidang (d -spacing) dengan menentukan nilai “*Index Miller*”, nilai yang diperoleh dari hasil indeksing tersebut digunakan dalam rumus masing-masing sistem kristal [38]. Disemua sistem kristal kecuali sistem kristal hexagonal, bidang kristalografi ditentukan menggunakan *indeks miller* yaitu hkl . Setiap dua bidang yang sejajar akan memiliki kesamaan dan indeks miller yang identik [41]. Sehingga sudut-sudut berkas dari bidang kristal (hkl) dapat dihitung dari Gambar 2.7, karena $ON \perp ABC(hkl)$ sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut [44] :



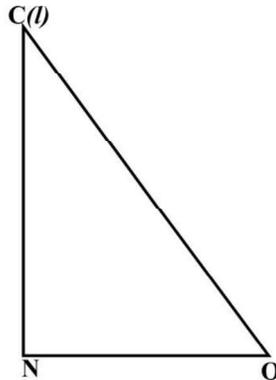
Gambar 2. 8 Titik potong di titik A (digambar ulang oleh penulis) [45]

$$\cos \theta_1 = \frac{d_{hkl}}{\frac{a}{h}} = \frac{h}{a} d_{hkl} \quad (2.5)$$



Gambar 2. 9 Titik potong di titik B (digambar ulang oleh penulis) [45]

$$\cos \theta_2 = \frac{d_{hkl}}{\frac{b}{k}} = \frac{k}{b} d_{hkl} \quad (2.6)$$



Gambar 2. 10 Titik potong di titik C (digambar ulang oleh penulis) [45]

$$\cos \theta_3 = \frac{d_{hkl}}{\frac{c}{l}} = \frac{l}{c} d_{hkl} \quad (2.7)$$

Aturan cosinus

$$\cos^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_2 + \cos^2 \theta_3 = 1 \quad (2.8)$$

Substitusikan persamaan (2.5),(2.6),(2.7) ke persamaan (2.8) :

$$\left(\frac{h}{a} d_{hkl}\right)^2 + \left(\frac{k}{b} d_{hkl}\right)^2 + \left(\frac{l}{c} d_{hkl}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2 = \frac{1}{d_{hkl}^2}$$

$$d_{hkl}^2 = \frac{1}{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 merupakan persamaan jarak antar bidang dengan :

d_{hkl} = jarak antar bidang kristal

hkl = bidang kristal

abc = parameter kisi

2.8 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang telah dilakukan di Geopark Merangin Provinsi Jambi terdapat keragaman geologi (*Geodiversity*) berbagai batuan alam, salah satunya batu granit. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi mineral pada batuan di Geopark Merangin. Pengambilan sampel batuan dilakukan pada tiga titik koordinat berbeda yang teridentifikasi sebagai batu granit. Tabel 2.9 menunjukkan hasil pengolahan data mineral batuan di tiga lokasi sampel Geopark Merangin Provinsi Jambi menggunakan aplikasi HighScore Plus [46].

Tabel 2. 9 Data mineral sampel batuan Geopark Merangin [46]

Batuan	Jeram Ladeh Desa Air Batu Geopark Merangin		
Mineral	Oligoclase	Hornblende	Bytownite
Formula	$Na_{1,64}Ca_{0,36}Al_2$ $_{36}Si_5,64O_{16},00$	$Si_{14,56}Al_{2,00}Mg_6,$ $_{98}Fe_2,66Ti_0,12Ca_3,$ $_{32}Na_1,25Mn_{0,04}K_0,$ $_{03}H_4,00O_{47},60F_{0,40}$	$Ca_{3,44}Na_{0,56}Al_7,$ $_{36}Si_8,64O_{32},00$
Sistem Kristal	Triklinik	Monoklinik	Trilinic

Parameter Kisi	$a[\text{Å}] = 7,13$ $b[\text{Å}] = 7,47$ $c[\text{Å}] = 7,68$ $\alpha = 115^\circ$ $\beta = 107^\circ$ $\gamma = 100^\circ$	$a[\text{Å}] = 9,86$ $b[\text{Å}] = 18,06$ $c[\text{Å}] = 5,32$ $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 104,92^\circ$ $\gamma = 90^\circ$	$a[\text{Å}] = 8,156$ $b[\text{Å}] = 8,80$ $c[\text{Å}] = 9,50$ $\alpha = 89,93^\circ$ $\beta = 83,39^\circ$ $\gamma = 84,1^\circ$	
Batuan	Teluk Gadang Desa Air Batu Geopark Merangin			
Mineral	Anorthoclase	Kuarsa	Muscovite	
Formula	$Al_{2,00}Si_{6,00}Na_{1,70}K_{0,30}O$	$Si_{6,00}O_{6,00}$	$K_{3,00}Al_{9,00}Si_{9,00}O_{36,00}$	
Sistem Kristal	Triklinik	Trigonal (hexagonal axis)	Trigonal (hexagonal axis)	
Parameter Kisi	$a[\text{Å}] = 7,132$ $b[\text{Å}] = 7,662$ $c[\text{Å}] = 7,532$ $\alpha = 115^\circ$ $\beta = 100^\circ$ $\gamma = 107^\circ$	$a[\text{Å}] = 4,911$ $b[\text{Å}] = 4,911$ $c[\text{Å}] = 5,403$ $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a[\text{Å}] = 5,206$ $b[\text{Å}] = 5,206$ $c[\text{Å}] = 30,03$ $\alpha = 90^\circ$ $\beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	
Batuan	Pinkish Dusun Baru Desa Air Batu Geopark Merangin			
Mineral	Anorthoclase	Kuarsa	Microlite	Sanidine
Formula	$Al_{2,00}Si_{6,00}K_{0,30}O_{16,00}$	$Si_{6,00}O_{6,00}$	$K_{1,90}Na_{0,10}Al_{2,00}Si_{6,00}O_1$	$K_{4,00}Al_{4,00}Si_{12,00}O_{32,00}$
Sistem Kristal	Triklinik	Trigonal (hexagonal axis)	Triklinik	monoklinik

Parameter Kisi	$a[\text{Å}] = 7,11$	$a[\text{Å}] = 4,911$	$a[\text{Å}] = 7,21$	$a[\text{Å}] = 8,56$
	$b[\text{Å}] = 7,72$	$b[\text{Å}] = 4,911$	$b[\text{Å}] = 7,67$	$b[\text{Å}] = 12,9$
	$c[\text{Å}] = 7,70$	$c[\text{Å}] = 5,403$	$c[\text{Å}] = 7,87$	$c[\text{Å}] = 7,21$
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 112^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
	$\beta = 115^\circ$	$\beta = 90^\circ$	$\beta = 104^\circ$	$\beta = 115,92^\circ$
	$\gamma = 90^\circ$	$\gamma = 120^\circ$	$\gamma = 103^\circ$	$\gamma = 900^\circ$

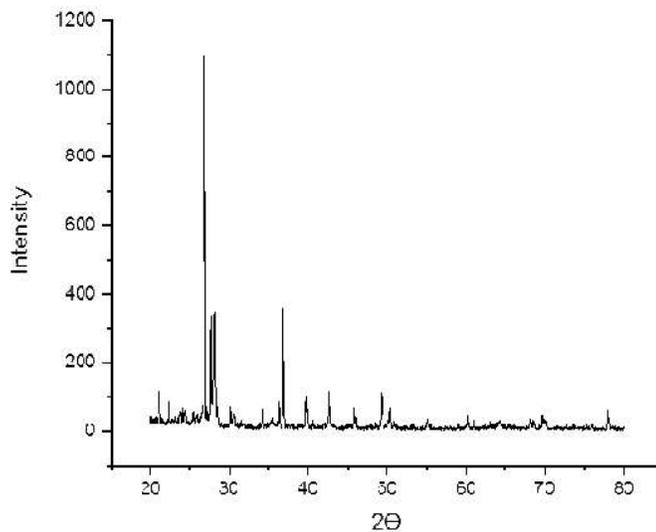
Kemudian penelitian mengenai granit yang dilakukan di daerah Tanjung Binga, Kecamatan Sijuk, Kabupaten Belitung. Daerah tersebut tersusun atas batu granit yang merupakan pluton terbesar di Pulau Belitung. Penelitian ini dilakukan dengan analisis megaskopis dan mikroskopis. Secara megaskopis batuan terdiri dari satu jenis batuan yaitu granitik. Secara mikroskopis daerah penelitian terdiri atas 4 jenis batuan yaitu monzogranit, sienogranit, sienit, dan sienit kuarsa. Tabel 2.10 merupakan hasil analisis secara megaskopis dan mikroskopis sampel batuan yang ada pada daerah Tanjung Binga, Kecamatan Sijuk, Kabupaten Belitung [47].

Tabel 2. 10 Hasil analisis petrografi sampel batuan di Tanjung Binga [47].

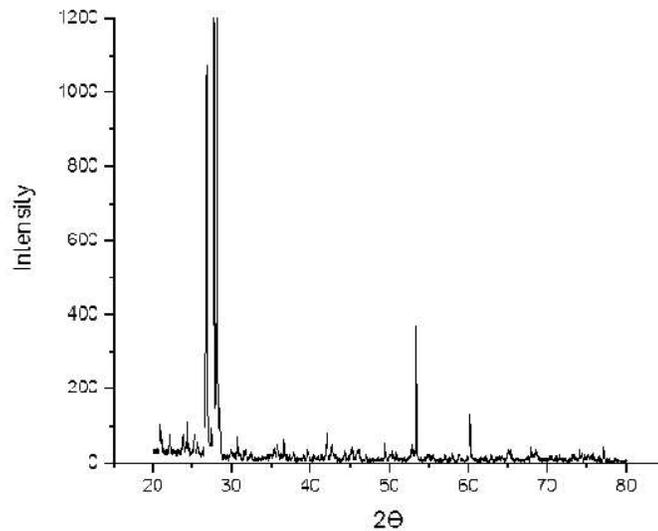
Sampel	TEKSTUR			Komposisi Mineral Utama (%)					Kandungan mineral aksesori	Nama Batuan (Streckeisen, 1976)
	Kasar- sangat kasar	Sedang- kasar	Granulitas	Q	A	P	B	Px		
HN12	✓		Fanerik	20	65	10	5	0	Zirkon	Sienogranit
HN3		✓	Fanerik	35	50	12	3	0	Zirkon	Sienogranit
HN1	✓		Fanerik	10	72	15	3	0	Zirkon	Sienit kuarsa
HN5		✓	Fanerik	25	47	15	13	0	Apatit	Sienogranit
HN2	✓		Fanerik	3	74	8	15	0	zirkon apatit	Sienit
3STIA		✓	Fanerik	30	35	34	1	0	-	Monzogranit
10ST2	✓		Fanerik	25	48	25	2	0	Apatit	Monzogranit
3ST8		✓	Fanerik	25	45	27	3	0	-	Monzogranit
3ST11			Fanerik	20	60	10	10	0	-	Sienogranit

3ST17			Fanerik	25	35	25	15	0	sfen apatit	Monzogranit
5ST5			Fanerik	3	52	15	30	5	sfen apatit	Sienit kuarsa
CH3			Fanerik	7	55	15	23	2	-	Sienit kuarsa

Berdasarkan penelitian mengenai granit yang dilakukan dengan mengambil sampel granit di Aceh Selatan. fase mineral yang muncul dari sampel batu granit yang diambil dari dua lokasi yang berbeda yaitu Desa Lhok Pawoh dan Desa Ujung Karang memiliki kesamaan dalam fase mineral yaitu mineral Kuarsa (SiO_2) dan Aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai fase minor. Namun jika diamati, sampel batuan memiliki perbedaan yang sangat signifikan, yaitu pada sampel Desa Lhok Pawoh memiliki warna kuning dan putih, sedangkan sampel Desa Ujung Karang memiliki warna abu-abu dan putih. Pola difraksi sampel batu granit Desa Lhok Pawoh ditunjukkan oleh gambar 2.9, sedangkan pola difraksi sampel batu granit Desa Ujung Karang ditunjukkan oleh gambar 2.10 [48].



Gambar 2. 11 Pola difraksi sampel batuan Desa Lhok Pawoh [48]

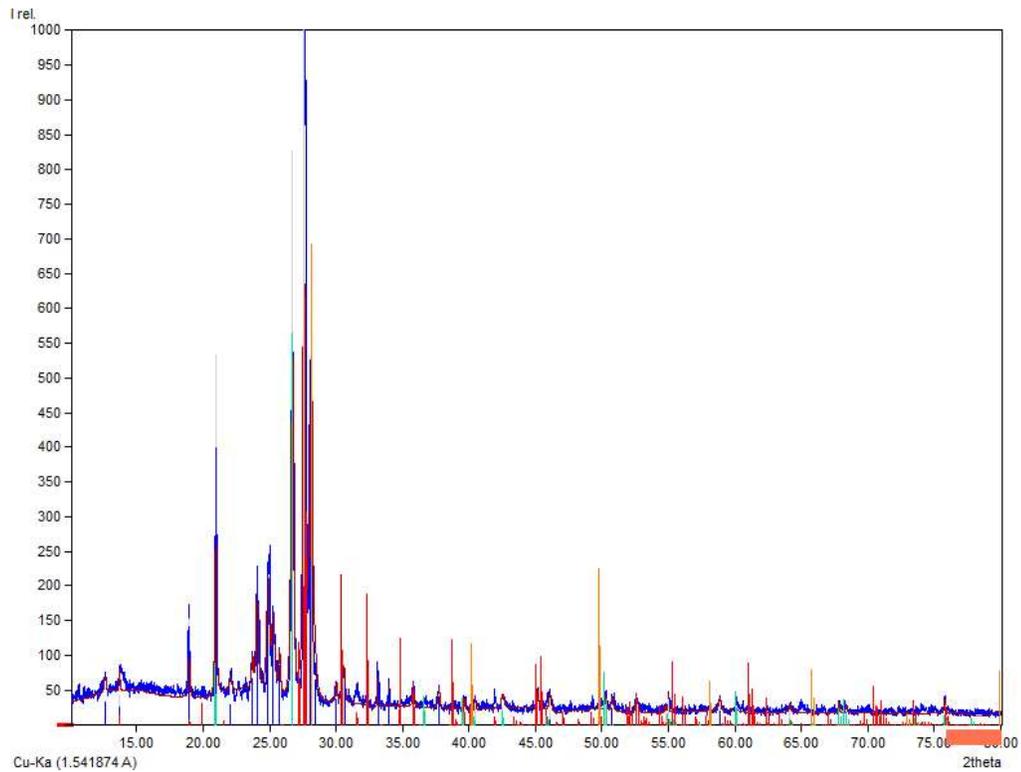


Gambar 2. 12 Pola difraksi sampel batuan Desa Ujung Karang [48]

Selain itu penelitian granit di Aceh selatan juga dilakukan di Desa Kuta Blang dan Desa Lubuk Layu, Kabupaten Aceh Selatan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi fase mineral mineral pada batu granit menggunakan XRD sebagai metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral dengan melihat pola difraksi yang dilakukan. Dari hasil analisis XRD sampel batu granit Desa Kuta Blang diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.11, sedangkan pola difraksi ditunjukkan pada Gambar 2.11 Selain itu, dari hasil analisis XRD sampel batu granit Lubuk Layu diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.12, sedangkan pola difraksi ditunjukkan pada Gambar 2.12. Dari data yang diperoleh kedua sampel batu granit menunjukkan ada satu fase mineral yang sama yaitu O_2Si [49].

Tabel 2. 11 Data XRD sampel batu granit di Desa Kuta Blang [49]

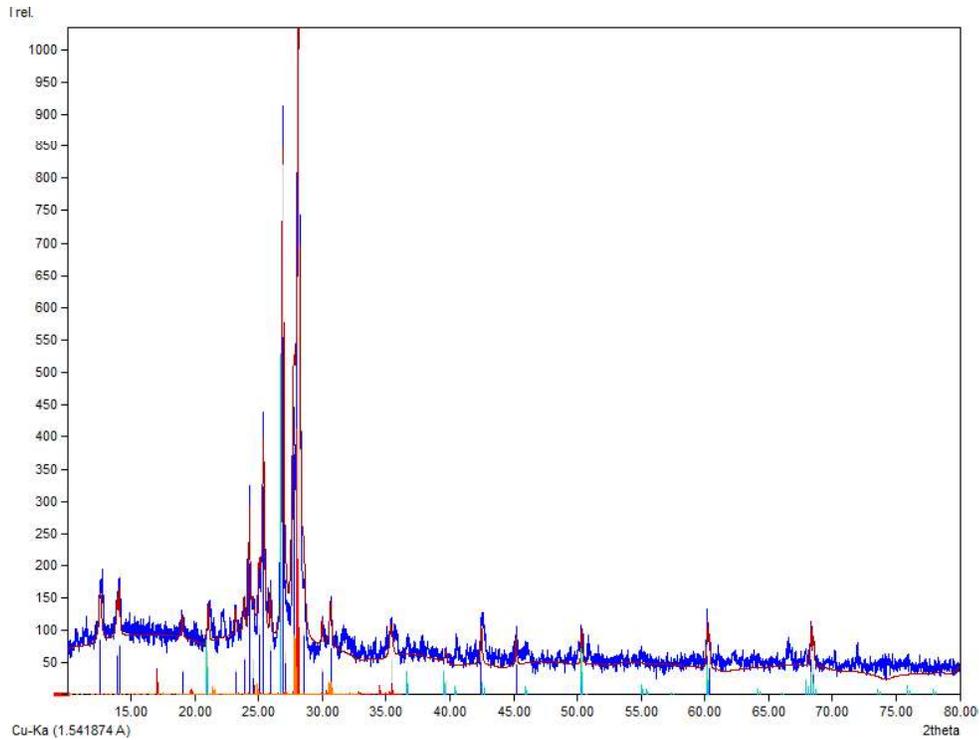
No	Sudut Difraksi (2θ)	Jarak antar Bidang (d)	Nilai Intensitas (I)	Fase Mineral
1	27.5829°	3.23128 Å	100	$C_{16}Al_3Si_2O_{36}$
2	26.6527°	3.34191 Å	58	O_2Si
3	28.0100°	3.18297 Å	38	$F_{15}Mo_5O_{15}Rb_{15}$



Gambar 2. 13 Pola difraksi sampel batu granit Desa Kuta Blang [49]

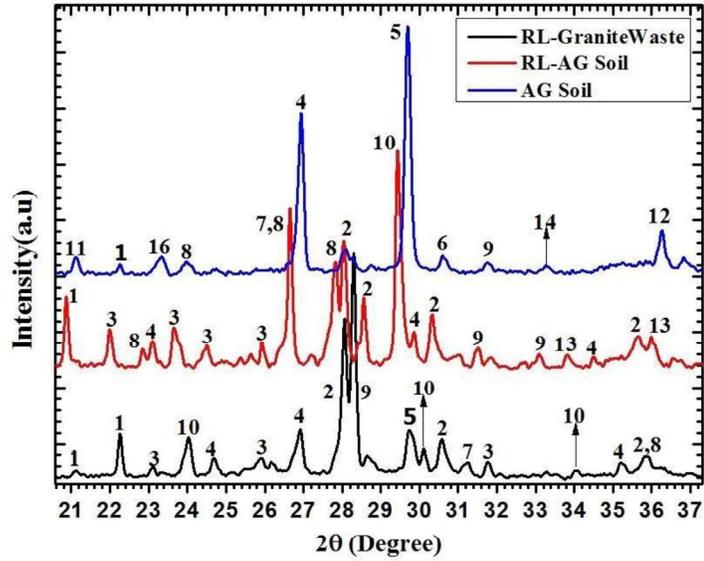
Tabel 2. 12 Data XRD sampel batu granit di Desa Lubuk Layu [49]

No	Sudut Difraksi (2θ)	Jarak antar Bidang (d)	Nilai Intensitas (I)	Fase Mineral
1	28.1360°	3.16900 Å	100	O ₂ Si
2	26.8818°	3.31394 Å	79	F15Mo5O15Rb15
3	27.7400°	3.21334 Å	38	La ₂ Mo ₂ O ₉

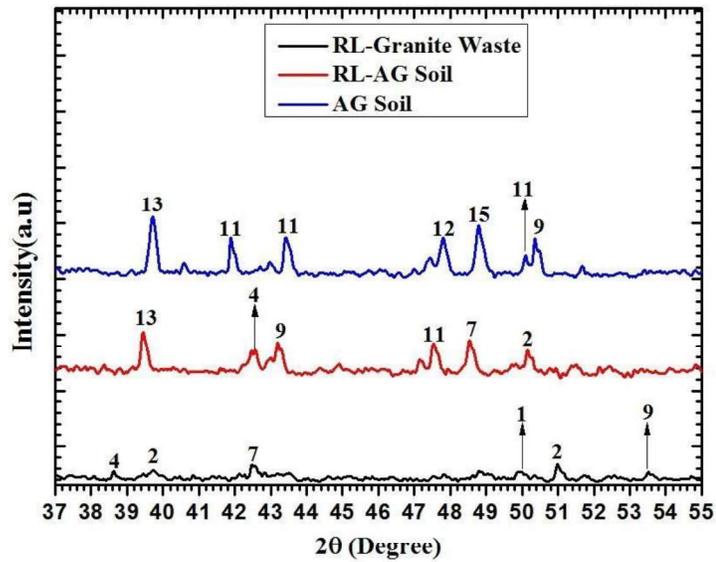


Gambar 2. 14 Pola difraksi sampel batu granit Desa Lubuk Layu [49]

Selanjutnya penelitian mengenai granit dilakukan di India, lokasi pengambilan sampel berada di industri pertambangan granit yang terletak di Desa Rajupalem-Lakshmipuram, India. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki mineral utama yang ada pada limbah granit serta tanah pertanian di sekitar lokasi pertambangan, menggunakan metode analisis *X-Ray Diffraction* (XRD). Dalam penelitian ini, Gambar 2.13 menunjukkan analisis pola XRD dari limbah granit dan tanah pertanian di sekitar area pertambangan granit (rentang 2θ dari 200 sampai 370) dan Gambar 2.14 menunjukkan analisis pola XRD dari limbah granit dan tanah pertanian di sekitar area pertambangan granit (rentang 2θ dari 370 sampai 550). Angka pada Gambar pola XRD menunjukkan senyawa mineral yang sesuai, serta dijelaskan pada Tabel 2.13. Dari analisis pola XRD, menunjukkan keberadaan mineral utama adalah *Kuarsa*, *Albit*, *Anorthit*, *K-Feldspar*, *Muscovite*, *Annite*, *Lepidolite*, *Illite*, *Enstatite* dan *Ferrosilite* pada limbah granit. Namun pada tanah pertanian di sekitar industri pertambangan, mineral yang teridentifikasi sebagai *Gypsum*, *Calcite*, *Magnetite*, *Hematite*, *Muscovite*, *K-Feldspar* dan *Kuarsa* [50].



Gambar 2. 15 Pola difraksi dari limbah granit dan tanah pertanian di sekitar area pertambangan granit (rentang 2θ dari 200 sampai 370) [50]



Gambar 2. 16 Pola difraksi dari limbah granit dan tanah di sekitar area pertambangan granit (rentang 2θ dari 370 sampai 550) [50]

Tabel 2. 13 Daftar senyawa mineral yang teridentifikasi pada sampel limbah granit dan tanah pertanian di sekitar industri pertambangan menggunakan analisis pola XRD [50]

Pattern No.	Mineral Name	Chemical Formula	JCPDS Card No.	Soil Type
1	Kuarsa	SiO_2	83-0539	Granite Waste/ AG Soil
2	Albite	$\text{Na Al Si}_3\text{O}_8$	10-0393	Granite Waste
3	Anorthite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	89-1461 /89-1462 /89-1470 /89-1471 /85-1472	Granite Waste
4	K-Feldspars	KAlSi_3O_8	19-0931	Granite Waste/ AG Soil
5	Muscovite	$\text{K Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al}_{10} (\text{OH})_2$	07-0032/ 06-0263	Granite Waste/AG Soil
6	Annite	$\text{K (Fe, Mg)}_3 \text{ AlSi}_3 \text{ O}_{10} (\text{OH})_2$	02-0045	Granite Waste/ AG Soil
7	Lepidolite	$\text{K Li}_2 \text{ Al (Al, Si)}_3 \text{ O}_{10} (\text{F, OH})_2$	85-0389 /38-0425	Granite Waste
8	Illite	$(\text{K}_2\text{H}_3\text{O}) \text{ Al}_2 \text{ Si}_3 \text{ Al O}_{10} (\text{OH})_2$	26-0911	Granite Waste
9	Enstatite	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	86-0430	Granite Waste/ AG Soil
10	Ferrosilite	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	76-0891/ 76-0889	Granite Waste
11	Magnetite	Fe_3O_4	89-6466	AG Soil
12	Calcite	CaCO_3	87-1863/ 03-0513	AG Soil
13	Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$	76-1746	AG Soil
14	Hematite	Fe_2O_3	89-8104	AG Soil
15	Copper oxide	Cu_2O	78-2076	AG Soil
16	Clintonite	$\text{Ca(Mg, Fe, Al)}_3(\text{Al, Si})_4 \text{ O}_{10}$	20-0321	Granite Waste

		(OH) ₂		/AG Soil
--	--	-------------------	--	----------

Penelitian mengenai granit yang dilakukan di Swedia, bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur tinggi pada massa batuan, Tabel 2.14 menunjukkan hasil uji mekanik untuk jenis batuan yang telah diberi perlakuan panas pada temperatur yang berbeda. Komposisi mineral pada batuan yang telah mengalami perlakuan panas pada temperatur yang berbeda yaitu 400°C, 750°C dan 1100°C ditampilkan pada Tabel 2.15. Pada uji tekan, saat diberi temperatur 400°C diperoleh peningkatan kekuatan tekan pada sampel batuan. Saat temperatur 750°C kekuatan tekan pada sampel batuan menurun. Saat temperatur 1100°C kekuatan tekan dari sampel batuan menurun secara signifikan. Walaupun kekuatan tekan sampel batuan menunjukkan peningkatan pada temperatur 400°C, modulus batuan menurun pada temperatur ini dan terus menurun pada temperatur 750°C dan 1100°C yang menunjukkan penurunan kekuatan dengan meningkatnya temperatur. Peningkatan kekuatan tekan pada temperatur 400°C menunjukkan adanya perubahan fasa mineral. Saat pada temperatur 750°C dan 1100°C menunjukkan perubahan fasa berhenti dipengaruhi oleh intensitas retakan secara mikro. Dengan demikian, perubahan fasa mineral muncul pada temperatur 400°C, sedangkan pada temperatur 750°C dan 1100°C intensitas retakan karena dehidrasi dan hilangnya air yang terikat pada kristal menjadi penyebab menurunnya kekuatan. Kekuatan tarik pada sampel batu granit berkurang dengan meningkatnya temperatur. Namun, kekuatan tarik pada batu sekis meningkat pada temperatur 400°C, saat temperatur 750°C dan 1100°C kekuatan tarik kembali turun. Pada penelitian ini, perubahan fasa mineral mempengaruhi perilaku mekanis batuan pada penelitian ini, dengan meningkatnya temperatur intensitas retakan dari mineral yang terkandung dalam sampel, mempengaruhi perilaku mekanis dengan mengurangi tingkat kekuatan pada batuan [51].

Tabel 2. 14 Rata-rata kekuatan tekan uniaksial (UCS), kekuatan tarik dan Young modulus dari sampel batuan yang uji [51]

Sifat mekanis batuan pada tingkat temperatur yang berbeda					
	Uji Mekanik	Tidak dipanaskan	400°C	750°C	1100°C
Granit	Kekuatan tekan (MPa)	231	246	123	14
	Young's modulus (GPa)	65	62	27	2
	Kekuatan tarik (MPa)	17	13	3	1
Sekis	Kekuatan tekan (MPa)	254	297	229	74
	Young's modulus (GPa)	63	67	34	10
	Kekuatan tarik (MPa)	30,1	32,7	23,1	6,6

Tabel 2. 15 Komposisi mineral batuan pada temperatur perlakuan panas yang berbeda [51]

Mineral		Komposisi Mineral (vol %)			
		Tidak dipanaskan	400°C	750°C	1100°C
Granit	Feldspar	59,4	58,5	58,6	57,9
	Kuarsa	31,9	32,7	32,4	32,4
	Mica	7,2	4,6	-	-
	Fasa Lainnya	1,4	4,2	9,0	9,7
Sekis	Kuarsa	57	56,4	55,7	54,7
	Feldspar	6,1	-	-	-
	Mica+fasalainnya	36,9	43,6	44,3	45,3

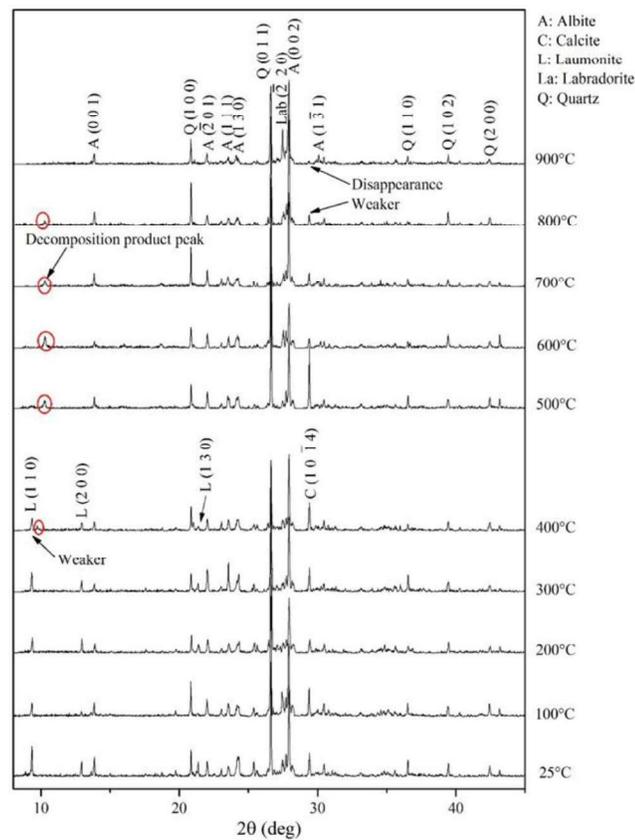
Penelitian mengenai batuan yang dilakukan di China, bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap struktur batuan. Gambar 2.17 menunjukkan komposisi mineral dari batu pasir, dari gambar tersebut pengaruh temperatur pada mineral dapat dieksplorasi dengan mengamati perubahan parameter kisi dan reaksi mineral. Berdasarkan hilangnya puncak dalam pola XRD, terdapat dua reaksi yang terjadi yaitu :

- 1) Calcite

Puncak permukaan kristal yang signifikan (1 0 1 4) menghilang pada temperatur 900°C. Calcite akan bereaksi pada temperatur 700°C dan 800°C, namun puncak kristal (1 0 1 4) melemah pada temperatur 800°C dan menghilang pada temperatur 900°C.

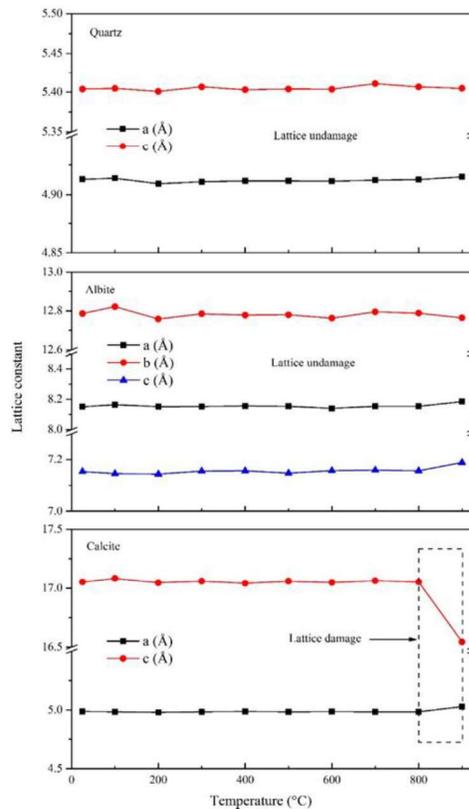
2) Laumonite

Tiga puncak permukaan kristal yang terlihat yaitu (1 1 0), (2 0 0) dan (1 3 0) menghilang pada temperatur 500°C. Laumonite akan bereaksi pada kisaran temperatur 360°C-370°C, namun ketiga puncak melemah pada temperatur 400°C. Dapat dilihat bahwa puncak tipikal muncul pada temperatur 400°C sekitar 10,3° karena produk dekomposisi. Saat temperatur meningkat intensitas puncak cenderung menunjukkan peningkatan dari temperatur 400°C-600°C dan kemudian terjadi penurunan dari temperatur 600°C-800°C dan menghilang pada temperatur 900°C.



Gambar 2. 17 Pola difraksi sinar-X dengan temperatur pemanasan yang berbeda dari 25°C hingga 900°C [52]

Parameter kisi akan mengalami perubahan setelah dekomposisi mineral, biasanya konstanta kisi terdiri dari indeks $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ merupakan parameter yang digunakan untuk analisis jarak dan sudut diantara semua atom dalam mineral. Perubahan terperinci dari a, b, c ditampilkan pada gambar 2.18. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa perubahan temperatur menyebabkan perubahan pada konstanta kisi. Konstanta kisi *kuarsa* dan *albite* tetap pada tingkat yang sama namun dengan temperatur yang berbeda. Sedangkan konstanta kisi *calcite* mengalami penurunan dengan kisaran temperatur 800°C-900°C, hal ini disebabkan karena dekomposisi *calcite* menghancurkan struktur kristal dan mengakibatkan penurunan drastis parameter a . Dari penjabaran diatas, dapat disimpulkan bahwa perubahan struktur kristal disebabkan oleh temperatur yang tinggi sehingga konstanta kisi berubah dan terjadi penurunan yang signifikan saat peristiwa dekomposisi mineral terjadi [52].



Gambar 2. 18 Perubahan konstanta kisi kuarsa, albite dan calcite dari temperatur 25°C-900°C [52]