

TERMODINAMIKA PADA PROSES PEMBENTUKAN BATUAN PERMATA (IDOKRAS) ACEH

Dona Mustika⁽¹⁾, Lilik Hendrajaya⁽²⁾

(1) Universitas Samudra

Jln. Kampus Meurandeh No. 1, Kecamatan Langsa Lama, Kota Langsa, Propinsi Aceh

(2) Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat

Korespondensi: dona.phys@unsam.ac.id

Abstract

Physics is a science based on natural contexts so that all natural events can basically be explained in physics. The process of forming precious or semi-precious stones begins with the activity of the magma kitchen and the process is a series of thermodynamic processes. In this case, the laws of thermodynamics have been analyzed in the process of forming semi-noble stones with samples of Acehnese idocrase stones. Analysis was carried out through literature studies. The results of the analysis are in the formulation of the formulation of the laws of thermodynamics and the form of a simple phase diagram for the Aceh Idocrase stone.

Keywords: Thermodynamics, Gemstone, Aceh Idocrase

A. PENDAHULUAN

Fisika adalah ilmu pengetahuan yang tidak dapat terlepas dari konteks alam sehingga seluruh peristiwa alam pada dasarnya dapat dijelaskan secara Fisika. Demikian juga halnya dengan proses pembentukan Batu Permata. Peninjauan proses pembentukan Batu permata diperlukan sebagai salah satu jembatan untuk memahami konsep Termodinamika.

Makalah ini akan meninjau bagaimana batu permata kelas semi-mulia (Idocrase) dapat terbentuk di Aceh dan meninjau proses pembentukannya secara Termodinamika. Selain itu, makalah ini juga dapat dijadikan sebagai salah satu penerapan pembelajaran fisika kontekstual yang diawali dengan pengumpulan data-data sumberdaya alam dan struktur tektonik suatu daerah, mengkaji proses-proses terbentuknya sumber daya alam, dan identifikasi ke dalam topik fisika (Mustika, 2015).

B. METODE PENELITIAN

Bahasan yang akan dijabarkan dalam proyek akhir ini adalah terkait dengan proses pembentukan mineral dengan sampel idokras dan emas serta pembahasan fisiknya. Selain

itu juga dibahas bagaimana kondisi geologi regional Aceh yang memungkinkan untuk terbentuknya mineral idokras.

Adapun kerangka/pola pikir yang dibentuk untuk menjabarkan proses bahasan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat kerangka pembentukan mineral yang dipelajari
2. Kajian studi pustaka terkait dan fokus pada masalah yang dibahas
3. Konstruksi proses pembentukan mineral idokras dan pembahasan fisiknya
4. Penjelasan manfaat tambahan dari proses pembentukan mineral

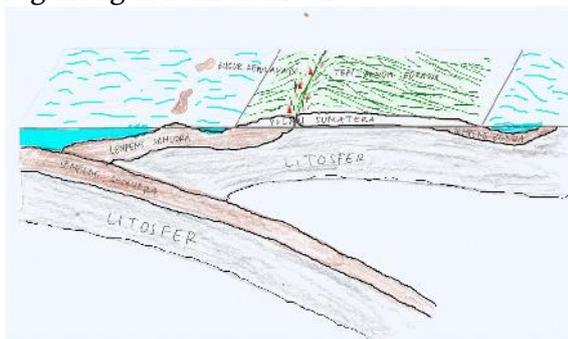
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kemungkinan Terbentuknya Idokras Aceh

Idokras, dikenal juga dengan nama Visuvianite adalah salah satu mineral pembentuk batuan atau asesoris dengan kandungan Ca, Al, Fe, Mg yang berhubungan dengan mineral silikat (Ballasone, 2011). Idokras merupakan hasil dari metamorfisme kontak dan regional, dengan atau tanpa melalui metasomatisme, selain itu Idokras juga merupakan hasil akhir dari proses hidrotermal yang disertai dengan aktivitas metasomatisme (Allen, 1992). Pada umumnya

idokras ditemukan di batu gamping yang bermetamorfosa secara termal, Skarn, Batuan Calc-Silicate hasil metamorfosa regional, Rodingitis dan metarodingitis, dan juga Nepheline syenites [2].

Secara penampakan, kemungkinan keberadaan mineral Idokras/Visuvianit di cirikan dengan adanya zona Melange yaitu daerah pertemuan batuan beku, batuan sedimen dan metamorf. Salah satu zona ini ditemukan di daerah Gunung Singgah Mata, perbatasan Aceh Barat dan Aceh Tengah [4]. Gunung Singgah Mata merupakan bagian dari Pegunungan Bukit Barisan dan Pegunungan Bukit Barisan sendiri berada di sepanjang jalur sesar sumetara. Pulau Sumatera dibentuk oleh dua segmen yang berbeda, dimana bagian barat merupakan bagian dari lempeng samudera purba yang terangkat akibat subduksi lempeng samudera Indo-Australia sedangkan bagian timur merupakan tepian benua Eurasia, dan batas kedua segmen ini diperkirakan berada disepanjang zona sesar sumatera (Zulkarnain, 2013), lihat Gambar 1. Koalisi (tumbukan lempeng tanpa penunjaman lempeng) dan subduksi (tumbukan yang disertai dengan penunjaman salah satu lempeng dibawah yang lain) ini yang menyebabkan sedimen (batu gamping) tepian benua Eurasia menjadi terlipat, terangkat dan terdeformasi membentuk jalur Pegunungan Bukit Barisan.



Gambar 1. Struktur Lempeng Sumatera

Metamorfisme kontak terjadi di dekat intrusi batuan beku dan berhubungan dengan intrusi batuan beku (Noor, 2012). Dengan demikian, daerah Melange sebagai ciri keterdapatannya mineral Idokras, hanya mungkin berada di dekat gunung api atau kaldera. Oleh karena itu, Idokras tidak ditemukan dipanjang zona Sesar Sumatera, tapi hanya pada daerah dimana intrusi magma berinteraksi dengan batuan gamping.

Berdasarkan kondisi geologi, Idokras Aceh dapat diperkirakan berasal dari batu gamping yang mengalami metamorfosa secara termal. Adapun energi termal tersebut berasal dari cairan pegmatitis yang merupakan larutan magma sisa hasil endapan magmatis. Awalnya, suhu awal magma adalah sekitar 1500oC -2500oC. Suhu yang tinggi ini menciptakan tekanan yang tinggi pada gas-gas yang terkandung di dalam magma, sehingga mendorong magma untuk bergerak menuju permukaan melalui retakan-retakan batuan akibat tumbukan antar lempeng. Terdapat hubungan temperatur dengan kedalaman permukaan bumi, dimana temperatur bertambah dengan meningkatnya kedalaman bumi. Sehingga suhu magma akan menurun seiring perjalanannya menuju permukaan bumi. Pada saat suhu magma ini menurun, mineral-mineral penyusun batuan akan terbentuk. Pada suhu 1200oC-700oC mineral terbentuk untuk pertama kali seperti yang disusun dalam Deret Bowen. Mineral-Mineral berasal dari magma primer yang bersifat basa/ultrabasa. Penurunan suhu dapat menghasilkan endapan / jebakan mineral. Larutan magma sisa endapan ini yang disebut sebagai cairan pegmatitis, akan menerobos batuan melalui rekahan dan berinteraksi dengan batuan samping. Dalam hal ini, batuan sampingnya adalah batu gamping. Cairan pegmatitis yang masih sangat panas ini mampu melelehkan batuan gamping, dan ini menyebabkan terjadinya perubahan komposisi magma. Selanjutnya, akan terjadi penurunan suhu terjadi sebagai hasil kontak antara batu Gamping dengan magma intrusi tersebut (disebut metasomatisme kontak) yang membentuk mineral Idokras. Suhu proses metasomatisme kontas untuk terbentuknya Idokras adalah sekitar 300oC (Allen, 1992. Batu gamping yang akan menjadi Idokras adalah batu gamping tidak murni, sehingga kontak metasomatisme yang terjadi lebih kuat akibat adanya unsur-unsur pengotor seperti silika, alumina dan besi yang berasal dari magma / cairan pegmatitis. Unsur-unsur ini merupakan mineral yang dapat dengan mudah membentuk kombinasi dengan Kalsium Karbonat yang berasal dari batu Gamping.

Penurun suhu yang terus-menerus pada larutan hasil campuran cairan pegmatitis dan batu gamping akan menghasilkan jebakan mineral/endapan. Proses selanjutnya adalah

pendinginan endapan mineral yang menentukan struktur kristal. Jika pendinginan berlangsung sangat lama maka akan terbentuk kristal yang baik (besar) sedangkan pendinginan yang relatif cepat hanya akan memberi kesempatan bagi molekul-molekul untuk membentuk kristal yang kecil. Sitem kristal Idokras adalah tetragonal (Aflah, 2014), dengan demikian dapat diketahui bahwa proses pendinginan endapan mineral Idokras terjadi dalam jangka waktu yang sangat lama.

Pada pembahasan ini digunakan notasi umum pada termodinamika, dimana U adalah energi dalam, Q adalah energi yang masuk/keluar sistem dan P,V,T masing masing adalah tekanan, volum dan temperatur.

Hukum Pertama Termodinamika

$$dU = uQ - PdV \quad (1),$$

dan Hukum Kedua Termodinamika

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2),$$

digunakan untuk memudahkan analisis menggunakan variabel-variabel yang menjamin terjadinya perubah (diferensial) eksak. Khusus untuk suatu analisis yang mengandung variabel P,V dan T, selanjutnya akan didefinisikan dan digunakan potensial termodinamika : energi dalam (U), energi bebas helmholts (F), entalpi (H) dan energi bebas Gibbs (G). Untuk masalah yang akan dibahas ini hanya digunakan dua potensial termodinamika yaitu entalpi (H) dan energi bebas Gibbs (G), dengan penurunan differensial dasarnya

$$dH = TdS + VdP \quad (3),$$

dan

$$dG = VdP - SdT + \sum \tilde{n}_i dn_i \quad (4),$$

untuk proses dengan reaksi kimia.

Variabel-variabel yang terlibat dalam besaran potensial kimia tidak semuanya dapat diukur secara nyata, yang dapat diukur adalah besaran-besaran yang bergantung pada variabel P,V,T pada persamaan keadaan. Misalnya volum yang merupakan fungsi T dan P, dimana differensial totalnya adalah

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP \quad (5)$$

Besaran yang dapat diukur dari besaran volum tersebut adalah koefisien pemuaian panjang α dan kompresibilitas C, dimana koefisien pemuaian panjang menyatakan perubahan volum pada tekanan tetap dan

kompresibilitas menyatakan perubahan volum pada temperature tetap (Cemic, 2005)

$$r_p = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \quad \text{dan} \quad C_T = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \quad (6)$$

Selain itu dari besaran potensial sendiri, yang juga dapat diukur secara nyata adalah

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_p \quad (7)$$

Besaran-besaran lain juga dapat dikaitkan dengan besaran entalpi dan C_p melalui Persamaan Maxwell atau Persamaan hubungan Gibbs-Entalpi.

Analisis selanjutnya akan didasarkan kepada pembentukan mineral (kelompok mineral) dari batu Idokras, sehingga dipilih fungsi Gibbs yang melingkup reaksi kimia

$$dG = VdP - SdT + \sum \tilde{n}_i dn_i \quad (8)$$

Denga μ_i adalah potensial kimia molar komponen ke-i. Gibbs total adalah jumlah energi potensial kimia seluruh komponen

$$G = \sum \tilde{n}_i \mu_i \quad (9),$$

$$dG = \sum \tilde{n}_i d\mu_i + \sum d\tilde{n}_i \mu_i$$

dengan demikian

$$VdP - SdT = \sum d\tilde{n}_i \mu_i \quad (10)$$

Dari persamaan (10) maka diperoleh hubungan

$$\frac{\partial \tilde{\mu}_i}{\partial P} = V_i \quad \text{dan} \quad \frac{\partial \tilde{\mu}_i}{\partial T} = S_i \quad (11)$$

Dari kedua hubungan diatas diperoleh bentuk potensial kimia terhadap P

$$\tilde{\mu}_i = \tilde{\mu}_i^o + RT \ln x_i \quad (12)$$

Untuk proses pencampuran dua mineral sehingga larutan berada dalam kesetimbangan maka potensial kimia liquid sama dengan potensial kimia awal solid, demikian juga untuk turunan pertama $\tilde{\mu}$.

$$\tilde{\mu}^l = \tilde{\mu}^{o,s} \quad \text{dan} \quad d\tilde{\mu}^l = d\tilde{\mu}^{o,s} \quad (13)$$

Hal ini dikarenakan terjadi transisi fasa dari suatu zat A yang berupa lelehan bertransisi menjadi padatan pada awal $T=T$. Untuk masing-masing komponen

$$\tilde{\mu}_A^l = \tilde{\mu}_A^{o,l} + RT \ln x_A \quad \text{dan} \quad \tilde{\mu}_B^l = \tilde{\mu}_B^{o,l} + RT \ln x_B \quad (14),$$

sehingga

$$\tilde{\mu}_A^{o,l} + RT \ln x_A = \tilde{\mu}_A^{o,s} \quad (15)$$

$$\tilde{\mu}_B^{o,l} + RT \ln x_B = \tilde{\mu}_B^{o,s}$$

Untuk nilai turunan pertama diperoleh dari hubungan Gibbs-Entalpi

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P = -\frac{H}{T^2} \quad (16)$$

Maka untuk potensial kimia diperoleh

$$d(\sim/T) = -\frac{H}{T^2} dT \quad (17)$$

Dengan membagi persamaan (15) terhadap T dan menghubungkan kembali ke persamaan (17), maka untuk turunan pertama diperoleh

$$d\left(\frac{\sim^l}{T}\right) = d\left(\frac{\sim^{o,l}}{T}\right) + R d \ln x_A^l \quad (18),$$

dan

$$d \ln x_A^l = \frac{1}{R} \left[d\left(\frac{\sim^l}{T}\right) - d\left(\frac{\sim^{o,l}}{T}\right) \right]$$

$$d \ln x_A^l = \frac{1}{R} \left[-\frac{\sim^l}{T^2} + \frac{\sim^{o,l}}{T^2} \right] dT$$

$$\ln x_A^l = \frac{-1}{R} \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]_{T_A}^T \quad (19)$$

$$\ln x_A^l = \frac{\Delta \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_A} \right]$$

$$\ln x_A^l = \frac{\Delta \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]}{R} \left[\frac{T_A - T}{TT_A} \right]$$

Untuk lelehan mineral A dan B yang bercampur tetapi keduanya tidak dapat membentuk senyawa gabungan, maka B akan bersifat sama seperti A, sehingga

$$\ln x_B^l = \frac{\Delta \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]}{R} \left[\frac{T_B - T}{TT_B} \right] \quad (20)$$

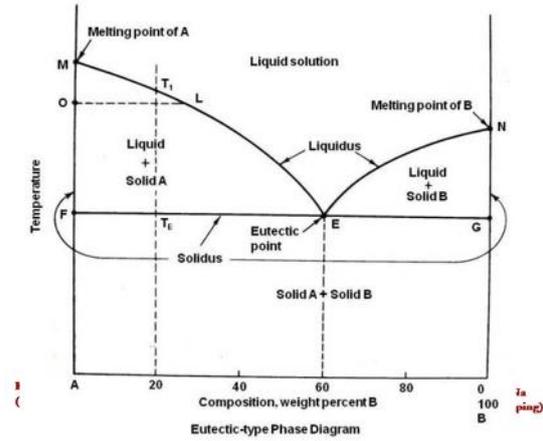
Dalam satu sistem pengukuran dan koordinat T-x, maka

$$x_A^l + x_B^l = 1$$

$$\exp \left[\frac{\Delta \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]}{R} \left[\frac{T_A - T}{TT_A} \right] \right] + \exp \left[\frac{\Delta \left[\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right]}{R} \left[\frac{T_B - T}{TT_B} \right] \right] = 1 \quad (21)$$

Nilai $\Delta \left(\frac{\sim^l}{T} - \frac{\sim^{o,l}}{T} \right)$ adalah panas yang dihasilkan oleh proses pembekuan, sehingga sama dengan $\Delta(H_A^l - H_A^{o,l})$ yang tetap pada transisi dengan tekanan tetap.

Persamaan (17) menghasil digunakan untuk membangun suatu diagram yang dapat mempresentasikan proses perubahan fasa dengan variasi temperatur pada kondisi setimbang, seperti pada Gambar 2.

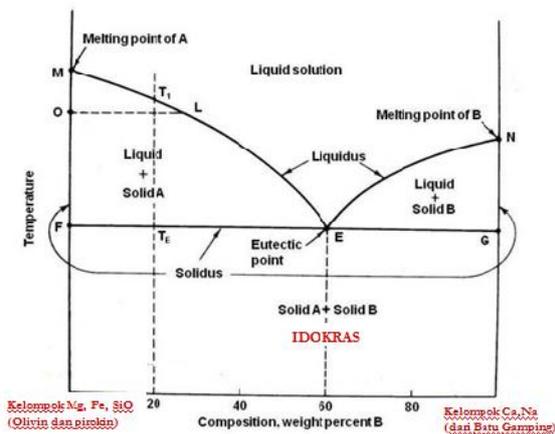


Gambar 2. Diagram Eutetik Sederhana (particlmaintenance.net)

Diagram fasa pada Gambar 2 merupakan diagram fasa eutetik yang mempresentasikan perubahan fasa untuk larutan yang komponennya tidak dapat bercampur. Idokras Aceh dengan rumus kimia: $(Ca,Na)_{10}(Al,Mg,Fe^{3+})_2(Al,B,Fe^{2+})_4(SiO_4)_{10}(Si_2O_7)_4(OH,F,O)_{10}$ [4] menunjukkan bahwa silikat feldspar yang mengandung Ca terbentuk pada lingkungan laut (Na) dan ini terdapat dalam jumlah yang banyak. Komponen lelehan magma dari zona subduksi dicirikan dengan adanya Mg,Fe yang merupakan kelompok pembentuk ferromagnesium, dalam hal ini adalah olivine dengan silikat untuk valensi dua (Fe^{2+}) dan piroksin dengan silikat untuk valensi tiga (Fe^{3+}).

Kelompok lelehan magma panas diposisikan dalam mineral "A" (Gambar 2) yang mempunyai titik lebur tinggi. Magma ini yang kemudian menerobos batuan dan bertemu dengan mineral (Ca,Na) silikat baik dalam bentuk batu gamping maupun Kalsium Feldspar, yang kemudian terlelehkan dan bercampur dengan komposisi magma dasar.

Proses pendinginan diduga dalam keadaan kesetimbangan dimana komposisi magma (Fe, Mg) lebih dominan, sehingga Idokras yang sifatnya eutetik terbentuk dalam komposisi Ca,Na yang lebih banyak, artinya ketika fraksi Fe,Mg mengecil, maka mulai terjadi pembentukan Idokras, lihat Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Eutetik Sederhana Idokras [8]

Jika dilihat dari senyawa dasar pembentuk Idokras, mineral dasar tersebut merupakan mineral biner (Olivin dan Piroksin). Komponen Ca, Na diduga merupakan mineral biner yang terlepas dari ikatan Ca dan Na dalam silikat atau karbonat mineral stabil. Olivin dengan rumus kimia $(Mg, Fe)_2SiO_4$ adalah larutan padatan biner yang dalam komposisi berapapun dapat membentuk kristal, demikian juga halnya dengan piroksi yang memiliki rumus kimia $(Ca, Mg, Fe, Na, Al, Ti)Si_2O_6$. Jadi, Idokras yang eutetik terbentuk dari dua jenis lelehan biner yang tidak dapat bercampur dalam komposisi berapapun kecuali saat membentuk Idokras tersebut, sehingga sangat unik.

D. KESIMPULAN

Penggabungan hukum I dan hukum II termodinamika dapat menghasilkan variabel-variabel yang dapat diukur (koefisien muai volum dan kapastias panas) melalui pendekatan besaran tekanan P, temperatur T, dan volum V. Untuk proses alam, pembentukan diagram fasa Idokras hanya bisa dibentuk berdasarkan perkiraan

E. DAFTAR PUSTAKA

- Aflah, N., Muchlis, Halimi, K., Nufus, H., Maysura, Z., Simatupang, M.Z., "Classification of Jades (Giok) Beutong Aceh based on Mineral Composition". *Jurnal Natural* Vol.1, No.2, 19-22 September 2014 (ISSN : 1141-8513), Banda Aceh, Indonesia
- Allen, F., Burnham, C., "A Comprehensive Structure-Model for Vesuvianite : Symmetry variation and Crystall Growth", *Journal of The Mineralogy Association of Canada*, Vol 30, pp, 1-18 (1992)

Balassone, G., Talla, D., Beran, A., Mormone, A., Altomare A., Moliterni, A., Mondillo, N., Saviano, M., dan Petti, C., "Vesuvianite from Somma-Vesuvius volcano : chemical, x-ray diffraction and single crystal polarized FTIR investigations", *Journal of Mineralogy, Crystallography, Geochemistry, Petrology, Volcanology*. DOI :10.2451. 370 (2011)

Cemic, L., "Thermodynamics in Mineral Sciences", Jerman, Springer (ISBN-13 978-3-540-24364-9), 2005, pp. 23-275

Diagram Eutetik Sederhana Untuk Idokras. Di edit dari <http://practicalmaintenance.net/wp-content/uploads/Eutectic-type-Phase-Diagram1.jpg>. Diakses 5 Desember 2015.

Mustika, D., Tirtasari, Y dan Hendrajaya, L, "Memanfaatkan Sumber Daya Alam Aceh Untuk Belajar Fisika", *Prosiding SNIPS 2015*, 8-9 Juni 2015, Bandung, Indonesia.

Noor, D., "Pengantar Geologi", Universitas Pakuan, Bogor, 2012. p.101-102

Zulkarnain, I., "Geokimia Batuan Sebagai Jendela Proses Geologi Masa Lalu dan Lentera pemandu Penemuan Endapan Logam", *Orasi pengukuhan Profesor Riset Bidang Geologi dan Geofisika*, LIPI Jakarta. 2013. p.5