

Model Mineralisasi Pembentukan Opal Banten

C. ANSORI

Balai Informasi dan Konservasi Kebumian - LIPI
Jln. Karangsambung, Km. 19 Karangsambung, Kebumen 54253

SARI

Opal merupakan permata yang setara atau bahkan dapat lebih berharga daripada intan. Di Indonesia, opal permata dijumpai di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Opal Banten dikenal karena keindahan permainan warnanya. Tulisan ini merupakan ulas balik hasil penelitian terdahulu yang berupa penelitian awal pembentukan opal Banten, karakteristik opal-CT, dan penentuan tipe opal berdasarkan analisis geokimia serta ditambah beberapa data baru, sehingga dapat dibuat model mineralisasinya. Penelitian yang telah dilakukan meliputi penelitian lapangan dan analisis mineralogi/gemologi, petrografi, X-RD, serta geokimia unsur utama dan unsur jarang. Opal Banten termasuk opal-CT yang menunjukkan permainan warna bagus. Opal ini terjadi karena proses pelapukan dan pelindian silika, sehingga membentuk opal pada batulempung abu-abu gelap. Model pembentukan terbagi dalam tiga periode; pada Pliosen Awal terjadi pengendapan batuan vulkanik klastika yang kaya gelas vulkanik sebagai endapan fluviatil. Setelah itu pada Pliosen Akhir - Plistosen terjadi proses pelipatan, pelapukan, dan pelindian silika. Retakan, pelipatan, dan patahan yang terjadi mempercepat proses pelapukan dan pelindian, sehingga terbentuk opal pada sayap lipatan hingga Holosen. Daerah prospek opal terdapat pada satuan tuf bersisipan konglomerat dan breksi pumis, di sayap antiklin. Batuan pembawa opal adalah batulempung berwarna abu-abu gelap yang mengalasi konglomerat polimik/batupasir kerakalan dengan struktur silang-siur dan erosional, dengan kedalaman lebih dari 8 m.

Kata kunci: opal, proses pembentukan, model mineralisasi, Banten

ABSTRACT

Opal is a beautiful precious gemstone that is equal or more valuable than diamond. In Indonesia, precious opal is found at the Lebak Regency, Province of Banten. Banten's opal widely has been recognized due to its beautiful opalescence. This paper is a review of the last research; preliminary study of Banten's opal, characteristics of opal-CT and determining of opal type from geochemical data, added by new data to compile concept and to make mineralization model. In order to fulfill these targets, field geology research and analysis of mineralog/gemology, petrography, X-RD, and major and trace element geochemistry have been done. The Banten's opal is opal-CT showing opalescence (play of colour), weathering, and leaching silica from volcanic glass by dark grey claystone hosted. Mineralization model is divided into three periods; at Early Pliocene volcanic clastic sediments rich in volcanic glass occurred as fluvial sediments. Afterwards, at Late Pliocene - Pleistocene folding, weathering and leaching of silica took place. Intensive jointing, faulting, and folding quickened weathering and leaching processes to formed opal at limb of anticline through Holocene. The prospecting area of Banten's opal is in tuff unit with intercalation of conglomerate or pumiceous breccia, at limb of anticline. The host rock of opal is dark grey claystone which underlies polymict conglomerate/pebbly sandstone sequence with cross stratification, imbricated, and erosional stucture; more than 8 m deep.

Keywords: opal, genetic, mineralization model, Banten

PENDAHULUAN

Opal merupakan batumulia yang diburu kolektor dan pedagang batumulia, karena keindahan permainan warna dan berharga mahal, termasuk opal hitam dari Banten. Batumulia ini umumnya tersebar pada daerah vulkanik Tersier, bertopografi terjal, dijumpai banyak struktur geologi serta daerah alterasi hidrotermal.

Opal berasal dari kata Latin *Opalus* yang berarti perubahan warna seperti permata. Selain itu dalam bahasa Sanskerta terdapat pula istilah *Upala* yang berarti batumulia (Harijanto, 1992). Dari istilah tersebut menggambarkan bahwa opal merupakan jenis batumulia yang mempunyai ciri adanya perubahan warna. Opal biasa (*common opal*) kebanyakan berwarna putih susu, sedangkan opal mulia (*precious opal*) menunjukkan permainan warna dari bagian dalamnya dan mempunyai harga mahal yang disetarakan dengan intan (Hulburt & Switzer, 1979).

Tidak seperti mineral lainnya, opal bersifat amorf dan tidak berbentuk kristal, sehingga sering diklasifikasikan sebagai mineraloid. Secara kristalografis, opal tersusun oleh bola-bola silika amorf. Pada opal biasa yang berwarna putih susu, susunan bola-bola silika tidak beraturan dan berukuran tidak sama, sementara itu pada opal mulia bola-bola silika berukuran sama dengan susunan teratur pada arah tiga dimensi. Difraksi sinar pada permukaan bola silika yang teratur akan memberikan warna menarik pada permukaan opal (Hulburt & Switzer, 1979).

Di bawah mikroskop, dalam opal tidak dijumpai adanya pertumbuhan kristal, tetapi bersifat amorf seperti gelas. Opal bersifat transparan, tidak ada bias ganda, relief negatif, dengan keping gips berwarna merah jambu, sering dijumpai banyak retakan berupa *shatter cracks*, struktur *perlitic*, *colloform*, dan *banded* (Kerr, 1954). Berdasarkan penelitian Pewklian dr. (2004) di daerah Coober Peddy dan Andamooka didapatkan data tentang proses opalisasi yang terjadi pada tulang fosil dinosaurus dan fosil kayu, yang secara petrografis memberikan penampakan adanya *shatter cracks* dan pola *banded* di sekitar tulang yang telah tergantikan.

Jones dan Segnit (1971) mengklasifikasikan opal berdasarkan struktur atomnya yang tercermin pada

pola XRD menjadi tiga kelompok:

1. Opal C (*well ordered, α - cristobalite*)
2. Opal CT (*disordered, α - cristobalit, α -tridimit*)
3. Opal A (*highly disordered, near amorphous*)

Komposisi kimiawi opal adalah $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ dan merupakan endapan silika koloid, n merupakan persentase kandungan air yang umumnya berkisar dari 4 - 9 % berat, namun dapat pula lebih daripada 20 %. Opal mulia umumnya mempunyai kandungan air 6 - 10 %. Kandungan air berpengaruh terhadap besarnya indeks bias (Hulburt & Switzer, 1979).

METODOLOGI

Penelitian lapangan dilakukan melalui lintasan sungai dan jalan untuk mendapatkan data sebaran lapisan batuan induk opal. Observasi detail dilakukan pada daerah prospek opal dan lubang tambang untuk mendapatkan data lapisan batuan induk opal, membuat kolom litologi, mendapatkan percontoh opal dan batuan untuk keperluan analisis petrografi, mineralogi, dan kimia mineral.

Analisis mineralogi opal dilakukan di Laboratorium Gemologi Arda Hasana - Yogyakarta, menggunakan gemoskop, neraca timbang, gelas ukur, dan refraktometer. Data yang didapat berupa deskripsi warna dan fenomenanya, kilap, pecahan, belahan, berat jenis, dan indeks bias mineral. Sementara itu, analisis petrografi dilakukan di Laboratorium Petrografi Puslit Geotek - LIPI dengan menggunakan mikroskop polarisasi Nikon yang dilengkapi kamera digital dan *software grabber*.

Selanjutnya analisis XRD, dilaksanakan dengan alat RINT2000 *wide angle geniometer*, difraksi sinar X yang menggunakan $\text{Cu K}\alpha$ /40 kV/26 mA, dengan bentangan scan 2° - 65° , di *Kyushu University* Jepang.

Lebih lanjut lagi, analisis kimia batuan dilakukan di *Activation Laboratories*, Kanada untuk unsur utama dan unsur jejak. Analisis unsur utama menggunakan *inductively coupled plasma emission spectrometry* (ICP), sementara analisis unsur jejak menggunakan *inductively coupled plasma emission mass spectrometry* (ICP-MS). Data unsur utama diplot dalam diagram variasi SiO_2 dengan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan MgO . Data unsur jejak dan unsur tanah jarang (REE) dilakukan normalisasinya menggunakan *North American shale composite*

standard (NASC) yang kemudian digunakan untuk membuat diagram laba-laba. Referensi unsur standar menggunakan *Condie (GERM Reservoir Database, dalam www.EarthRef.org)* dan *Gromer (Rollinson, 1993)*.

Dari integrasi hasil analisis mineralogi, petrografi, XRD, dan kimia mineral dengan data lapangan dapat dikaji proses pembentukan opal serta penyusunan model mineralisasinya.

STRATIGRAFI

Opal Banten dijumpai di Kabupaten Lebak, terutama di Kecamatan Maja dan Sajira berjarak sekitar 100 km arah barat daya Jakarta. Keberadaan opal utamanya di Desa Seepang, Ciluwuk, Cilawang, dan Ciburuy.

Ansori drr. (2003) menyatakan bahwa batuan pembawa opal Banten adalah lapisan batulempung tufan terubah yang ditindih batupasir konglomeratan. Opal dihasilkan oleh proses penggantian atau pengisian koloid silika pada fosil kayu atau rongga batuan. Koloid silika dihasilkan dari pelapukan dan pelarutan batuan vulkanik karena pengaruh sirkulasi air tanah. Berdasarkan penelitian ini, opal Banten berada pada satuan batuan tuf dengan sisipan konglomerat aneka bahan atau breksi pumis Formasi Genteng. Ansori (2008) menyatakan bahwa opal tersebar di bagian utara daerah penelitian dengan arah barat - timur, mulai Seepang, Ciluwuk, Pasir Leles, Pasir Buwek, Cilawang, hingga Ciburuy terutama pada sayap antiklin (Gambar 1).

Formasi Genteng tersusun oleh breksi pumis, batupasir tufan, konglomerat, dan breksi andesit dengan sisipan batulempung tufan. Konglomerat dengan warna abu-abu, ukuran fragmen 5 - 20 cm, kompak, komponen utama fragmen adalah andesit dengan massa dasar pasir tufan, berlapis baik dengan ketebalan 15 - 60 cm. Lempung tufan mempunyai warna abu-abu kehijauan, lunak, dengan ketebalan 5 - 10 cm. Secara umum, formasi ini menunjukkan perlapisan yang bagus, gradasi, dan perlapisan silang siur, banyak dijumpai fosil kayu. Umur formasi tidak dapat ditentukan dengan pasti, namun diduga Pliosen (Syahbuddin drr., 1987; Rusmana drr., 1991).

Salah satu lokasi yang banyak menghasilkan opal mulia dengan badan dasar hitam terletak di Desa

Ciluwuk menuju Seepang, (Gambar 2). Pada areal sekitar 2000 m² telah dilakukan penggalian lubang tambang sebanyak 10 buah dengan kedalaman sekitar 9 - 15 m, bahkan antara lubang-lubang tambang tersebut juga telah dihubungkan dengan lubang horizontal. Opal hitam banyak dijumpai pada lokasi ini. Pada kolom litologi dijumpai dua lapisan batulempung abu-abu sebagai batuan induk opal yang menindih lapisan batupasir konglomeratan/batupasir kerikilan pada kedalaman 5,75 m dan 7,5 m, dengan ketebalan masing - masing 0,5 m dan 1,75 m.

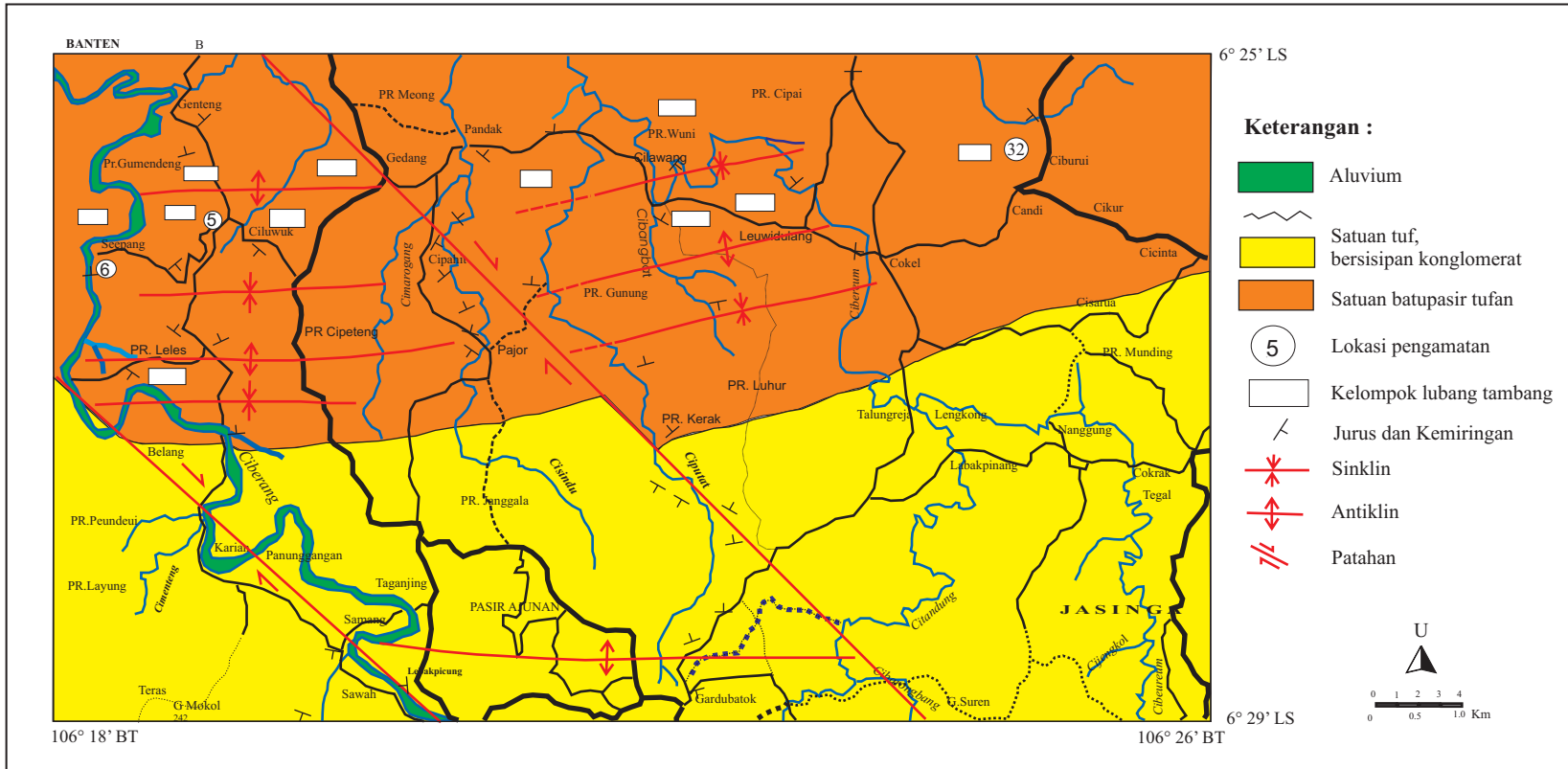
Opal yang diperoleh pada lapisan atas merupakan kinyang (berwarna putih), kekerasan 5 - 6, amorf, pecahan konkoidal, kilap lemak, cerat putih, SG 2,1, dan tidak memberikan permainan warna. Pada lapisan bagian tengah didapatkan opal hitam, amorf, lebih keras, kilap lemak, pecahan konkoidal, cerat putih, SG 2,1 - 2,2, sebagian termasuk opal mulia namun kualitasnya kurang baik. Di samping itu, dijumpai fosil kayu, berdiameter 15 cm dengan tinggi 12 cm, warna hitam, membulat, mengalami *replacement* dan pengisian di bagian tengahnya yang membentuk opal putih. Bentuk opal umumnya memanjang menyerupai potongan ranting atau akar tumbuhan.

HASIL ANALISIS

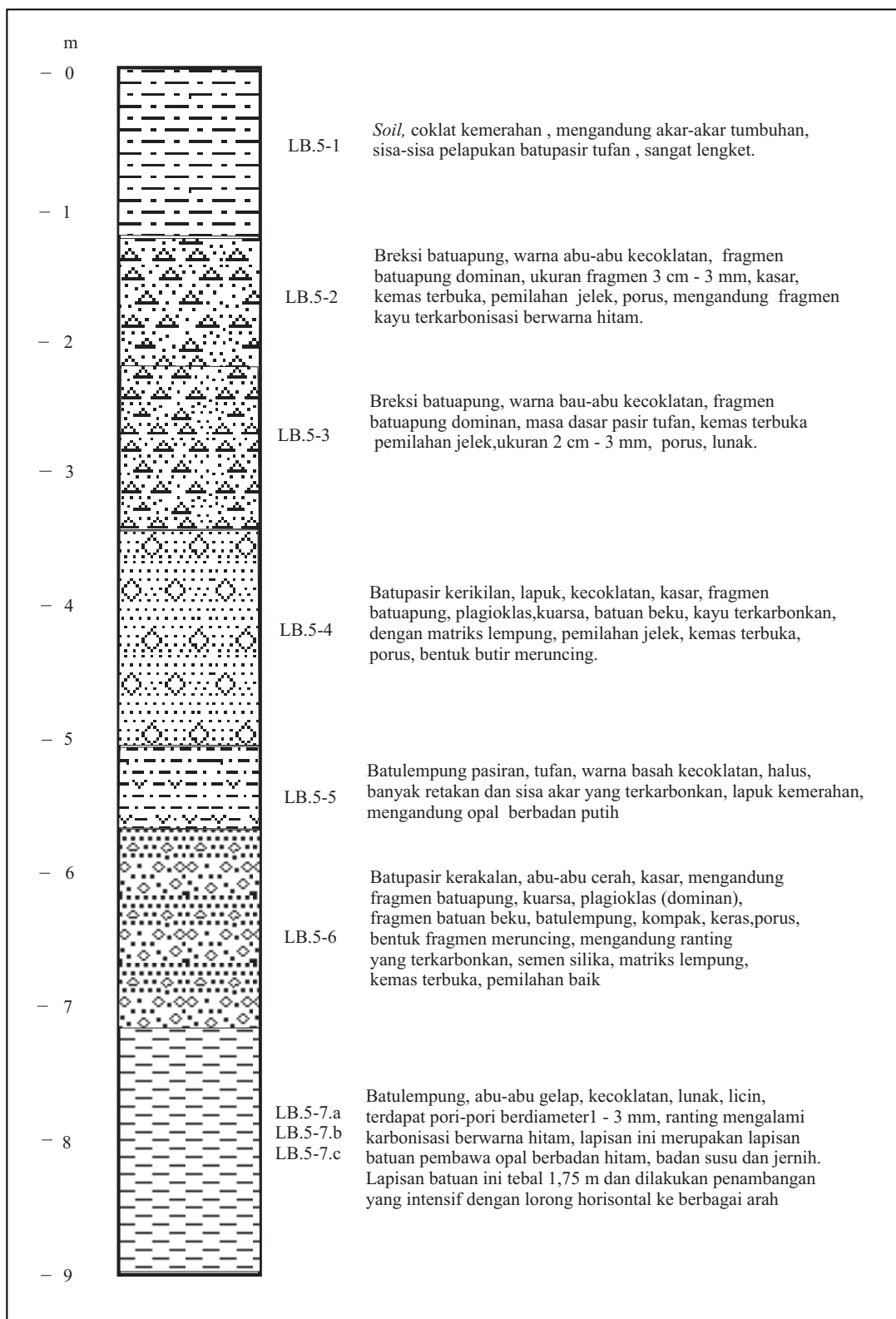
Mineralogi

Opal api (*fire opal*; Gambar 3.a), warna dasar cerah, agak kecoklatan, transparan, menunjukkan permainan warna dengan warna dominan hijau kekuningan medium yang dapat dilihat pada jarak normal dengan sudut pandang kecil, kilap kaca, pecahan subkonkoidal, belahan tidak ada, indeks bias 1,45, bias tunggal, berat jenis 2,18 g/cm³, berat 1,25 karat, tidak menunjukkan struktur sisik ikan dan tidak ada struktur kolumnar, dijumpai inklusi bentuk hati, termasuk opal mulia yang asli.

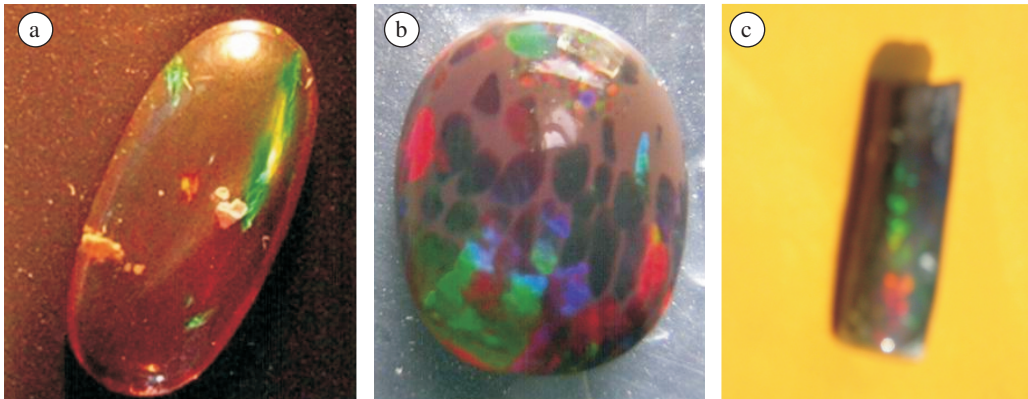
Opal hitam dari Ciluwuk (Gambar 3.b dan 3.c) mempunyai warna dasar gelap, transparansi opak, menunjukkan permainan warna dominan merah lembayung, ungu kebiruan, dan hijau, berat 2 karat, kilap kaca, pecahan subkonkoidal, belahan tidak ada, indeks bias 1,46, bias tunggal, berat jenis 2,20 g/cm³, tidak menunjukkan struktur sisik ikan dan kolumnar, beberapa bagian tidak menunjukkan permainan warna, termasuk opal mulia asli.



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian, Ciluwuk - Ciburuy (Ansori, 2008).



Gambar 2. Kolom litologi lubang tambang Ciluwuk, LB-5 (Ansori drr., 2003).



Gambar 3. Tiga buah opal Lebak, a) Opal api seberat 1,25 karat dengan warna biru kehijauan; b) Opal hitam dengan warna dominan merah lembayung, ungu kebiruan, dan hijau seberat 2 karat; c) Opal hitam berbentuk memanjang (belum dibentuk) dengan warna dominan hijau, lembayung dan merah (Ansori, 2010).

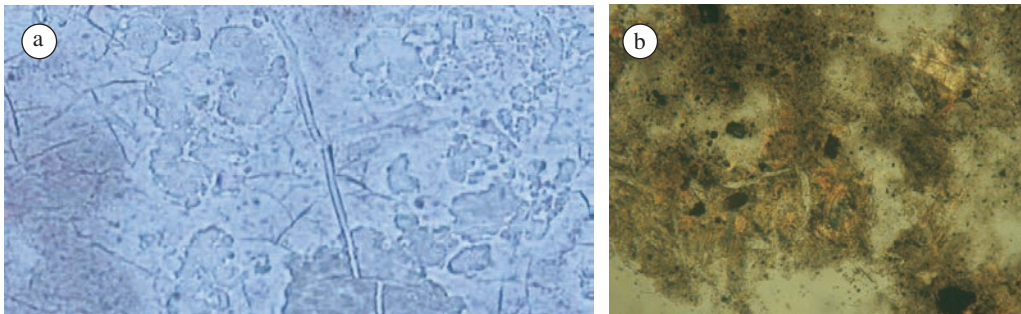
Petrografi

Analisis petrografi telah dilakukan pada opal dan batuan pembawanya dari daerah Ciluwuk. Batuan induk/pembawa opal (Gambar 4.b) tersusun oleh felspar *spherulitic* (40 %), mineral opak (15%), lempung (15 %), dan gelas vulkanik (35 %) sehingga termasuk *tuffaceous feldspathic mudstone* (Schmid, 1981). Opal putih (Gambar 4.a) tidak berwarna hingga abu-abu keruh, mineraloid, ada segregasi warna kehitaman; struktur *perlithic*, *colloform*, dan *shatter cracks* dapat teramati jelas. *Coloform structure*, *shatter cracks*, dan *banded* pada opal menunjukkan proses pembentukan opal terjadi dari larutan koloid (Kerr, 1954). Unsur organik berwarna hitam yang terperangkap dalam opal menandakan bahwa proses opalisasi terjadi akibat penggantian fosil kayu oleh larutan silika.

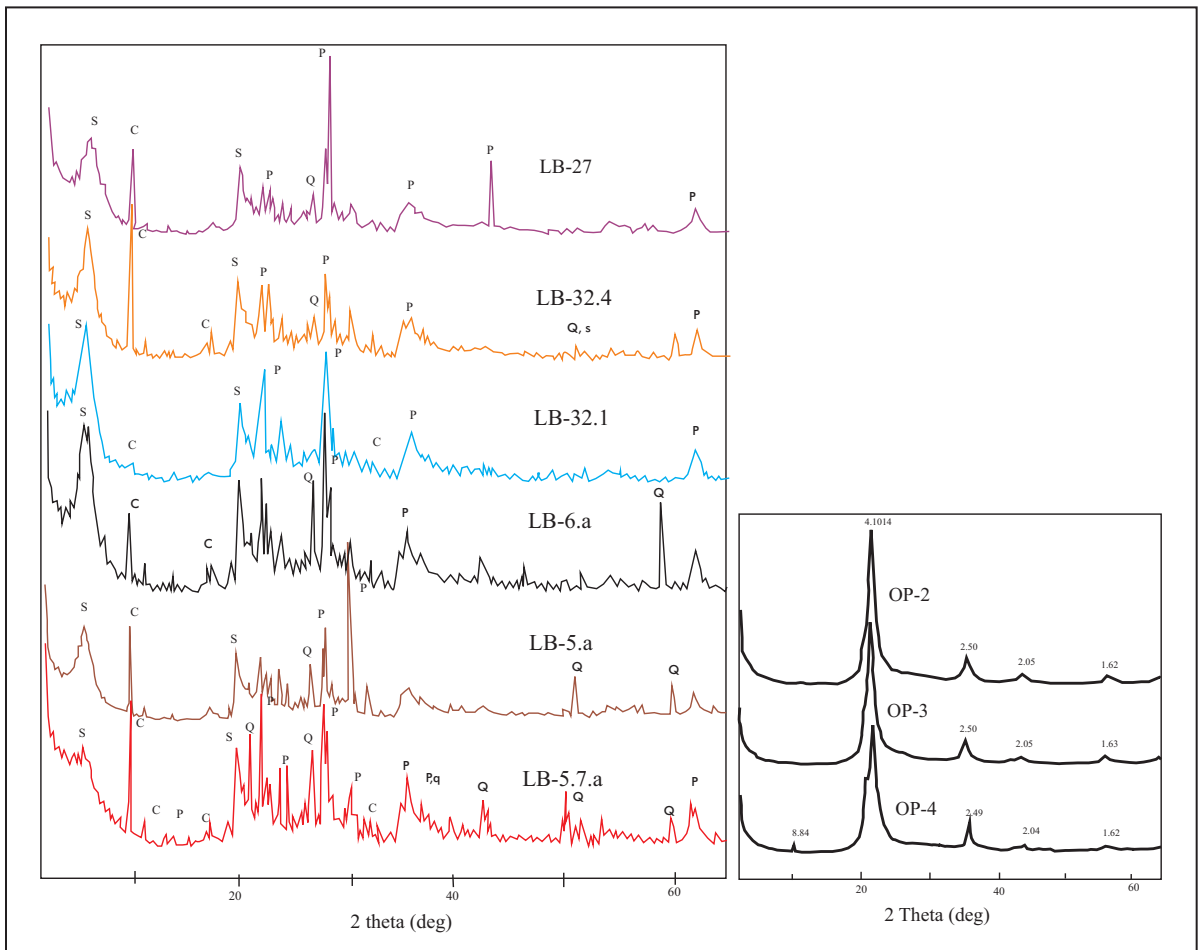
Difraksi Sinar – X (X-RD)

Analisis XRD untuk mendapatkan data tentang jenis opal serta mineral lempung yang terbentuk dilakukan pada opal maupun batuan induk. Tiga buah opal yang dianalisis masing-masing : OP-2 berupa opal mulia tidak berwarna, OP-3 opal mulia berwarna hitam, dan OP-4 opal biasa tidak berwarna. Hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan pola difraksi sinar-X, ketiga opal mempunyai pola sama. *Peak* utamanya terletak pada 2θ : $21,65^\circ$ dengan harga d : 4,1014 - 4,0828, *peak* kedua pada 2θ : $35,88^\circ$ dengan nilai d : 2,5061 - 2,4827. *Peak* lain dengan intensitas rendah dan bias pada 2θ : 44° , 56° dan 64° dengan nilai d : 2,04, 1,62 dan 1,44. Berdasarkan pola *peak* dan harga intensitasnya, maka ketiga opal Banten tersebut dapat dikelompokkan sebagai Opal-CT (Jones dan Segnet, 1971).



Gambar 4. Foto mikros: a) Opal putih yang menunjukkan struktur *colloform* dan *shatter cracks*, warna hitam menunjukkan unsur organik yang masuk, tanpa nikel 40 x; b) *Tuffaceous feldspathic mudstone*, tersusun oleh gelas vulkanik yang berubah menjadi lempung dan plagioklas, nikel bersilang, 100 x (Ansori dr., 2006).



Gambar 5. a) Pola difraksi sinar X batuan induk opal pada beberapa lokasi, S: smektit, C : klinoptilolit, P: plagioklas, Q: kuarsa. b) Pola difraksi sinar X opal Ciluwuk, OP-2 opal mulia berbadan cerah, OP-3 opal mulia berbadan hitam, OP-4 opal biasa berbadan cerah (Ansori drr., 2006).

Utada (2001) berpendapat bahwa proses pembentukan zeolit dapat disertai dengan pembentukan opal. Proses *burial diagenetic* dapat menghasilkan opal pada zone II (*Clinoptilolite Zone*) yang akan berasosiasi dengan *clinoptilolite*, smektit, dan kemungkinan mordenit. Sementara itu, proses pembentukan zeolit akibat proses hidrotermal jarang terjadi pada daerah yang luas, namun lebih terkonsentrasi di sekitar zone pergerakan air. Pada proses hidrotermal, opal akan terbentuk pada Zone Mordenit yang akan berasosiasi dengan kuarsa, smektit, mordenit, dan kemungkinan kalsit, pirit, dolomit, dan siderit.

Hasil analisis XRD pada batuan induk (Tabel 1) menunjukkan bahwa opal berasosiasi dengan plagioklas, kuarsa, smektit, dan juga zeolit (*clinoptilolite*) yang mengindikasikan adanya proses dia-

genesis akibat pembebanan (*burial diagenetic*) pada zona II (*clinoptilolite predominant subzone*) pada suhu 44° - 84° C dengan kedalaman beberapa ratus meter (Utada, 2001). Berdasarkan data geotermal gradien pada lokasi J-116 (di Selat Sunda) sebesar $9,69^{\circ}$ C/100 m dan J-110 (di Purwakarta) sebesar $4,67^{\circ}$ C/100 m, maka dapat diinterpolasikan bahwa geotermal gradien di Lebak sebesar $8,12^{\circ}$ C/100 m (Anonim, 1981). Dari peta geologi dapat diketahui ketebalan satuan tuf bersisipan konglomerat polimik dan breksi pumis yang tersingkap di daerah penelitian adalah 550 m, sehingga diperkirakan suhu pada bagian bawah satuan batuan dapat mencapai $44,66^{\circ}$ C.

Dijumpainya asosiasi opal, smektit, dan klinoptilolit serta terubahnya gelas vulkanik menandakan terjadinya proses diagenesis akibat pembebanan

Tabel 1. Hasil Analisis XRD pada Batuan Induk/pembawa Opal (Ansori dr., 2006)

No Percontoh	Hasil XRD
LB-5.7.a	Plagioklas (<i>albit ordered</i>), kuarsa, klinoptilolit, dan smektit.
LB-6.a	Plagioklas (<i>anorthite sodian disordered</i>), kuarsa, klinoptilolit, dan smektit.
LB- 32.1	Plagioklas (<i>anorthite sodian ordered</i>), klinoptilolit, dan smektit.
LB-32.4	Plagioklas (<i>anorthite sodian ordered</i>), kuarsa, smektite, dan klinoptilolit.
LB-27	Plagioklas (<i>albit calcian ordered</i>), kuarsa, smektite, dan klinoptilolit.
LB-5.a	Plagioklas (<i>anorthite ordered</i>), kuarsa, smektit, dan klinoptilolit.

pada *clinoptilolite predominant subzone* dengan suhu pembentukan sekitar 44,66° C. Pembentukan opal-CT di Lebak disebabkan karena proses diagenesis opal-A akibat pengaruh suhu dan tekanan yang meningkat, sehingga merubah struktur atom opal yang terbentuk sebelumnya atau akibat langsung proses diagenesis yang membentuk opal-CT (Ansori dr., 2006).

Kimia Mineral

Analisis kimia mineral telah dilakukan pada opal dari lokasi LB-5 dan LB-32 (Tabel 2), sedangkan analisis kimia telah dilakukan pada dua belas percontoh yang berasal dari lokasi LB-5, LB-6, dan LB-32 (Tabel 3). Sementara itu, hasil normalisasi unsur kimia dengan NASc tersaji pada Tabel 4. Pada masing-masing lokasi diambil empat percontoh batuan yang berupa opal, batulempung sebagai batuan induk, batupasir kerikilan/konglomerat yang menindih lapisan batuan pembawa opal, serta batupasir tufan/tuf pada lapisan teratas, yang kemudian dibuat grafik (Gambar 6,7, dan 8).

Berdasarkan perbandingan analisis kimia opal Banten, Australia, dan Nevada (Tabel 2), opal Banten mempunyai enam kesamaan unsur dengan opal Australia yaitu pada kandungan TiO_2 , LOI, Sr, Rb, Nb, dan U dibandingkan dengan opal Nevada yang hanya menunjukkan dua kesamaan unsur yakni pada Ba dan Zr. Kandungan uranium opal Banten dan Australia lebih rendah daripada Nevada, yaitu masing-masing 0,1 - 1,6 ppm, 0,2 - 1,7 ppm, dan 48,1 ppm, demikian pula kandungan TiO_2 opal Nevada menunjukkan 0 ppm, sedangkan Banten dan Australia antara 0,017 - 0,16 ppm. Selanjutnya, kandungan Sr opal Banten dan Australia masing-masing 13 - 29 ppm dan 16,5 - 47,2 ppm, sedangkan opal Nevada 100,2 ppm. Kandungan Rb opal Banten dan Australia masing-masing 6 - 23 ppm dan 8,8 - 13,2

ppm, sedangkan opal Nevada kurang dari 0,1 ppm. Kandungan Nb opal Banten dan Australia masing-masing 1 ppm dan 1,7 - 2,6 ppm, sedangkan opal Nevada hanya 0,1 ppm. Berdasarkan data ini, maka opal Banten lebih menyerupai opal Australia tipe sedimen dibandingkan opal Nevada tipe hidrotermal (Ansori, 2008).

Dari diagram laba-laba (Gambar 6) dan REE (Gambar 7), semua lokasi mempunyai korelasi secara vertikal maupun horizontal yang kemungkinan menandakan adanya satu kontrol utama dalam pembentukan opal di daerah penelitian. Dari diagram laba-laba terlihat adanya pengayaan unsur *mobile* Cs, Sr, Rb, dan Ba ke arah bawah yang menandakan adanya pergerakan unsur *mobile* dari atas ke bawah yang kemudian tertahan pada batuan induk yang bersifat *impermeable* (Ansori, 2008).

Diagram variasi memperlihatkan korelasi linier (Gambar 8), yang menandakan adanya korelasi spasial dari semua lokasi. Kandungan Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan MgO cenderung kecil pada batuan penutup (konglomerat/batupasir kerikilan), namun kandungan Na_2O , K_2O , CaO, cenderung tinggi dan sebaliknya rendah pada batuan induk. Naiknya kandungan Na_2O , K_2O , dan CaO pada lapisan batuan penutup mengindikasikan adanya mobilitas oksida dari lapisan batuan di atasnya. Na^+ , K^+ dan Ca^{++} bersifat lebih *mobile* dibandingkan Fe^{++} , Si^{4+} , Ti^{4+} , dan Al^{3+} (Loughnan, 1969).

Berdasarkan data geokimia tersebut opal Banten termasuk ke dalam opal tipe sedimen yang dihasilkan dari proses pelapukan dan pelindian satuan batuan tuf. Diagram variasi dan laba-laba menunjukkan adanya pengayaan oksida *mobile* Na_2O , K_2O , dan CaO serta unsur *mobile* Cs, Sr, Rb, dan Ba pada lapisan batuan di bagian bawah. Hal ini menunjukkan adanya pergerakan air tanah yang melapukkan dan melindi unsur *mobile*, sehingga

Tabel 2. Hasil Analisis Kimia Opal Banten, Australia dan Nevada (Ansori, 2008)

Unsur	LB-5 Opal putih, Banten	LB-32 Opal putih, Banten	Opal tipe sedimen, Australia, (White Cliff), Pewkliang, 2004	Opal tipe sedimen, Australia (Andamooka) Pewkliang, 2004	Opal tipe hidrotermal, Nevada, USA, Pewkliang, 2004	Perbandingan kedekatan komposisi kimia opal Banten
Si O ₂ %	86,44	93,37	91,8	91,87	84,58	-
Al ₂ O ₃ %	2,37	0,51	2,1	2,12	0,26	-
Fe ₂ O ₃ %	0,46	0,28	0,1	0,33	0,02	-
MnO %	0,015	0,003	0,0	0,01	0,01	-
MgO %	0,10	0,04	0,1	0,04	0,01	-
CaO %	0,55	0,16	0,2	0,10	1,19	-
Na ₂ O %	0,27	0,08	0,3	0,31	0,26	-
K ₂ O %	0,40	0,04	0,1	0,09	0,02	-
Ti O ₂ %	0,063	0,017	0,1	0,12	0,00	Australia
P ₂ O ₅ %	0,05	< 0,01	0,0	0,01	0,01	-
LOI %	9,04	5,27	4,1	4,16	13,78	Australia
Total %	99,76	99,79	98,9	99,16	100,18	-
Ba (ppm)	86	15	239,0	259	18,0	Nevada
Sr	29	13	47,2	16,5	100,2	Australia
Y	20	< 1	1,5	2,4	24,9	X
Sc	3	4	1,1	1,3	1,3	-
Zr	29	5	199	232,4	8,2	Nevada
V	9	5	7	28	6,0	-
Cr	< 20	< 20	3,0	12,0	6,0	-
Ni	< 20	< 20	1,0	2,0	1	-
Cu	< 10	15	2,0	4,0	11	-
Zn	< 30	< 30	2,0	15,0	3	-
Ga	2	2	3,5	3,2	2,4	-
Rb	23	6	13,2	10,9	1,1	Australia
Nb	1	1	1,7	2,6	0,1	Australia
La	7,9	0,3	1,0	0,0	3,0	X
Ce	19,2	0,8	6	6	7,0	-
Nd	11,1	0,5	0,0	0,0	5,0	-
Pb	< 5	< 5	2,2	2,6	0,4	-
Th	1,9	< 0,1	1,3	1,0	2,4	-
U	0,7	0,1	0,2	1,7	48,1	Australia

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia Batuan pada Lokasi LB-5, LB-6, dan LB-32 (Ansori, 2010)

Unsur		LB-5.7A	LB-5.6	LB-5.2 (2)	LB-6	LB-6.A	LB-6.B	LB-6.C	LB-32.1	LB-32.2	LB-32.10
		Batuan induk	Batupasir kglm	Bx pumis	Opal ekstraksi	Batuan induk	Batupasir kglm	Lempung tufan	Batuan induk	Batupasir kglm	Batupasir tufan
SiO ₂	%	58,41	66,37	54,80	65,52	56,70	61,74	56,97	54,54	57,36	45,99
Al ₂ O ₃	%	16,46	15,81	15,63	12,18	15,50	17,51	16,18	14,66	14,87	21,41
Fe ₂ O ₃	%	4,99	2,61	4,24	4,03	5,79	3,98	5,15	6,10	4,59	7,05
MnO	%	0,06	0,05	0,08	0,03	0,04	0,06	0,04	0,17	0,13	0,03
MgO	%	0,74	0,32	1,25	0,55	0,99	0,43	0,93	1,74	1,04	0,90
CaO	%	2,90	4,01	0,84	2,31	2,57	4,43	3,44	3,06	3,23	0,42
Na ₂ O	%	1,72	4,10	0,08	1,58	1,32	4,32	1,86	1,55	2,33	0,04
K ₂ O	%	0,90	1,72	0,08	0,44	0,84	1,31	0,72	0,61	1,09	0,15
TiO ₂	%	0,63	1,30	0,69	0,70	0,59	1,23	0,71	0,85	0,82	0,97
P ₂ O ₅	%	0,02	0,22	0,01	0,02	0,02	0,12	0,09	0,22	0,07	0,06
LOI	%	13,03	2,36	21,74	11,86	15,47	3,65	12,95	16,25	14,26	22,33
TOTAL	%	99,85	98,88	99,45	99,23	99,82	98,78	99,03	99,74	99,78	99,34
Ba	ppm	245,00	298,00	127,00	104,00	302,00	421,00	256,00	95,00	309,00	84,00
Sr	ppm	152,00	245,00	97,00	134,00	135,00	325,00	189,00	126,00	268,00	36,00
Y	ppm	31,00	69,00	44,00	32,00	38,00	42,00	36,00	62,00	47,00	54,00
Sc	ppm	12,00	22,00	17,00	11,00	13,00	22,00	18,00	20,00	18,00	44,00
Zr	ppm	246,00	179,00	197,00	138,00	244,00	150,00	208,00	210,00	189,00	108,00
Be	ppm	2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	6,00
V	ppm	47,00	94,00	45,00	48,00	43,00	104,00	45,00	35,00	41,00	206,00
Cr	ppm	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	273,10

Keterangan: kglm = konglomeratan

Tabel 3..... sambungan

Unsur		LB-5.7A	LB-5.6	LB-5.2 (2)	LB-6	LB-6.A	LB-6.B	LB-6.C	LB-32.1	LB-32.2	LB-32.10
		Batuan induk	Batupasir kglm	Bx pumis	Opal ekstraksi	Batuan induk	Batupasir kglm	Lempung tufan	Batuan induk	Batupasir kglm	Batupasir tufan
Ni	ppm	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00	-20,00
Cu	ppm	-10,00	11,34	14,25	-10,00	-10,00	11,54	-10,00	-10,00	-10,00	40,18
Zn	ppm	53,04	88,62	55,08	47,89	84,14	98,34	63,81	82,18	77,99	63,97
Ga	ppm	19,65	18,83	18,27	14,77	22,73	20,31	20,04	19,38	18,74	22,70
Ge	ppm	-1,00	1,14	-1,00	-1,00	-1,00	1,08	-1,00	-1,00	1,41	2,25
As	ppm	-5,00	21,32	-5,00	-5,00	10,57	12,66	-5,00	9,88	-5,00	6,17
Rb	ppm	36,38	66,68	9,94	24,72	40,04	46,54	29,37	19,32	35,38	19,24
Sr	ppm	150,30	250,04	94,74	132,77	132,91	315,76	183,48	130,77	254,69	36,36
Y	ppm	29,32	70,38	41,73	31,32	36,14	40,50	35,21	63,52	42,15	53,54
Zr	ppm	231,67	182,09	188,03	139,93	234,54	148,08	199,39	186,27	171,36	113,81
Nb	ppm	7,19	7,93	5,90	4,96	7,17	6,83	6,77	6,42	5,96	3,67
Mo	ppm	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00
Ag	ppm	0,79	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	0,69	-0,50
In	ppm	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20	-0,20
Sn	ppm	3,01	1,97	2,77	1,69	2,87	2,06	2,60	2,69	2,48	1,85
Sb	ppm	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
Cs	ppm	4,55	4,03	2,08	4,47	4,82	3,36	3,13	1,14	2,62	1,18

Keterangan: kglm = konglomeratan

Tabel 3..... sambungan

Unsur		LB-5.7A	LB-5.6	LB-5.2 (2)	LB-6	LB-6.A	LB-6.B	LB-6.C	LB-32.1	LB-32.2	LB-32.10
		Batuan induk	Batupasir kglm	Bx pumis	Opal ekstraksi	Batuan induk	Batupasir kglm	Lempung tufan	Batuan induk	Batupasir kglm	Batupasir tufan
La	ppm	16,47	31,50	24,84	14,56	30,37	17,48	17,83	32,74	17,15	35,86
Ce	ppm	28,61	55,37	40,15	30,08	61,36	36,07	42,98	71,93	40,81	76,89
Pr	ppm	4,09	7,40	6,08	3,20	8,75	4,63	5,23	8,98	5,07	9,77
Nd	ppm	16,78	32,09	25,47	13,65	35,37	20,15	22,52	39,24	22,00	40,73
Sm	ppm	3,83	7,98	5,28	3,11	8,03	4,96	5,56	9,05	5,57	8,46
Eu	ppm	1,11	2,43	1,44	1,19	1,85	2,09	1,61	2,33	1,67	2,51
Gd	ppm	4,00	9,60	6,00	3,98	7,86	5,58	5,72	9,90	6,37	8,46
Tb	ppm	0,74	1,69	1,04	0,70	1,33	1,00	1,02	1,67	1,13	1,44
Dy	ppm	4,41	9,89	6,03	4,12	6,54	6,18	5,90	9,38	6,61	7,70
Ho	ppm	0,95	2,09	1,24	0,89	1,21	1,32	1,18	1,90	1,42	1,52
Er	ppm	3,04	6,72	3,89	2,90	3,55	4,21	3,80	5,88	4,61	4,85
Tm	ppm	0,47	1,00	0,57	0,42	0,53	0,64	0,59	0,86	0,70	0,74
Yb	ppm	2,97	6,06	3,45	2,41	3,13	4,03	3,68	5,16	4,52	4,29
Lu	ppm	0,46	0,88	0,51	0,37	0,42	0,62	0,55	0,75	0,69	0,64
Hf	ppm	6,45	5,10	5,49	4,09	6,51	4,21	6,00	5,53	5,31	3,42
Ta	ppm	0,75	1,52	0,43	0,84	0,51	1,62	0,67	0,41	0,49	0,20
Tl	ppm	0,21	0,62	0,21	0,13	0,50	0,51	-0,10	0,63	0,19	-0,10
Pb	ppm	18,10	11,74	7,84	12,36	15,80	9,76	10,09	15,83	14,02	9,93
Bi	ppm	4,36	1,50	2,47	4,53	4,07	1,99	2,64	7,46	2,74	2,28
Th	ppm	8,06	5,59	6,71	4,24	8,02	4,52	6,76	6,52	6,11	3,85
U	ppm	1,68	1,71	0,78	1,57	1,63	1,38	1,97	1,76	1,71	0,89

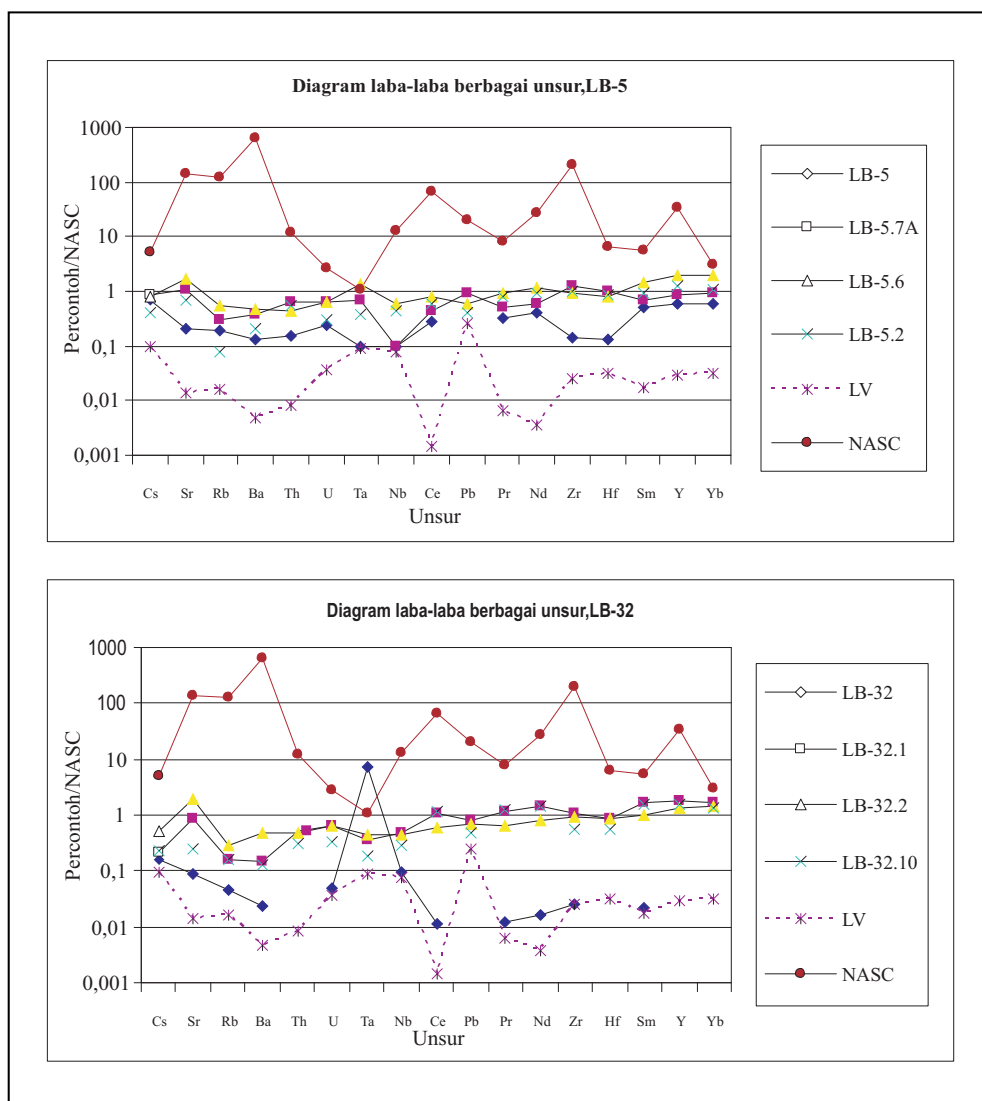
Keterangan: kglm = konglomeratan

Tabel 4. Hasil Normalisasi Unsur Kimia dengan NASC (Ansori, 2010)

	NASC	LB-5	LB-5.7A	LB-5.6	LB-5.2	LB-6	LB-6.A	LB-6.B	LB-6.C	LB-32	LB-32.1	LB-32.2	LB-32.10	LV
Cs	5,16	0,71	0,88	0,78	0,40	0,87	0,93	0,65	0,61	0,16	0,22	0,51	0,23	0,10
Sr	142,00	0,20	1,07	1,73	0,68	0,94	0,95	2,29	1,33	0,09	0,89	1,89	0,25	0,01
Rb	125,00	0,19	0,29	0,53	0,08	0,20	0,32	0,37	0,23	0,05	0,15	0,28	0,15	0,02
Ba	636,00	0,14	0,39	0,47	0,20	0,16	0,47	0,66	0,40	0,02	0,15	0,49	0,13	0,00
Th	12,30	0,15	0,66	0,45	0,55	0,34	0,65	0,37	0,55	<0.008	0,53	0,50	0,31	0,01
U	2,70	0,25	0,62	0,63	0,29	0,58	0,60	0,51	0,73	0,05	0,65	0,63	0,33	0,04
Ta	1,10	0,10	0,68	1,38	0,39	0,76	0,46	1,47	0,61	7,13	0,37	0,45	0,18	0,09
Nb	13,00	0,10	0,10	0,61	0,45	0,38	0,55	0,53	0,52	0,09	0,49	0,46	0,28	0,08
Ce	67,00	0,29	0,43	0,83	0,60	0,45	0,92	0,54	0,64	0,01	1,07	0,61	1,15	0,00
Pb	20,00	<0.31	0,90	0,59	0,39	0,62	0,79	0,49	0,50	<0.25	0,79	0,70	0,50	0,25
Pr	7,90	0,32	0,52	0,94	0,77	0,40	1,11	0,59	0,66	0,01	1,14	0,64	1,24	0,01
Nd	27,40	0,40	0,61	1,17	0,93	0,50	1,29	0,74	0,82	0,02	1,43	0,80	1,49	0,00
Zr	200,00	0,15	1,23	0,90	0,99	0,69	1,22	0,75	1,04	0,03	1,05	0,95	0,54	0,03
Hf	6,30	0,13	1,02	0,81	0,87	0,65	1,03	0,67	0,95	<0.032	0,88	0,84	0,54	0,03
Sm	5,60	0,51	0,68	1,42	0,94	0,55	1,43	0,89	0,99	0,02	1,62	1,00	1,51	0,02
Y	35,00	0,57	0,89	1,97	1,26	0,91	1,09	1,20	1,03	<0.02	1,77	1,34	1,54	0,03
Yb	3,10	0,57	0,96	1,95	1,11	0,78	1,01	1,30	1,19	<0.03	1,67	1,46	1,38	0,03

Tabel 4..... sambungan

	NASC	LB-5	LB-5.7A	LB-5.6	LB-5.2	LB-6	LB-6.A	LB-6.B	LB-6.C	LB-32	LB-32.1	LB-32.2	LB-32.10	LV
La	31,00	0,25	0,53	1,02	0,80	0,47	0,98	0,56	0,58	0,01	1,06	0,55	1,16	0,00
Ce	67,00	0,29	0,43	0,83	0,60	0,45	0,92	0,54	0,64	0,01	1,07	0,61	1,15	0,00
Pr	7,90	0,32	0,52	0,94	0,77	0,40	1,11	0,59	0,66	0,01	1,14	0,64	1,24	0,01
Nd	27,40	0,40	0,61	1,17	0,93	0,50	1,29	0,74	0,82	0,02	1,43	0,80	1,49	0,00
Sm	5,60	0,51	0,68	1,42	0,94	0,55	1,43	0,89	0,99	0,02	1,62	1,00	1,51	0,02
Eu	1,20	0,47	0,92	2,02	1,20	0,99	1,54	1,74	1,34	<0.042	1,95	1,40	2,09	0,04
Gd	5,20	0,60	0,77	1,85	1,15	0,76	1,51	1,07	1,10	0,02	1,90	1,22	1,63	0,02
Tb	0,85	0,63	0,87	1,99	1,23	0,83	1,56	1,18	1,20	<0.117	1,96	1,33	1,70	0,12
Dy	5,54	0,56	0,80	1,78	1,09	0,74	1,18	1,11	1,06	0,02	1,69	1,19	1,39	0,02
Ho	1,04	0,60	0,91	2,01	1,19	0,86	1,16	1,27	1,14	<0.096	1,82	1,37	1,46	0,10
Er	3,28	0,61	0,93	2,05	1,19	0,88	1,08	1,29	1,16	<0.031	1,80	1,41	1,48	0,03
Tm	0,50	0,59	0,94	2,00	1,14	0,85	1,05	1,27	1,18	<0.1	1,73	1,39	1,47	0,10
Yb	3,10	0,57	0,96	1,95	1,11	0,78	1,01	1,30	1,19	<0.032	1,67	1,46	1,38	0,03
Lu	0,46	0,51	1,00	1,91	1,12	0,81	0,92	1,34	1,19	<0.087	1,64	1,51	1,40	0,09



Gambar 6. Diagram laba-laba berbagai unsur pada lokasi penambangan rakyat di Ciliwuk (LB-5) dan Cibereum (LB-32). Konsentrasi terendah unsur *mobile* pada lapisan batuan teratas (Ansori, 2008).

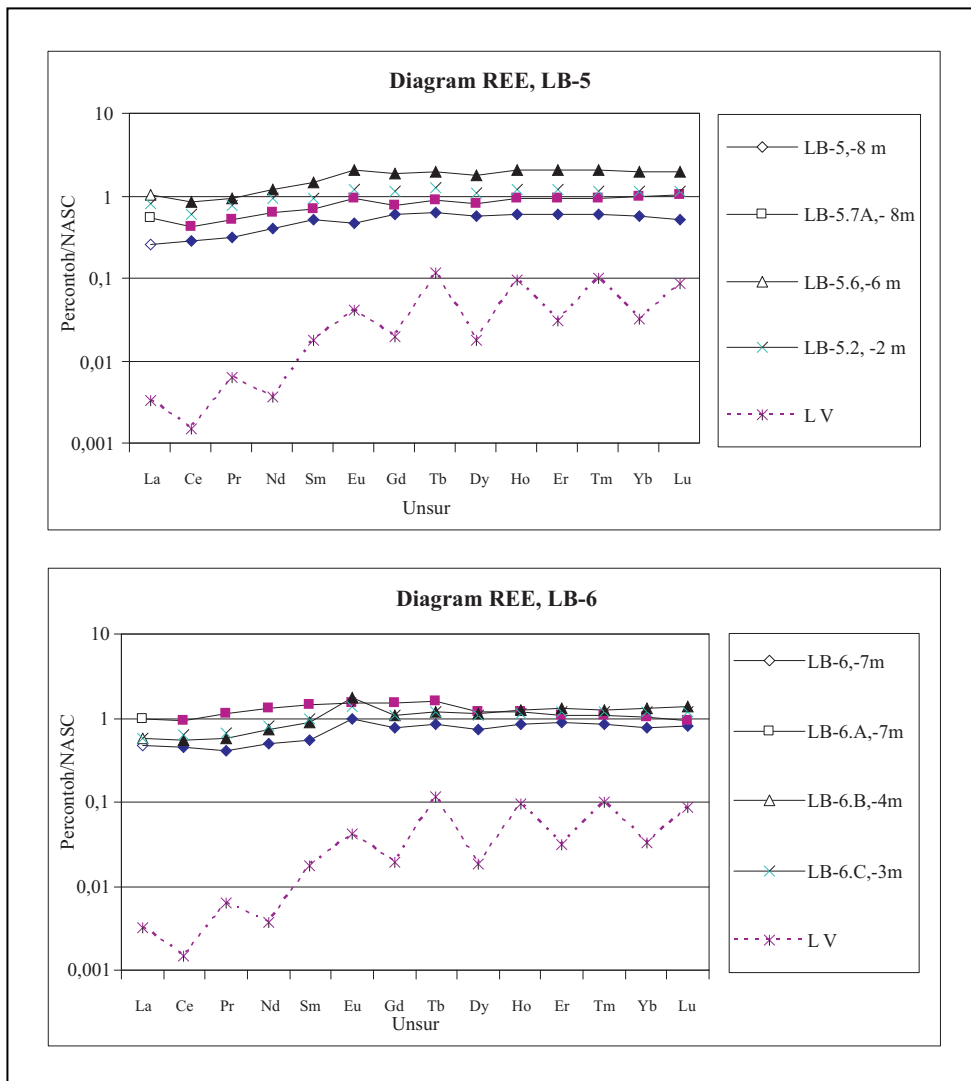
terkonsentrasi pada lapisan batuan di atas batuan pembawa opal. Geokimia batuan menunjukkan bahwa opal Banten lebih mendekati opal Australia yang mengalami pengayaan TiO_2 , tetapi miskin uranium (U) dibandingkan opal Nevada (Ansori, 2008).

MODEL MINERALISASI

Berdasarkan data di atas, maka proses pembentukan opal Banten dihasilkan dari proses pelapukan,

pelindian, dan terperangkapnya silika koloid pada batuan *impermeable*. Model pembentukan opal semacam ini lebih dikenal dengan model pelapukan/pembentukan opal sedimen. Model pembentukan opal semacam ini sebagaimana dikemukakan Horton (2002) dan Pewkliang dr. (2004) mencakup lima prinsip utama, yaitu:

1. Opal terbentuk dari pelindian silika hasil proses pelapukan batuan setelah pengendapan batuan induk. Proses pelapukan yang menghasilkan silika koloid pada pembentukan opal Banten diduga terjadi setelah pengendapan Formasi



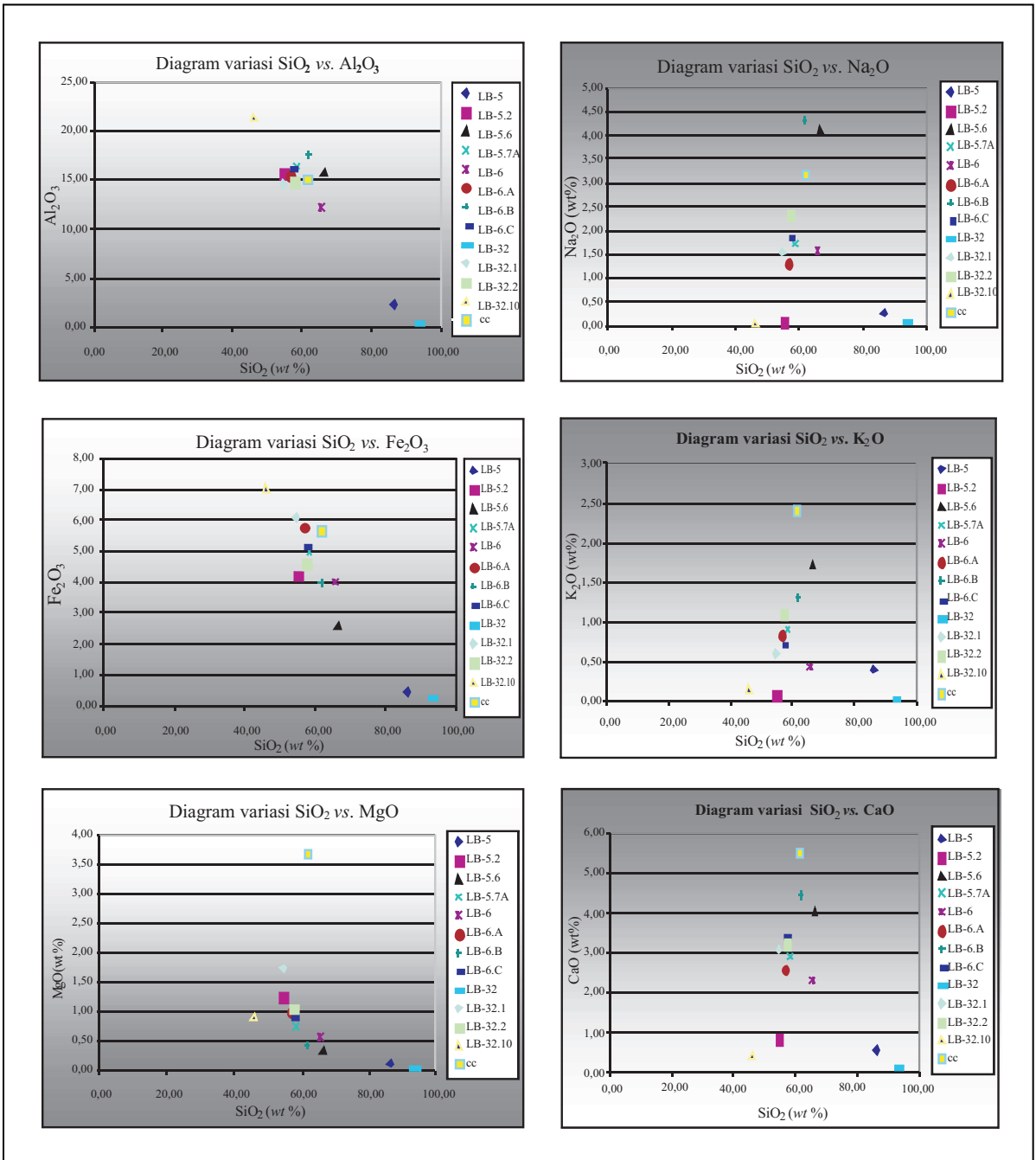
Gambar 7. Diagram unsur tanah jarang pada lokasi penambangan rakyat di Ciliwuk (LB-5) dan Cibereum (LB-32), Kesamaan pola pada semua lokasi menunjukkan adanya korelasi spasial dan kesamaan sumber batuan induk (Ansori, 2008).

Genteng pada lingkungan darat, mulai Pliosen Awal hingga sekarang. Proses pelapukan lebih intensif karena terjadi gerak epirogenetik yang menyebabkan terjadinya pengkekanan, pelipatan, dan patahan pada Plistosen Awal.

2. Sumber silika berasal dari lapukan batuan sedimen yang menindihnya. Untuk pembentukan opal Banten maka silika sebagai sumber pembentukan opal dihasilkan dari proses pelapukan tuf ataupun breksi pumis yang terdapat pada satuan batuan tuf yang banyak mengandung felspar pada Formasi Genteng.

3. Perangkat permeabilitas menghadang gerakan silika ke bawah. Proses pelapukan yang diikuti pelindian unsur *mobile* (mudah bergerak) serta larutan silika dari lapisan batuan di atas akan tersirkulasi dengan baik pada lapisan konglomerat/batupasir kerikilan yang kemudian secara perlahan masuk dan tertahan pada retakan dan pori-pori yang terbentuk pada batulempung sebagai batuan induk.

4. Patahan dan retakan hanya menaikkan permeabilitas. Retakan dan patahan yang terjadi sebagai akibat gerak epirogenetik pada kala Plistosen Awal mengakibatkan semakin mudahnya perge-



Gambar 8. Diagram variasi SiO₂ dengan oksida lainnya. Koefisien negatif terlihat pada diagram SiO₂ vs. Al₂O₃, Fe₂O₃ dan MgO, koefisien positif pada diagram SiO₂ vs. Na₂O, K₂O, CaO (Ansori, 2008).

rakan air ke bawah membawa serta silika koloid yang akhirnya terperangkap pada batulempung di sayap antiklin.

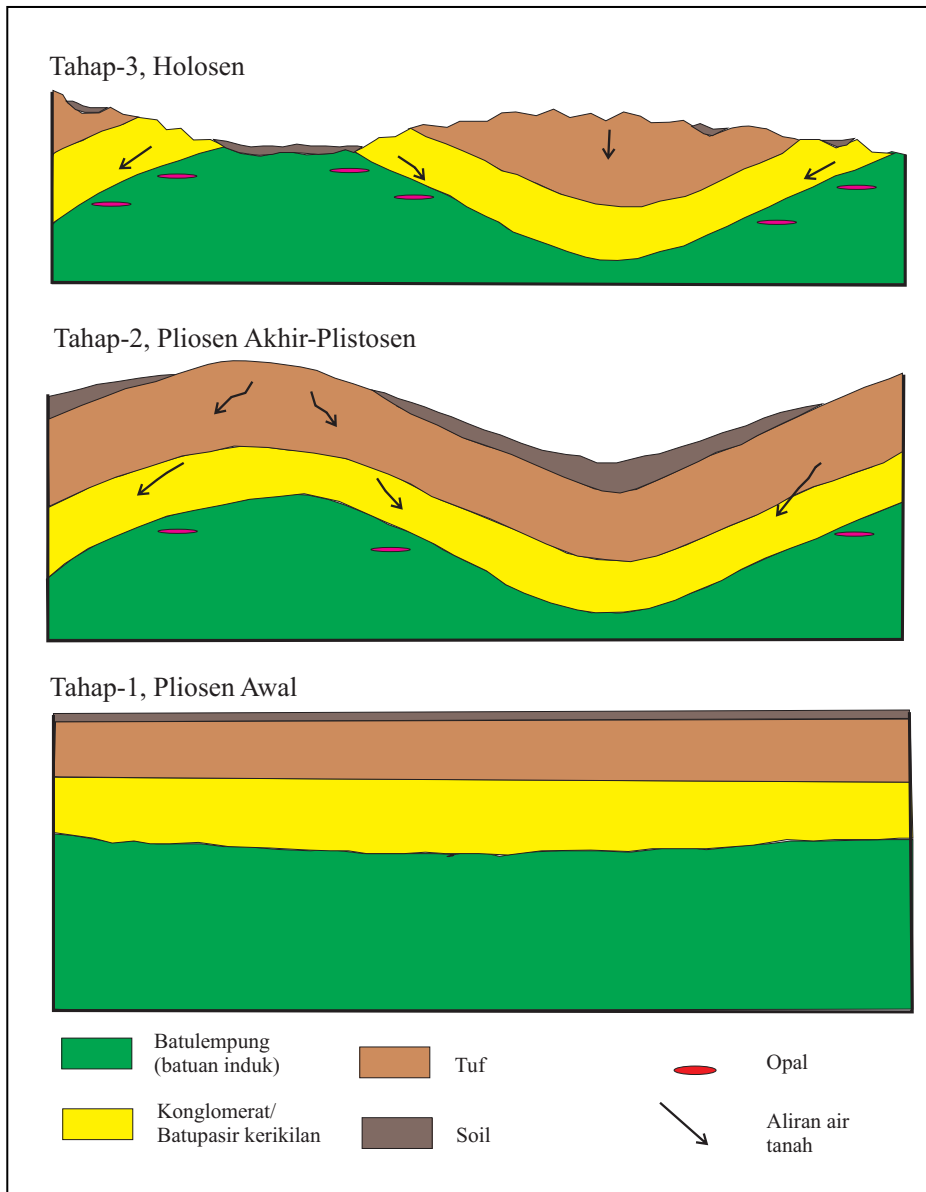
5. Patahan-patahan kecil hanya meningkatkan gerakan air tanah dan pengembangan lempung.

Pada pembentukan opal Banten selain kelima prinsip utama di atas, maka proses diagenesis yang terjadi pada batuan induk juga berperan dalam perubahan struktur atom opal yang telah terbentuk, sehingga berubah menjadi opal-CT. Lapisan penutup

batuan induk yang bersifat *permeable* juga berperan dalam mempercepat proses koagulasi dan evaporasi *gel* yang telah terbentuk pada batulempung. Kandungan unsur organik pada tuf ataupun breksi batuapung akan mempercepat proses pelapukan, sedangkan pada batuan induk akan mempermudah pembentukan pori-pori (karena proses pembusukan) yang kemudian terisi silika koloid.

Model mineralisasi opal Banten (Gambar 9) terjadi dalam tiga tahap :

Tahap-1, terjadi pengendapan satuan Tuf Formasi Genteng yang tersusun oleh perselingan dan perulangan batulempung, batupasir kerikilan/konglomerat aneka bahan, tuf dan batupasir tufan sebagai endapan darat (fluvial). Pengendapan satuan ini terjadi pada kala Pliosen Awal yang dihasilkan dari proses transportasi dan pencampuran material piroklastika dan material vulkanik klastika. Walaupun batuan aluminosilikat merupakan batuan paling susah mengalami dekomposisi, namun karena pengaruh



Gambar 9. Model mineralisasi pembentukan opal Lebak, tanpa skala (Ansori, 2010).

tingkat keasaman tanah serta waktu yang lama akan dapat juga terdekomposisi. Tingginya kandungan organik juga mempercepat proses pelapukan tuf dan breksi pumis menjadi larutan jenuh silika yang akan membentuk silika koloid. Proses pelapukan ini menghasilkan *soil* di permukaan.

Tahap-2, gerakan epirogenetik yang terjadi sejak Pliosen Akhir hingga Plistosen Awal menghasilkan lipatan, retakan, dan patahan yang meningkatkan permeabilitas batuan, sehingga mempercepat proses pelapukan serta pergerakan air tanah. Pergerakan air tanah menjadi lebih intensif dari puncak antiklin menuju sayap lipatan serta dibantu sifat *permeable* konglomerat polimik/batupasir kerikilan yang membawa serta silika koloid yang terbentuk sebelumnya. Silika koloid akan terkonsentrasikan pada retakan dan pori batuan atau menggantikan sisa tanaman yang terkubur dalam batulempung. Konsentrasi silika koloid terutama terjadi pada sayap antiklin sampai lembah sinklin, sehingga terjadi koagulasi dan membentuk *gel* silika. Sejalan perjalanan waktu *gel* silika akan mengalami evaporasi dan pepadatan lalu menghasilkan opal. Akibat pembebanan tinggi, suhu dan tekanan akan naik serta terjadinya diagenesis yang menghasilkan *clinoptilolite* dan opal-CT.

Tahap 3, proses pelapukan dan degradasi morfologi yang dikontrol oleh struktur geologi dan sifat litologi, secara intensif mulai terjadi sejak Plistosen hingga Holosen. Proses ini menyebabkan pembentukan lembah antiklin dan punggung sinklin pada morfologi perbukitan. Semakin meningkatnya intensitas pelapukan batuan dan pelindian silika yang dibantu pergerakan air tanah, mengakibatkan pembentukan opal pada sayap lipatan semakin banyak dijumpai.

KESIMPULAN

Opal Banten termasuk opal sedimen yang mempunyai kemiripan dengan opal Australia. Proses pembentukan opal diakibatkan oleh proses pelapukan dan pelindian batuan kaya akan silikat yang menghasilkan larutan jenuh silika, kemudian mengendap dan terkonsentrasi secara perlahan pada rongga di dalam batulempung (bekas pembusukan tanaman) atau pada retakan-retakan yang dikelilingi lapisan *impermeable*. Pada kala Pliosen Awal terjadi

pengendapan satuan Tuf Formasi Genteng yang merupakan endapan fluviatil dan banyak mengandung bahan organik. Pada Pliosen Akhir - Plistosen Awal terjadi gerakan epirogenetik yang menghasilkan lipatan, retakan, dan patahan. Sejak Plistosen sampai Holosen terjadi proses degradasi, sehingga terbentuk lembah antiklin dan punggung sinklin serta meningkatnya intensitas pelapukan yang menyebabkan terkonsentrasinya koloid silika pada sayap lipatan dan membentuk opal.

Dijumpainya asosiasi opal, smektit, dan klinoptilolit serta terubahnya gelas vulkanik, menandakan terjadinya proses diagenesis akibat pembebanan pada *clinoptilolite predominant subzone* dengan suhu pembentukan sekitar 44,66 °C. Pembentukan opal-CT di Lebak disebabkan karena proses diagenesis opal-A akibat pengaruh suhu dan tekanan yang meningkat, sehingga merubah struktur atom opal yang terbentuk sebelumnya atau akibat langsung proses diagenesis yang membentuk opal-CT. Proses opalisasi semacam ini telah terjadi jutaan tahun lalu dan mungkin masih terjadi hingga saat ini.

Ucapan Terima Kasih—Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala LIPI, Deputy Ilmu Kebumihan, Kepala Puslit Geoteknologi, dan Kepala BIKK Karangsambung atas dukungan moril dan bantuan dana penelitian. Ungkapan terima kasih paling mendalam disampaikan kepada Dr. Ir. I. Wayan Warmada dan Dr. Agung Harijoko, M.Sc. dari Jurusan Teknik Geologi UGM atas bimbingan dan diskusinya.

ACUAN

- Ansori, C., Siregar, S., dan Sumantri, T.A.F., 2003. Preliminary Study of Opal Genesis at Lebak Regency, Banten. *Proceedings Internasional Conference On Mineral and Energy Resources Management UPN 'Veteran'*, Yogyakarta.
- Ansori, C., Harijoko, A., dan Warmada, I. W., 2006. Characteristics and Genesis of Precious Opal-CT from Banten, Java, Indonesia. *Proceedings The 8th Field Wise Seminar and 3rd Internasional Symposium on Geological Engineering Education*; Department of Geological Engineering Faculty of Engineering, Gadjahmada University. Yogyakarta, h. 294-304, GLB: 04788.
- Ansori, C., 2008. Penentuan Tipe Opal Banten Berdasarkan Analisis Geokimia. *Jurnal Bahan Galian Industri, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (TEKMIRA) - ESDM*, Bandung, 12 (34), h. 20-31.
- Anonim, 1981. Indonesia Geothermal Gradient Map. *PERTAMINA*. Jakarta.

- Harijanto, S., 1992. Permata dan Batu Permata. *Publikasi Khusus Direktorat Sumberdaya Mineral*, Dirjen Geologi Dan Sumberdaya Mineral Departemen Pertambangan. Bandung.
- Hulburt, C.S. dan Switzer, G.S., 1979. *Gemologi*. John Wiley Publication. New York – Brisbane, 304 h.
- Horton, D., 2002. Australian Sedimentary Opal - Why is Australia Unique. *Australian Gemologist*, 21, h.287-294.
- Jones J.B. dan Segnit E.R., 1971. The Nature of Opal, Nomenclature and Constituent Phases. *Journal of Geological Society, Australia*, 18(1), h.57 – 68.
- Kerr, P. F., 1959. *Optical Mineralogy*. Mc. Graw Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London, 441 h.
- Loughnan, F.C., 1969. *Chemical Weathering of Silicate Mineral*. American Elsevier Publishing Company. Inc. New York, 546 h
- Pewkliang, B., Pring, A., dan Brugger J., 2004. Opalisation of Fossil Bone and Wood: Clues to the Formation of Precious Opal. *Regolith, CRC LEME*, Australia, h.264-268.
- Rusmana, E., Suwitodirdjo K., dan Suharsono, 1991. *Geologi Lembar Serang, Jawa, skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Rollingson, H., 1993. *Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Publisher, Singapore, 352 h.
- Schmid, R., 1981. *Descriptive Nomenclature and Classification of Pyroclastic Deposits and Fragments*. Dalam: Fisher R.V. dan Schmincke, H.U., (eds.), *Pyroclastic Rock*. Springer Verlag. Tokyo, 472 h.
- Syahbuddin, A., Sumantri, Y.R., Kartanegara, L., dan Asikin, S., 1987. Pola perkembangan tektonik Cekungan Rangkasbitung, Jawa Barat, selama Tersier sebagai akibat dari letaknya yang berada di antara Cekungan Bogor, Cekungan Jawa Barat Daya dan Cekungan Sumatera Selatan. *Prosiding PIT XV, IAGI*. Yogyakarta, h.328-352.
- Utada, M., 2001. Zeolite in Burial Diagenesis and Low Grade Metamorphic Rocks. Review in Mineralogy and Geochemistry, 45, Natural Zeolite: Occurrence, Properties, Application. *Mineralogical Society of America and Geochemical Society*.
www.EarthRef.org, 2005. *GERM Reservoir Database*.