

# LINGKUNGAN DAN EVOLUSI TEKTONIK BATUAN DAN SEDIMEN BERDASARKAN UNSUR KIMIA UTAMA DI PERAIRAN BAYAH DAN SEKITARNYA, PROVINSI BANTEN

## ENVIRONMENT AND TECTONIC EVOLUTION OF ROCKS AND SEDIMENTS BASED ON MAJOR ELEMENTS IN BAYAH WATERS AND ADJACENT AREAS OF BANTEN PROVINCE

Ediar Usman dan Udaya Kamiludin

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jln. Dr. Junjuran No. 236 Bandung-40176  
Email: ediar.usman@gmail.com; udaya.mgi@gmail.com

Diterima : 09-06-2014, Disetujui : 05-11-2014

### ABSTRAK

Pengeplotan data unsur kimia pada diagram  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  untuk sampel sedimen dasar laut cenderung terjadi kenaikan  $\text{SiO}_2$  dan penurunan  $\text{K}_2\text{O}$ , sehingga arah evolusi berkembang dari kalk-alkalin sedang ke kalk-alkalin rendah (toleitik). Pada sampel batuan beku dan sedimen hasil pemboran memperlihatkan pola evolusi magma sebaliknya, terjadi kenaikan  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  dalam seri magma yang sama (toleitik). Kondisi ini diperkuat oleh diagram segitiga AFM ( $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ;  $F = \text{FeO}_{\text{total}}$ ;  $M = \text{MgO}$ ) yang menunjukkan sebagian besar sampel yang diplot berada antara toleitik dan kalk-alkalin sedang. Hasil ini memberi kesimpulan bahwa batuan ini bersifat transisi antara toleitik dan kalk-alkalin sedang, dan condong ke arah seri toleitik sebagai indikasi batuan berasal dari daerah samudera. Berdasarkan pengeplotan pada diagram segitiga  $\text{TiO}_2 - 10\text{MnO} - \text{P}_2\text{O}_5$ , lingkungan tektonik batuan beku di pantai Cibobos, sedimen dasar laut dan sedimen pemboran pada umumnya berada pada lingkungan tektonik andesit kepulauan samudera dan sebagian busur benua. Hasil tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa sedimen di daerah Bayah berhubungan dengan seri magma dengan afinitas rendah mulai toleitik hingga kalk-alkalin sedang dan batuan samudera yang menyusup ke busur kepulauan atau busur benua. Hasil ini dapat mengetahui lingkungan dan evolusi batuan sumber sehingga diharapkan bermanfaat dalam kegiatan eksplorasi sumber daya mineral dan energi di masa mendatang.

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sedimen di daerah Bayah berhubungan dengan seri magma dengan afinitas rendah mulai toleitik hingga kalk-alkalin sedang dan batuan samudera yang menyusup ke busur benua. Hasil ini dapat mengetahui lingkungan dan evolusi batuan sumber sehingga diharapkan bermanfaat dalam kegiatan eksplorasi sumber daya mineral dan energi di masa mendatang.

**Kata kunci:** unsur kimia utama, lingkungan tektonik, evolusi, kerak samudera dan kontinen, perairan Bayah

### ABSTRACT

*Plotting of major elements data of the seafloor sediment samples on diagram of  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  tends to increase the  $\text{SiO}_2$  and decrease the  $\text{K}_2\text{O}$ , therefore the direction of evolution develop from medium to low calc-alkaline (tholeiitic). From igneous rocks and drilling sediment samples shows that the evolution magma has the opposite pattern, increasing of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}$  in the same magma series (tholeiitic). This condition is confirmed by the triangular diagram of AFM ( $A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ;  $F = \text{FeO}_{\text{total}}$ ;  $M = \text{MgO}$ ) that shows the most of plotted samples are between medium calc-alkaline and tholeiitic. This result give a conclusion that these rocks are at transitional area between tholeiitic and medium calc-alkaline, and tend towards tholeiitic series as an indication of rocks from oceanic zone. Based on plotting on the triangular diagram of  $\text{TiO}_2 - 10\text{MnO} - \text{P}_2\text{O}_5$ , tectonic environment of igneous rocks in the coast of Cibobos, surface and drilling sediment samples, in general these samples are in the tectonic environment of oceanic islands andesite and partial of continental arc.*

*From this study, it can be concluded that the sediment in the Bayah area is associated with affinity magma series from low calc-alkaline (tholeiitic) to medium calc-alkaline, and oceanic crust is being subducting to continental arc. This result could recognize the environment and the evolution of source rocks, therefore it may useful in the exploration activities of mineral and energy resources in the future.*

**Keywords:** major elements, tectonic environment, evolution, continental and oceanic crust, Bayah waters.

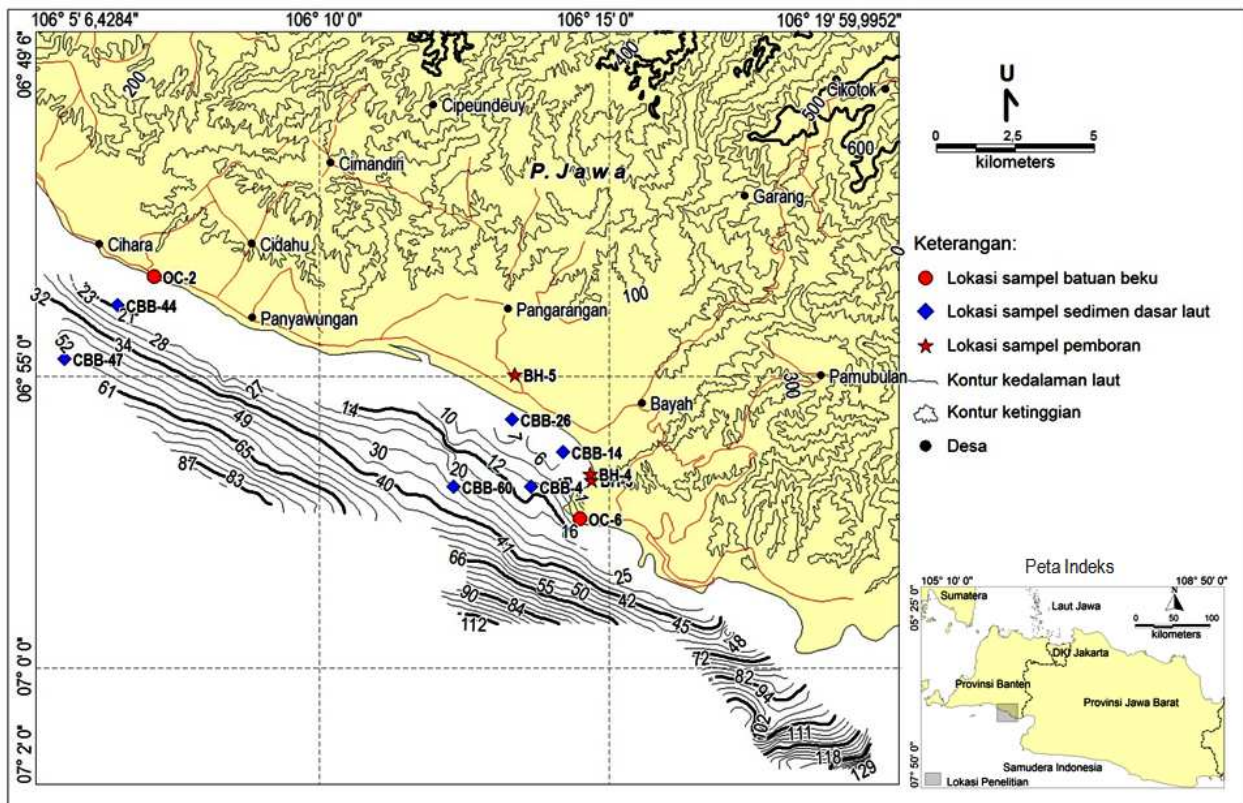
## PENDAHULUAN

Secara administrasi, lokasi penelitian terletak di daerah Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Secara geografis terletak pada lintang  $6^{\circ}11'35''$  -  $6^{\circ}9'05''$  LS dan  $106^{\circ}32'40''$  -  $106^{\circ}34'30''$  BT dengan total luas sekitar  $20 \text{ km}^2$  (Gambar 1).

Daerah Bayah dan sekitarnya termasuk dalam rangkaian Pegunungan Selatan Jawa (van Bemmelen, 1949). Bagian depan dari pantai Bayah merupakan daerah cekungan muka busur (*fore arc basin*). Batuan sedimen di daerah Bayah tersebut merupakan hasil deformasi dan sedimentasi dari batuan beku yang terdapat di daerah tersebut, baik sebagai batuan beku purba (sub-vulkanik) maupun batuan beku vulkanik Kuartar di sepanjang Pegunungan Selatan Jawa. Di samping itu, daerah Bayah terletak di lereng bagian depan Pegunungan Selatan Jawa, berhadapan dengan Samudera Hindia yang secara tektonik merupakan daerah Lempeng Samudera. Dalam perkembangannya, Lempeng Samudera bergerak ke arah Lempeng Benua Eurasia, dan sebagian massa samudera menyusup ke arah benua (Simandjuntak dan Barber, 1996). Proses ini membentuk daerah busur kepulauan

dengan konfigurasi kepulauan Indonesia sebagaimana saat ini.

Bila dibandingkan dengan Kawasan Timur Indonesia (KTI) yang merupakan daerah batuan samudera, ditemukan beberapa penyusupan bongkah massa batuan benua (*micro-continental type*) ke dalam lingkungan batuan samudera. Di Kawasan Barat Indonesia (KBI), kondisinya berbeda, karena umumnya adalah batuan benua. Namun, di beberapa tempat terdapat batuan beku asal samudera yang dibuktikan dengan diketemukannya beberapa sedimen ofiolit. Oleh karena massa samudera dalam lingkungan benua cenderung teradukkan dan setempat, maka pembuktian adanya batuan samudera tersebut, hanya dapat dilakukan pula berdasarkan analisis kimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran adanya bukti secara kimawi tentang lingkungan dan evolusi tektonik batuan beku sebagai batuan sumber sedimen dan adanya penyusupan pecahan bongkah batuan samudera di dalam batuan benua membentuk lingkungan batuan transisi, sehingga dapat dilakukan de-deliniasi dalam dimensi luas, jenis batuanya dan sumber daya.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di perairan Bayah dan sekitarnya.

## GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan peta geologi Lembar Leuwidamar (Sujatmiko dan Santoso, 1992), bagian tertua dari daerah penelitian adalah merupakan siklus sedimenter pertama di daerah Banten membentuk Formasi Bayah (800 - 1500 meter) yang didominasi oleh batuan vulkanik dan batuan beku yang berumur Paleosen (Gambar 2). Bagian ini ditutupi secara tidak selaras oleh endapan laut dangkal hingga endapan darat yang termasuk ke dalam Formasi Bayah yang berumur Eosen. Bagian Bawah dari Formasi Bayah terdiri dari lempung hitam (*black shale*) dengan lensa batugamping yang kaya foraminifera dan telah diinterpretasi sebagai endapan pro-delta dengan ketebalan 300 meter, sebagian bersifat kerikilan dengan lensa batubara tipis (110 cm).

Penyebaran singkapan Formasi Bayah di Banten Selatan pada umumnya tidak menerus dan singkapan terluas terdapat di daerah Bayah, memanjang hampir sekitar 25 km ke Sungai Cihara, sepanjang pantai selatan Banten.

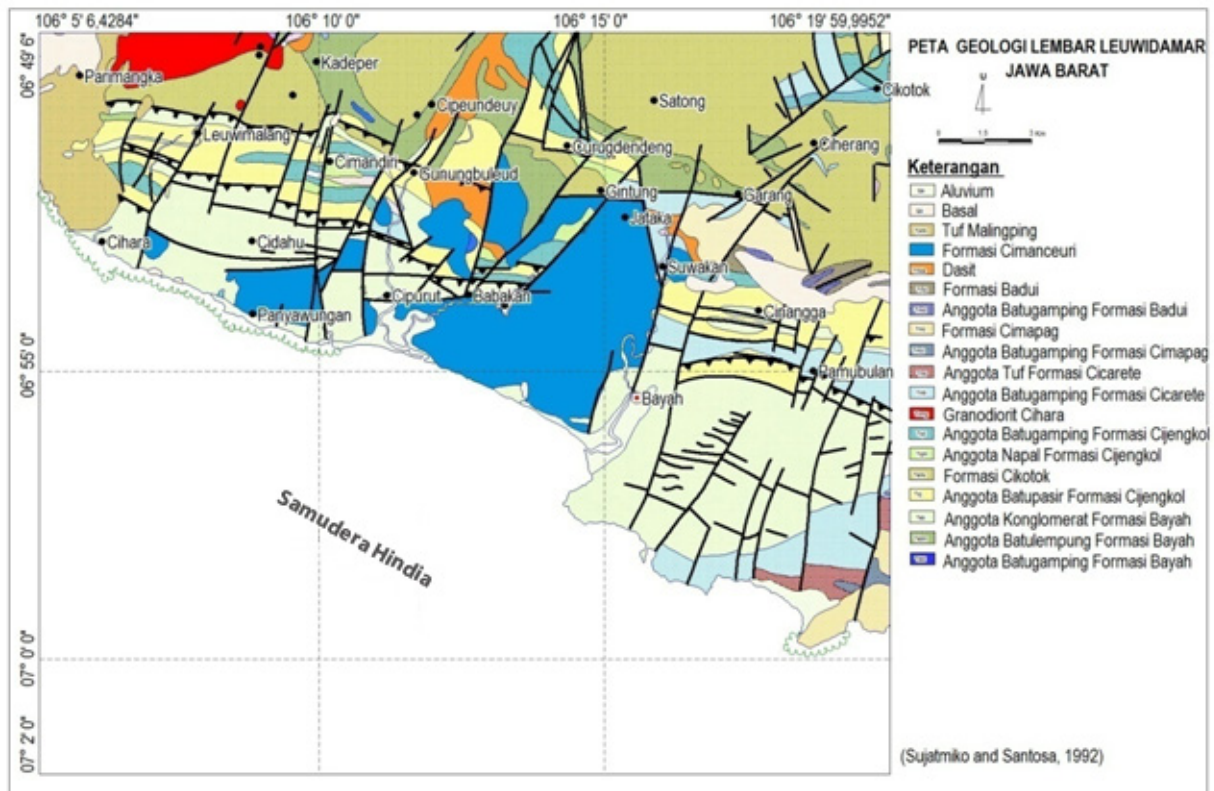
Siklus kedua, yang menutupi Formasi Bayah secara tidak selaras terdiri dari breksi vulkanik dan batupasir dengan batulempung yang termasuk ke dalam Formasi Cicarucup diinterpretasi sebagai

endapan breksi dan sebagian dari sekuen kipas Aluvial. Formasi Cicarucup ini diikuti dengan batugamping yang berumur Oligosen-Miosen Awal yang termasuk ke dalam Formasi Cijengkol yang kaya akan foraminifera bentonik. Kehadiran fragmen vulkanik masif yang mengandung tufa dan breksi yang diendapkan oleh aliran sedimen dalam Formasi Cimapag.

Siklus ketiga secara keseluruhan tersusun oleh endapan laut dangkal hingga transisi yang berasosiasi dengan Formasi Badui dengan ketebalan hampir 1000 meter. Litologinya terdiri dari pasir kasar, konglomeratan berselang-seling dengan lempung yang mengandung batubara.

Singkapan Formasi Bayah ini terpisah-pisah, tetapi secara genetik dapat diperkirakan sama. Hal ini mengingat sifat litologi serta kedudukan stratigrafinya di atas Formasi Ciletuh yang ditafsirkan sebagai suatu endapan *pond* di lereng bawah palung samudera. Oleh karena itu batuan di semua singkapan tadi sebelum tektonik menerus.

Di sekitar Sungai Cimandiri, Formasi Bayah bagian bawah terdiri dari pasir kuarsa (3-12 meter) merupakan endapan fluviatil yang meander, sedangkan bagian atasnya terdiri dari perselingan antara batupasir dan batulempung yang



Gambar 2. Peta geologi daerah Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak (Sujatmiko dan Santoso, 1992).

mengandung batubara. Batas bawah tegas sedangkan batas atas berubah, berangsur ke lempung bitumen. Struktur silang siur sering terdapat di bawahnya yang kadang-kadang konglomeratan.

Bagian teratas Formasi Bayah merupakan kontak sesar dengan Formasi Cijengkol membentuk bidang ketidakselarasan. Pada bagian bawah terdapat batupasir kwarsa (112 meter), putih kuning kecoklatan, kompak, berlapis baik, dengan sisipan napal berwarna abu-abu muda. Di bagian atas ditutupi selang-seling batupasir dan lempung. Bagian tengah berifat konglomeratan, menunjukkan endapan sungai teranyam, dan bagian atas berupa perselingan lempung coklat, abu-abu dan ditemukan fosil foraminifera.

Batuan intrusi di daerah penelitian adalah Granodiorit Cihara berumur Oligosen Awal-Akhir, dasit (Tmda) berumur Miosen Tengah-Akhir dan basal berumur Kuartar. Struktur geologi yang utama di daerah penelitian adalah sesar, berupa sesar naik, dengan arah bidang sesar relatif barat-timur, barat laut-tenggara dan sesar jurus mendatar dengan arah bidang relatif utara-selatan dan sesar normal memotong batuan berumur tua pada Formasi Bayah berumur Paleosen-Eosen hingga batuan yang berumur muda Formasi Cimanceuri berumur Pliosen. Struktur lipatan sinklin maupun antiklin terjadi terutama pada Formasi Bayah (Teb) dengan arah sumbu lipatan berarah barat-timur dengan kemiringan  $> 25^\circ$ . Kegiatan tektonik diduga berlangsung sejak Eosen sampai Oligosen terlipat dengan arah timur laut-barat daya dengan kegiatan magmatik menghasilkan intrusi Granodiorit Cihara serta terjadi pemekaran dasar samudera yang berlangsung hingga Miosen Awal.

Pada Miosen Awal, telah berkembang batuan beku dasit dan andesit tua, dilanjutkan pada Miosen Tengah terjadi tektonik, dan menghasilkan intrusi dasit, diorit dan andesit yang berlangsung hingga Miosen Akhir. Bersamaan dengan kegiatan magmatik ini terjadi pengangkatan pada Miosen Akhir - Pliosen. Diduga pada waktu tersebut terjadi pula penunjaman lempeng tektonik dari selatan ke arah utara di Samudera Hindia, penunjaman ini mengakibatkan kegiatan gunungapi yang menghasilkan batuan vulkanik.

## METODE

Pengambilan sampel batuan dan sedimen dilakukan di pantai dan perairan Bayah, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Pengambilan batuan beku di pantai menggunakan peralatan palu geologi.

Pengambilan sampel sedimen menggunakan peralatan *grab sampler* di perairan pada kedalaman laut antara 5 - 20 meter, sedangkan pemboran menggunakan peralatan pemboran dengan membuat bagan di perairan sekitar pantai menghasilkan sampel inti 22 mm dan 65 mm (Widiatmoko drr., 2007).

Unsur kimia utama yang dianalisis adalah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$  dan LOI (*Lost of Ignition*) dilakukan di Laboratorium Geologi Kuartar, Pusat Survei Geologi Bandung. Hasil tersebut selanjutnya diperhitungkan dengan unsur hilang pembakaran, sehingga jumlah total semua unsur kimia tanpa LOI adalah 100%.

Tahap selanjutnya adalah membuat perhitungan untuk masing-masing model geologi, seperti segitiga  $\text{TiO}_2$ -10MnO- $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{FeO}_{\text{total}}$ , dan segitiga AFM. Segitiga  $\text{TiO}_2$ -10MnO- $\text{P}_2$  (Mullen, 1983 dalam Abidin dan Rusmana, 1997) bertujuan untuk mengetahui lingkungan tektonik dan evolusi batuan secara kimiawi. Kandungan  $\text{FeO}_{\text{total}}$  diperhitungkan berdasarkan jumlah antara  $\text{FeO}$  dan  $0,8998\text{Fe}_2\text{O}_3$ , yaitu  $\text{FeO}_{\text{total}} = \text{FeO} + 0,8998\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Rollinson, 1992). Segitiga AFM bertujuan untuk mengetahui asal dan evolusi magma pada batuan beku dan pecahannya (deformasi) menurut Kuno (1968; dalam Rollinson, 1992), serta Irvine dan Baragar (1971; dalam Rollinson, 1992). Pengeplotan hasil analisis kimia batuan beku dan sedimen dapat mengetahui sejauhmana keduanya saling berhubungan membentuk populasi searah (*co-genetic*) atau adanya pengaruh-pengaruh lain pada saat deformasi batuan beku sebagai batuan induk dan transportasi sedimen yang menyebabkan populasi unsur berpencar (Mustafa dan Usman, 2013).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada tulisan ini bersumber dari hasil penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan terdahulu yang dilakukan oleh Widiatmoko drr. (2007) di perairan Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak. Selanjutnya untuk tujuan penulisan ini yang berhubungan dengan model geologi (Tabel 1, 2 dan 3).

Hasil analisis kimia menunjukkan kandungan  $\text{SiO}_2$  berada antara 72,68 - 76,81% termasuk dalam magma asam. Hasil analisis geokimia pada sedimen permukaan dasar laut menunjukkan kandungan  $\text{SiO}_2$  berada antara 67,92 - 83,57%.

Pada batuan beku di pantai, kandungan Si<sub>2</sub>O berkisar antara 74,23 - 83,57%, pada sedimen permukaan dasar laut berkisar antara 67,92 - 75,23% dan pada sedimen pemboran antara 71,26 - 82,91%. Secara umum menunjukkan, bahwa pada batuan beku di pantai, kandungan SiO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan dengan sampel sedimen dasar laut dan pemboran. Sedangkan pola kecenderungan kandungan unsur kimia utama pada masing-masing sampel relatif sama (Gambar 3).

Secara umum komposisi kimia pada sampel batuan, sedimen dasar laut dan sedimen dari pemboran memperlihatkan pola yang sama. Kondisi ini memberikan gambaran bahwa batuan beku sebagai batuan sumber sedimen permukaan hingga mencapai kedalaman tertentu sebagaimana yang ditunjukkan oleh komposisi kimia

mempunyai pola kandungan dan komposisi kimia yang relatif sama.

Berdasarkan diagram SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Peccerillo dan Taylor, 1976), pada batuan beku di pantai, sedimen dasar laut dan sedimen pemboran di daerah penelitian, menunjukkan magma batuan terbentuk pada seri alkalin sangat rendah sampai kalk alkalin sedang (Gambar 4).

Hasil pengeplotan di atas menunjukkan batuan beku vulkanik bersifat asam dari kelompok dasit dan batuan beku asam lainnya seperti basal dan andesit. Evolusi magma sebagaimana pada diagram SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O, menunjukkan bahwa perkembangan evolusi magma pada sampel sedimen cenderung terjadi kenaikan SiO<sub>2</sub> sejalan dengan penurunan kandungan K<sub>2</sub>O, sehingga arah evolusi berkembang dari kalk-alkalin sedang ke arah kalk-alkalin rendah. Pada sampel batuan dan

Tabel 1. Hasil analisis unsur kimia utama pada singkapan batuan di pantai Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak setelah dinormalisasi menjadi 100% tanpa LOI (Widiatmoko drr., 2007)

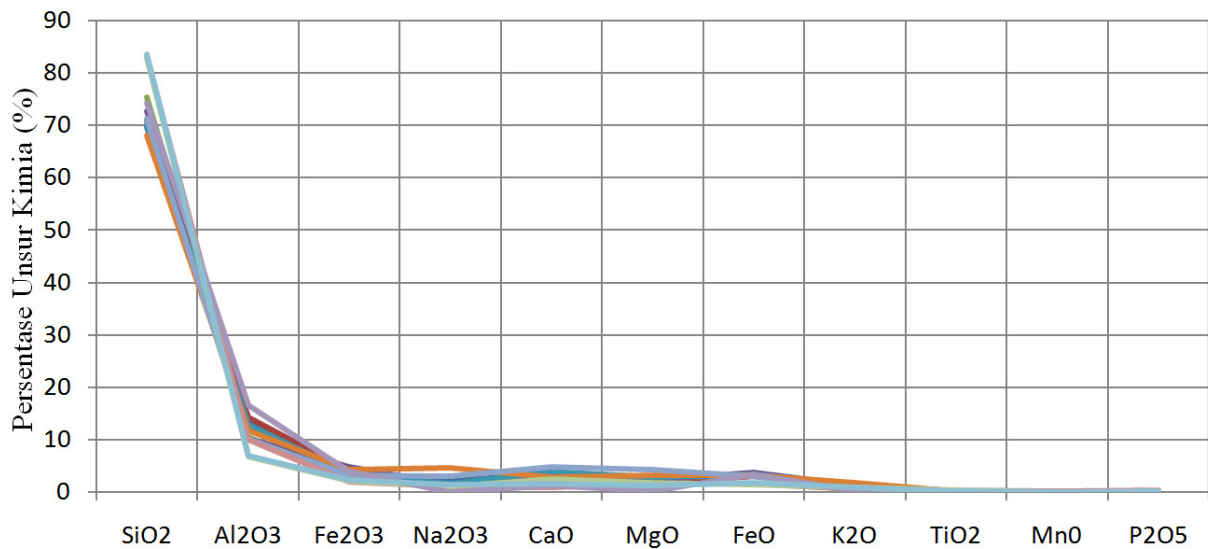
No	Kode Sampel	Komposisi Kimia Utama (%)										
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	FeO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	OC-2	74,23	16,63	4,01	0,03	1,25	0,16	3,34	0,13	0,07	0,07	0,07
2	OC-6	83,57	6,94	2,33	1,51	1,63	1,24	1,71	0,83	0,12	0,01	0,12

Tabel 2. Hasil analisis unsur kimia utama pada sedimen dasar laut perairan Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak setelah dinormalisasi menjadi 100% tanpa LOI (Widiatmoko drr., 2007)

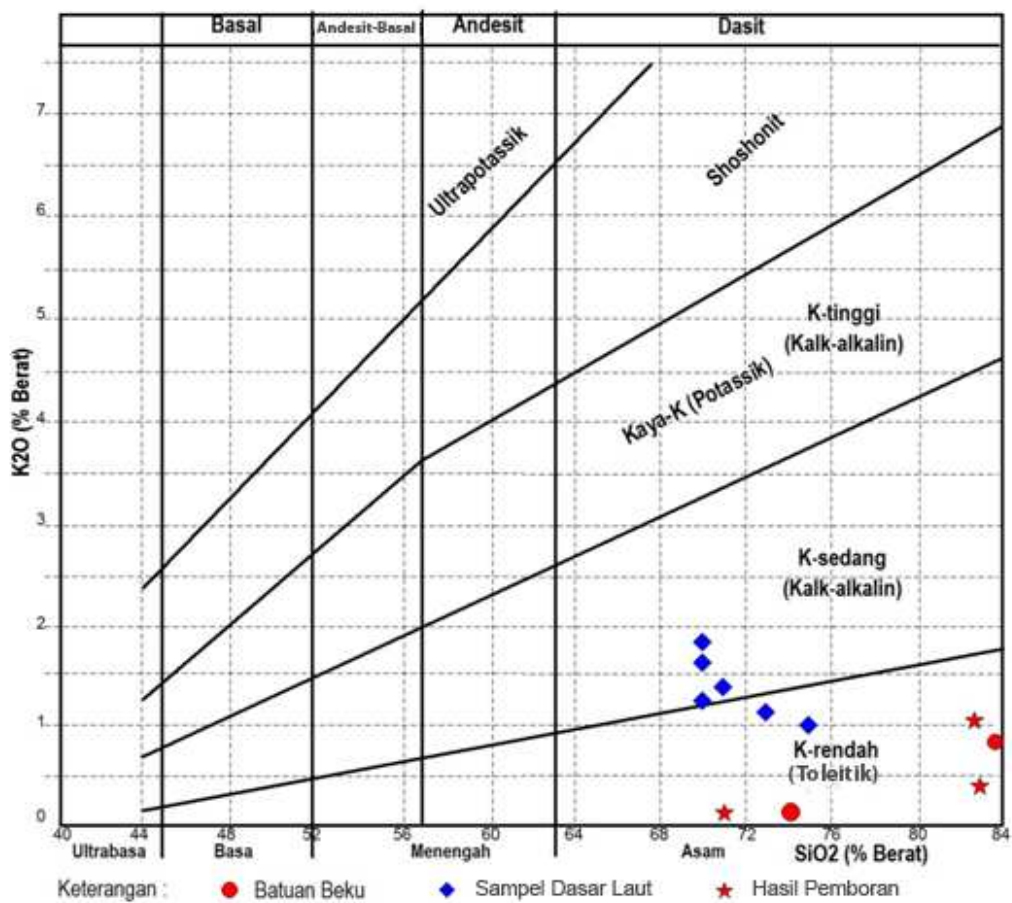
No	Kode Sampel	Komposisi Kimia Utama (%)										
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	FeO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	CBB-4	69,60	13,52	3,46	2,09	3,55	2,59	3,46	1,31	0,24	0,02	0,14
2	CBB-14	70,77	14,24	4,18	1,47	2,68	1,84	3,03	1,38	0,22	0,03	0,15
3	CBB-26	75,23	10,43	2,40	1,36	3,17	2,45	3,40	1,08	0,26	0,02	0,18
4	CBB-44	72,69	10,16	4,77	1,47	3,43	2,35	3,80	1,17	0,08	0,01	0,07
5	CBB-47	70,08	12,78	3,52	1,55	3,97	2,82	3,45	1,53	0,13	0,02	0,16
6	CBB-60	67,92	11,78	4,26	4,61	2,91	3,20	3,16	1,80	0,13	0,03	0,19

Tabel 3. Hasil analisis unsur kimia utama sedimen pemboran di perairan Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak setelah dinormalisasi menjadi 100% tanpa LOI (Widiatmoko drr., 2007)

No	Kode Sampel	Komposisi Kimia Utama (%)										
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	FeO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn0	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	BH-3 21-21,8 m	71,26	10,13	3,16	2,94	4,66	4,19	3,01	0,33	0,17	0,08	0,08
2	BH-4 13,27-13,32 m	82,91	9,82	1,81	1,01	0,78	1,41	1,42	0,49	0,09	0,06	0,20
3	BH-5 28-29 m	82,87	6,82	2,10	1,08	2,54	1,73	1,50	0,95	0,30	0,02	0,09



Gambar 3. Grafik kecenderungan pola komposisi kimia utama sampel batuan, sedimen dasar laut dan bor di perairan Bayah dan sekitarnya, Kabupaten Lebak.



Gambar 4. Diagram SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O pada batuan beku di pantai, sedimen dasar laut dan sedimen bor di perairan Bayah dan sekitarnya, menurut Peccerillo dan Taylor (1976).

sedimen pemboran memperlihatkan pola evolusi magma sebaliknya, cenderung terjadi kenaikan  $\text{SiO}_2$  pada saat terjadi kenaikan  $\text{K}_2\text{O}$ , tetapi masih dalam seri yang sama, yaitu seri toleitik. Namun secara umum menunjukkan seri magma berkisar pada seri toleitik dan kalk-alkalin sedang.

Selanjutnya untuk memperkuat dan mempertegas hasil analisis evolusi magma di atas, dapat dilakukan dengan pengeplotan data unsur kimia utama pada diagram AFM dengan terlebih dahulu memperhitungkan unsur A (total alkali) berupa  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ ; F berupa  $\text{FeO}_{\text{total}}$  dan M berupa unsur/senyawa  $\text{MgO}$ . Pada diagram AFM tersebut terdapat pembagian dua seri magma, yaitu seri toleitik dan kalk-alkalin yang dipisahkan oleh dua garis (Gambar 5).

Pada diagram AFM seluruh sampel batuan beku yang diambil di pantai dan sebagian besar sedimen dasar laut berada di sekitar batas antara seri toleitik dan kalk-alkalin sedang. Sebaliknya, sampel sedimen hasil pemboran seluruhnya berada pada seri kalk-alkalin.

Hasil pengeplotan pada diagram AFM tersebut cenderung sama dengan diagram  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$  (Peccerillo dan Taylor, 1976), yang menunjukkan sebagian besar sampel yang diplot berada antara seri toleitik dan kalk-alkalin sedang.

Selain menunjukkan evolusi dan seri magma serta perkembangan afinitas magma, hasil pengeplotan tersebut juga dapat menggambarkan posisi tektonik batuan dan sedimen. Menurut Miyashiro (1974), seri magma kalk-alkalin berhubungan dengan zona penunjaman (*subduction*) dan daerah benua (*continent*), dan seri toleitik berhubungan dengan samudera.

Posisi lingkungan tektonik batuan beku di pantai, sedimen dasar laut dan sedimen pemboran daerah Bayah dan sekitarnya, lebih lanjut dapat diketahui berdasarkan hasil pengeplotan unsur kimia utama pada diagram segi tiga  $\text{TiO}_2$ - $10\text{MnO}$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ . Hasil pengeplotan tersebut menunjukkan bahwa batuan beku pantai, sedimen dasar laut dan sedimen pemboran berada pada dua lingkungan tektonik, yaitu lingkungan tektonik Andesit Kepulauan Samudera dan busur benua (Gambar 6).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa batuan beku Bayah berasal dari daerah samudera yang terpisah dan bermigrasi ke arah kepulauan dan bercampur dengan massa batuan beku benua membentuk batuan beku transisi. Namun karena sebagian besar berada pada lingkungan tektonik andesit kepulauan samudera, dan juga terbukti dari

material sedimen dasar laut dan hasil pemboran juga berada pada lingkungan tektonik andesit kepulauan samudera; maka dapat disimpulkan bahwa batuan beku sebagai batuan sumber dan sedimen di sekitar batuan beku tersebut sebagai batuan transisi yang condong ke lingkungan tektonik samudera.

Hasil penelitian secara kimia terdahulu terhadap beberapa batuan beku vulkanik di Jawa dan Laut Jawa, menunjukkan bahwa tidak seluruhnya batuan beku di daerah kepulauan terbentuk pada lingkungan busur benua. Hal ini disebabkan pada daerah yang terbentuk oleh interaksi samudera dan benua oleh penyusupan kepingan batuan samudera ke dalam batuan benua, sehingga membentuk lingkungan tektonik yang berorientasi dengan lingkungan transisional (Usman, 2012). Kondisi ini umumnya sebagai akibat pergerakan batuan samudera dari kelompok basal, andesit dan dasit, terutama andesit kepulauan samudera, basal punggung tengah samudera (*Mid-oceanic Ridge Basalt*) dan toleitik ke arah benua (Hutchison, 1982). Di samping itu, penyusupan batuan samudera di daerah Bayah dan sekitarnya, juga dapat dilihat dari beberapa batuan ofiolit yang tersingkap di sekitar daerah tersebut. Menurut Hamilton (1978 dan 1979), singkapan ofiolit di selatan Bayah, Karangsambung (Jawa Tengah) dan Meratus (Kalimantan Selatan) menunjukkan adanya penyusunan batuan samudera di daerah kontinen.

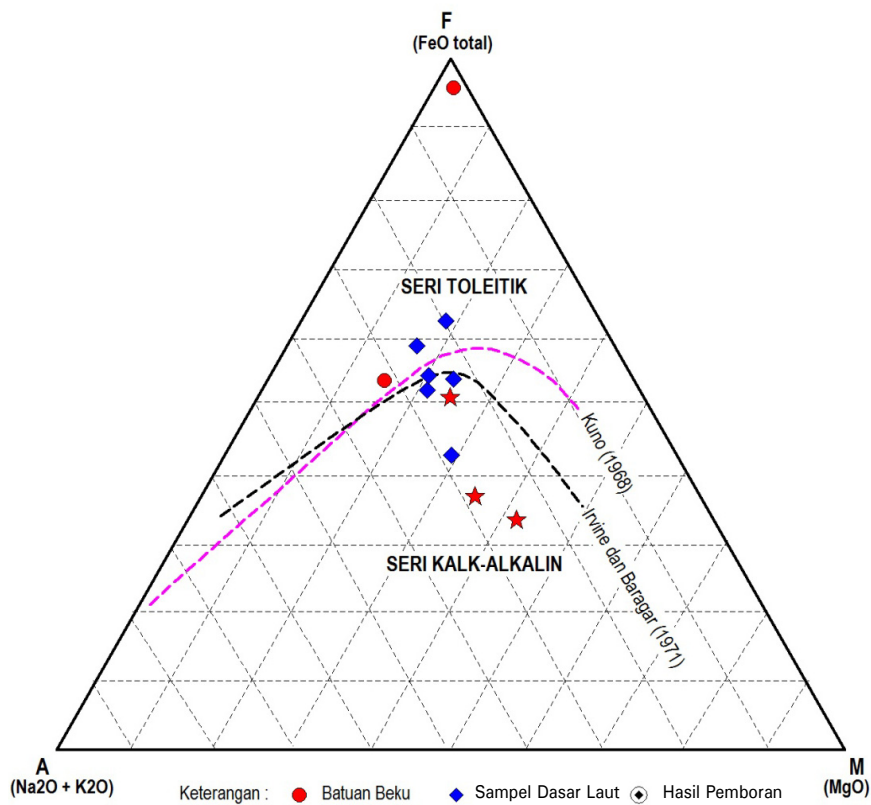
## KESIMPULAN

Berdasarkan diagram  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{K}_2\text{O}$ , menunjukkan bahwa perkembangan evolusi magma secara umum berkisar pada seri kalk-alkalin rendah dan kalk-alkalin sedang dan condong ke arah seri toleitik sebagai penciri lingkungan tektonik samudera.

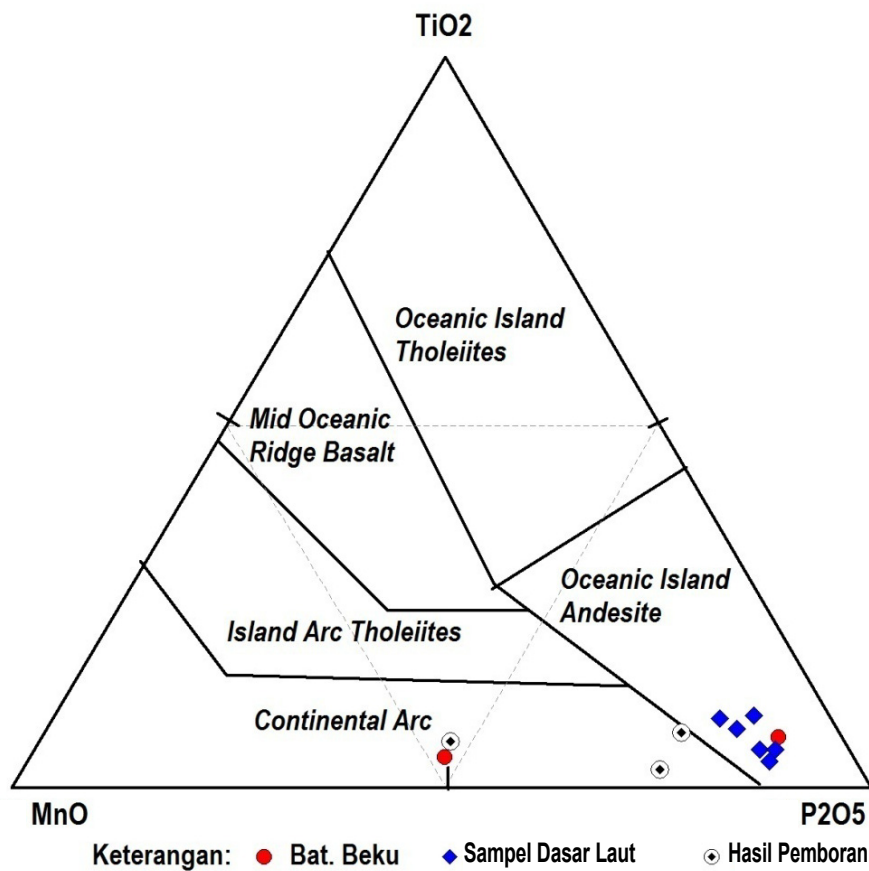
Sedimen di daerah Bayah berhubungan dengan seri magma dengan afinitas rendah mulai toleitik hingga kalk-alkalin sedang dan batuan samudera yang menyusup ke busur benua.

Seri magma toleitik dan kalk-alkalin sedang, dapat membantu dalam menjelaskan sumber sedimen dari batuan beku yang berasal dari daerah transisi antara kontinen dan samudera, tetapi dominan condong ke arah batuan asal samudera.

Hasil ini juga membuktikan bahwa batuan samudera yang menyusup ke busur kepulauan atau busur benua, sebagian mengalami percampuran. Dengan demikian maka batuan beku sebagai sumber sedimen di daerah Bayah tidak sepenuhnya berasosiasi dengan batuan tipe benua,



Gambar 5. Diagram AFM (Kuno, 1968; Irvine dan Baragar, 1971; dalam



Gambar 6. Lingkungan tektonik sampel daerah Bayah dan sekitarnya berdasarkan diagram TIO<sub>2</sub>-10MnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> menurut Mullen, 1983.



tetapi berasosiasi pula dengan batuan samudera. Kondisi ini penting untuk diketahui, terutama dalam eksplorasi energi dan sumber daya mineral yang lebih mengutamakan adanya batuan beku dan sedimen dengan tipe benua.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan atas dorongan dan izinnya untuk melakukan penelitian yang berhubungan dengan lingkungan tektonik dan evolusi batuan. Secara khusus, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Emmy R. Suparka, atas koreksi, saran-saran dan kiriman beberapa makalah yang berhubungan dengan kimia batuan beku dan kimia deformasi batuan beku.

#### DAFTAR ACUAN

- Abidin, H.Z. and Rusmana, E., 1997. Petrology and Geochemistry of The Tertiary Volcanic/ Subvolcanic Rocks From The Masupa Ria Gold Prospect, East Kalimantan. *Proceedings of 26<sup>nd</sup> Annual Convention of Indonesian Association of Geologist*, Jakarta: h.237-253.
- Hamilton, W., 1978. *Tectonics Map of the Indonesian Region*. Prepared on Behalf of The Ministry of Mines, Government of Indonesia and The Agency for International Development US. Department of State. Department of the Interior, United States Geological Survey Publisher, Washington.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*, United States Geological Surveys Professional Paper 1078. United States Government Printing Office, Washington: 345 h.
- Hutchison, C.S., 1982. Indonesia: Regional Distribution and Character of Active Andesite Volcanism. In Thorpe, R.S. (edt), 1982. *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rock*. John Wiley & Sons: h.207-224.
- Mustafa, M.A. dan Usman, E., 2013. Analisis Perbandingan Geokimia Granit dan Sedimen Dasar Laut di P. Singkep Bagian Timur, Provinsi Kepulauan Riau. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(2). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung: h.131-140.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic Rock Series in Island Arc and Active Continental Margin. *American Journal of Science*. (274): h.321-355.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contribution of Mineral Petrology* 58: h.63-81.
- Rollinson, H., 1992. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation and Interpretation*. Longman Group Limited, London: 352 h.
- Simandjuntak, T.O. and Barber, A.J., 1996. Contrasting Tektonic Styles in the Neogene Orogenic Belt of Indonesia. In Hall, R. and Blundel, D.J. (eds), *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. The Geological Society Special Publication 106, London: h.185-201.
- Sujatmiko dan Santoso, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Leuwidamar*, Jawa. Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Usman, E., 2012. *Hubungan Antara Tektonik Paleogen - Neogen dan Vulkanik Pulau Bawean - Gunung Muria Dalam Mengontrol Pembentukan Cekungan Pati, Jawa Tengah*. Disertasi Doktor Universitas Padjadjaran, Bandung: 265 h. Tidak diterbitkan.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, General Geology. The Hague, Martinus Nijhof, Netherland Government. Printing Office: 997 h.
- Widiatmoko, H.C., Kamiludin, U., Darlan, Y., Budhi, A.S., Masduki, A., Aryanto, N.C.D., Setiady, D., Dewi., K.T., Gustiantini, L., Hartono, Surachman, M., Permanawati, Y. dan Rohendi, E., 2007. *Penyelidikan Lanjutan Prospek Emas Cibobos-Bayah, Lebak, Banten*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Laporan Intern, Bandung: 188 h.

