

MINERALOGI BENTONIT TASIKMALAYA SEBAGAI MEDIA PENYERAP CO₂ MELALUI KARBONASI HIDROTHERMAL

MINERALOGY OF TASIKMALAYA BENTONITE AS CO₂ ABSORBENT MEDIUM BY HYDROTHERMAL CARBONATION

Anita Yuliyanti¹, Anggoro Tri Mursito¹, Widodo¹, Syamsul Rizal Muharam²

¹Puslit Geoteknologi – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Sangkuriang, Bandung

²Prodi Kimia, Jurusan Fakultas Pendidikan MIPA – Universitas Pendidikan Indonesia

ABSTRAK Kristalinitas mineral kalsit yang terpresipitasi pada proses karbonasi hidrotermal dianalisis menggunakan metode XRD (*X-ray diffraction*) semi-kuantitatif dengan bantuan piranti lunak komersial *PeakFit*® serta SEM (*scanning electron microscope*) untuk memperoleh ukuran kristalit dan bentuk morfologinya. Bentonit Tasikmalaya mengandung mineral-mineral potassium, kalsium, magnesium silikat berupa montmorilonit, klinoptilolit, dan anortit serta mampu menyerap CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk mineral kalsit. Hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran kristalit kalsit yang terbentuk mempunyai korelasi dengan prosentase gas CO₂ yang terserap. Penyerapan CO₂ tertinggi tercapai pada bentonit CaBK dan NaBK dengan penambahan Ca(OH)₂ pada suhu rendah masing-masing sebesar 9,9% dari massa percontohan. Adapun kristalinitas mineral kalsit terbesar tercapai pada bentonit CaBK yang menghasilkan kristalit kalsit berukuran 463,36Å. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentonit

Tasikmalaya mampu menyerap CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk kalsit.

Kata kunci: bentonit, kalsit, karbonasi hidrotermal, CO₂.

ABSTRACT Calcite precipitated during hydrothermal carbonation process was analyzed using semi-quantitative XRD (*X-ray diffraction*) method, supported with commercial software *PeakFit*®, and SEM (*scanning electron microscope*) method to study its crystallite size and morphology. Tasikmalaya bentonite consist of potassium, calcium, magnesium silicate minerals as montmorillonite, clinoptilolite, and anorthite. The result indicates that crystallite sizes correlate with absorbed CO₂ percentage. The highest CO₂ absorption was obtained from CaBK and NaBK bentonite with addition of 9.9% Ca(OH)₂ for each sample at low temperature. Largest calcite crystallinity obtained from CaBK bentonite that resulted 463.36Å crystallites size. The result indicates that Tasikmalaya bentonite has an ability to absorb and store CO₂ as calcite.

Keywords: bentonite, calcite, hydrothermal carbonation, CO₂.

PENDAHULUAN

Seiring dengan upaya adaptasi dan mitigasi terhadap isu perubahan iklim, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca terutama gas CO₂ menjadi salah satu perhatian diberbagai belahan dunia. Upaya tersebut antara lain dalam bentuk pengurangan emisi karbon di atmosfer dengan cara mengembangkan teknologi untuk menangkap dan menyimpan gas CO₂ (*carbon capture storage*), salah satunya dengan menyimpan dalam bentuk mineral (*mineral CO₂ sequestration*).

Naskah masuk : 30 Desember 2016

Naskah direvisi : 22 Maret 2018

Naskah diterima : 16 April 2018

Anita Yuliyanti
 Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
 Kompleks LIPI Gd. 70, Jl Sangkuriang Bandung 40135
 Email : anita_yuliyanti@yahoo.com

Konsep *mineral CO₂ sequestration* menyerupai proses pelapukan secara alami, dimana potasium, kalsium dan magnesium silikat atau oksida berubah menjadi karbonat. Mineral kalsit termasuk dalam kelompok mineral karbonat yang melimpah dan dapat digunakan sebagai material penangkap dan penyimpan CO₂ dari atmosfer. Mineral ini mempunyai rumus kimia CaCO₃ dan dapat dijumpai sebagai mineral alami maupun buatan. Sebagai mineral alami kalsit ditemukan baik pada batuan sedimen (batugamping), batuan metamorf (marmer kalsit) maupun batuan beku (karbonatit dan kimberlit) (Kuhnel et al., 1975). Kaitannya dengan *mineral CO₂ sequestration*, kalsit juga dapat diperoleh sebagai kristal buatan dari hasil proses karbonasi hidrotermal (Montes-Hernandez et al., 2008). Proses karbonasi hidrotermal itu sendiri memerlukan media berupa material yang banyak mengandung mineral-mineral potasium, kalsium atau magnesium silikat dan/atau oksida, salah satu diantaranya adalah bentonit.

Bentonit berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai media penyimpanan CO₂ melalui proses karbonasi hidrotermal. Bentonit adalah lempung palstis dan sangat koloid yang mempunyai sifat khas dapat mengembang saat terkena air, terbentuk oleh alterasi gelas vulkanik secara insitu, dan tersusun dominan oleh mineral lempung montmorilonit atau kelompok smektit. (Grim, 1968; Christidis & Huff, 2009). Deposit bentonit yang bernilai ekonomis umumnya terbentuk melalui beberapa mekanisme, diantaranya: (1) diagenesa gelas vulkanik, (2) ubahan hidrotermal dari gelas vulkanik, dan (3) pembentukan sedimen yang kaya smektit di danau garam dan lingkungan sabkha (Christidis and Huff, 2009). Bentonit dapat dibedakan menjadi 2 tipe berdasarkan sifat fisik dan mineraloginya ke dalam tipe bentonit Na atau Na-Ca (intermediere) dan tipe bentonit Ca (Takagi et al., 2005). Potensi bentonit di Indonesia penyebarannya cukup luas, diantaranya di Pulau Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Irian (Iwasaki et al., 1995) dan potensinya di Tasikmalaya mencapai 12.525.193 ton (Pusdalibang Jawa Barat, 2015). Bentonit secara mineralogi tersusun oleh smektit dengan rumus kimia ((Na,Ca) (Al,Mg) 6(Si4O10) 3(OH)6-nH₂O) dan dari hasil penelitian terdahulu diketahui jenis mineral lempung tersebut mempunyai kapasitas *CO₂ sequestration* hingga 161,2 kg CO₂·m⁻³ (Ptáček et al., 2007). Melalui proses karbonasi

hidrotermal, smektit akan mengalami peluluhan ion Ca²⁺ dan mengikat CO₂ menghasilkan presipitasi kristal kalsium karbonat (CaCO₃).

Penambahan basa kuat pada proses karbonasi dilakukan untuk meningkatkan pengaruh reaksi antara gas CO₂ dengan bentonit. Beberapa senyawa basa, misal NaOH, KOH dan Ca(OH)₂ bereaksi dengan air membentuk kation logam (Na⁺, K⁺, Ca²⁺) (aq) + OH⁻ (aq) + H₂O (l) (Jeffery et al., 1989). Gas CO₂ sangat mudah bereaksi dengan air membentuk asam karbonat (H₂CO₃) pada kondisi pH rendah dan senyawa karbonat (CO₃²⁻) pada pH tinggi, diantaranya berbentuk bikarbonat (HCO₃⁻). Apabila senyawa basa tersebut direaksikan dengan gas CO₂, akan terjadi reaksi antara ion dari basa dan ion karbonat yang menghasilkan senyawa karbonat. Sedangkan reaksi antara kation logam dan bentonit terjadi melalui mekanisme pertukaran kation. Reaksi asam basa juga dapat terjadi antara gas CO₂ dengan basa Ca(OH)₂ membentuk CaCO₃.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mineralogi dan kapasitas bentonit Tasikmalaya untuk menyerap dan menyimpan CO₂ melalui proses karbonasi hidrotermal. Kristalinitas kalsit tersebut dapat memberikan gambaran kemampuan bentonit sebagai media penyerapan CO₂.

Rujukan kristalinitas kalsit mengacu kepada ukuran kisi kristal kalsit yang diperoleh dari hasil analisis XRD semi-kuantitatif dan SEM.

LOKASI DAN GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Penelitian lapangan dilaksanakan di Kecamatan Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat. Lokasi tersebut berada sekitar 50 km di sebelah selatan Tasikmalaya. (Gambar 1). Secara regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Karangnunggal (Supriatna et al., 1992). Litologi yang menyusun daerah tersebut dari urutan umur yang tertua hingga termuda adalah: a). breksi aneka bahan dan tuf dengan sisipan lava, Formasi Jampang (Tomj); b). tuf berselingan dengan breksi dasitik dan sisipan batugamping, Anggota Genteng Formasi Jampang (Tmjg); c). batugamping foraminifera dan batugamping pasiran, Formasi Kalipucang (Tmkl); d). batugamping pasiran, kalsilitit dan napal, Anggota Batugamping Formasi Pamutuan (Tmpl); e). batupasir gampingan, batupasir tufan,

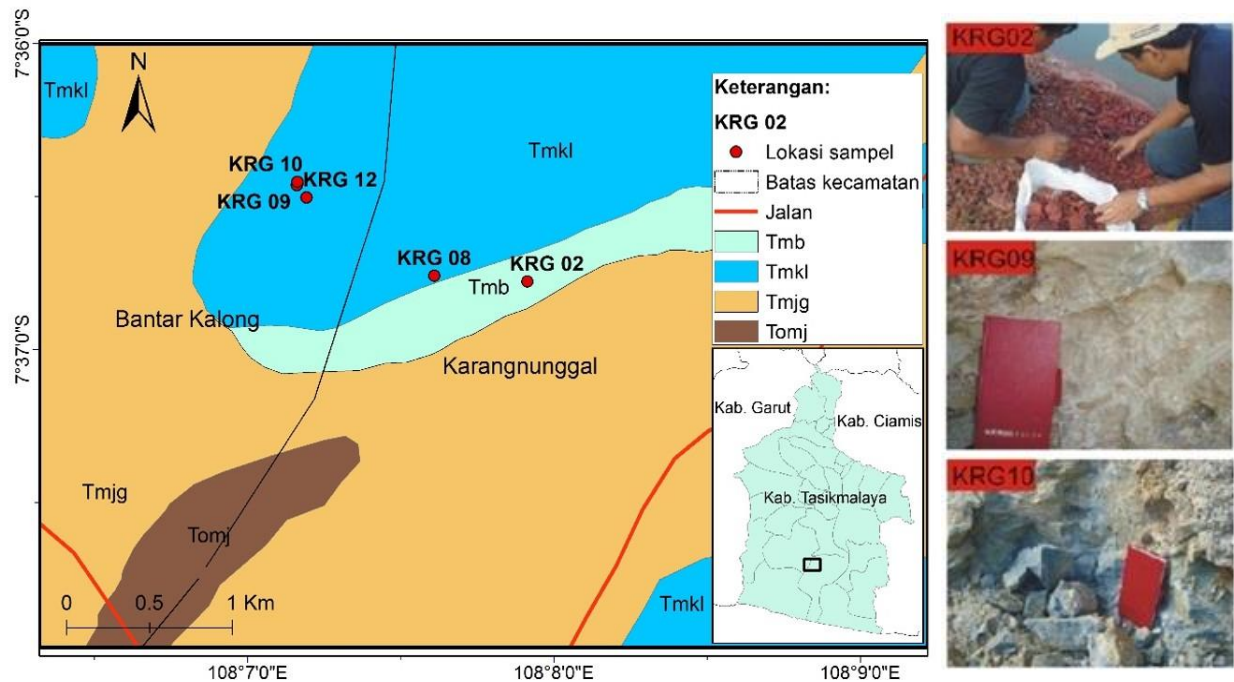
bersisipan serpih dan lensa-lensa batugamping, Formasi Bentang (Tmb); dan f). lanau, pasir, kerikil, kerakal, Endapan aluvium (Qal). Bentonit di daerah penelitian terdapat pada Satuan Anggota Genteng Formasi Jampang (Tmjg) yang tertutupi oleh Satuan Formasi Kalipucang (Tmkl) dan Satuan Formasi Bentang (Tmb), sebagian tersingkap di permukaan terutama oleh aktivitas penambangan.

METODE

Dalam memenuhi kebutuhan bentonit sebagai media penyerap dan penyimpan CO₂ perlu

dilakukan pencarian data sekunder dan penelitian geologi di lapangan untuk mengetahui potensi serta pengambilan percontoh bentonit dari singkapan yang ada di lokasi penelitian (Gambar 1). Percontoh bentonit diambil dari tiga lokasi singkapan yang berbeda di daerah Karangnunggal, yaitu NaBK, CaMM dan CaBK dengan kode lokasi berturut-turut KRG02, KRG09, dan KRG10.

Penelitian laboratorium dilakukan untuk karakterisasi bentonit, proses karbonasi hidrotermal bentonit, karakterisasi hasil karbonasi



Gambar 1. Peta geologi regional dan lokasi pengambilan percontoh dan foto pengambilan sampel bentonit NaBK di lokasi KRG02 (atas), singkapan bentonit CaMM di lokasi KRG09 (tengah) dan singkapan bentonit CaBK di lokasi KRG10 (bawah) (peta geologi dimodifikasi dari Supriatna et al., 1992).

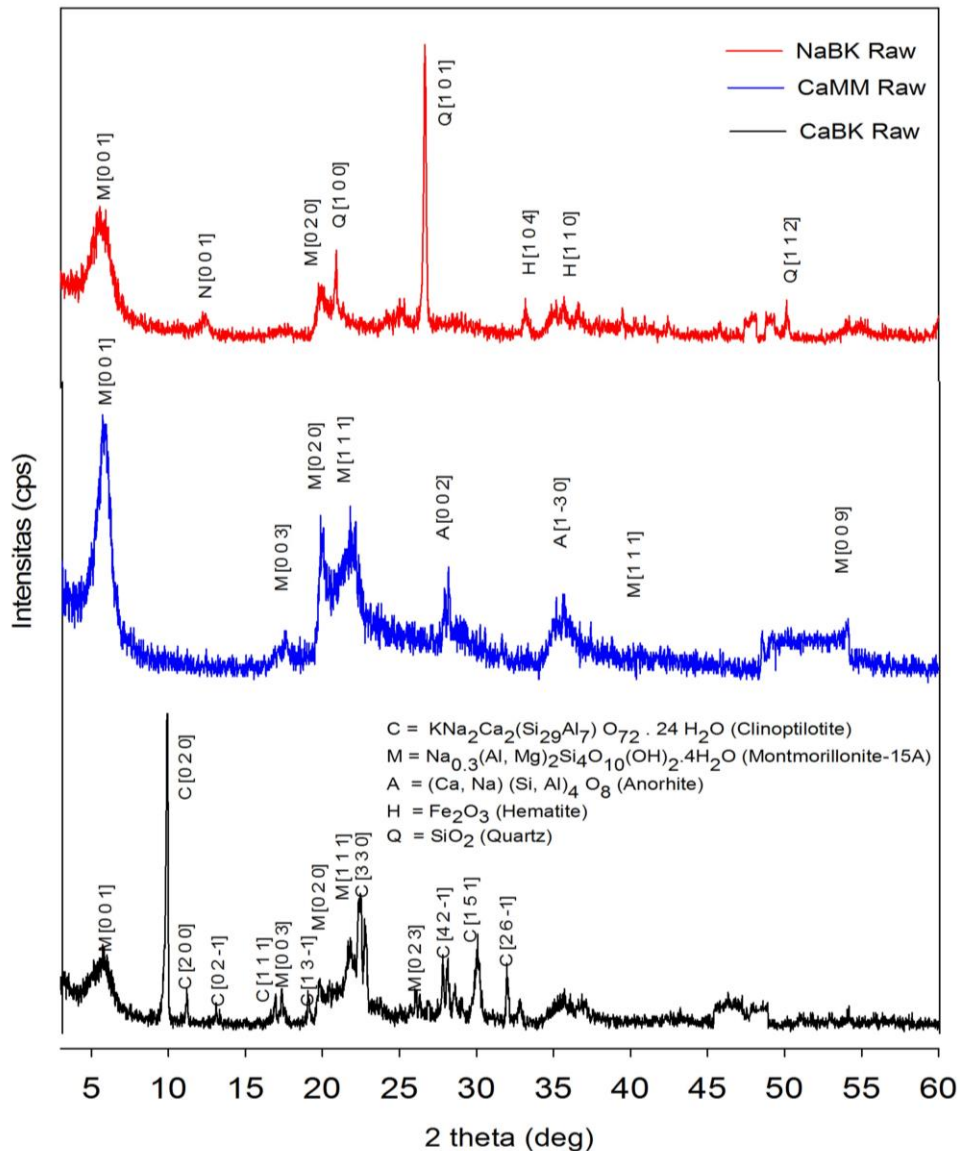
Tabel 1. Data perlakuan yang diberikan pada bentonit Tasikmalaya dan kode conto yang digunakan.

Bentonit	Senyawa Basa	Suhu (°C)	
		5	60
NaBK	Ca(OH) ₂	NaBK+Ca(OH) ₂ 5	NaBK+Ca(OH) ₂ 60
CaMM		CaMM+Ca(OH) ₂ 5	CaMM+Ca(OH) ₂ 60
CaBK		CaBK+Ca(OH) ₂ 5	CaBK+Ca(OH) ₂ 60
NaBK	KOH	NaBK+KOH 5	NaBK+KOH 60
CaMM		CaMM+KOH 5	CaMM+KOH 60
CaBK		CaBK+KOH 5	CaBK+KOH 60
NaBK	NaOH	NaBK+NaOH 5	NaBK+NaOH 60
CaMM		CaMM+NaOH 5	CaMM+NaOH 60
CaBK		CaBK+NaOH 5	CaBK+NaOH 60

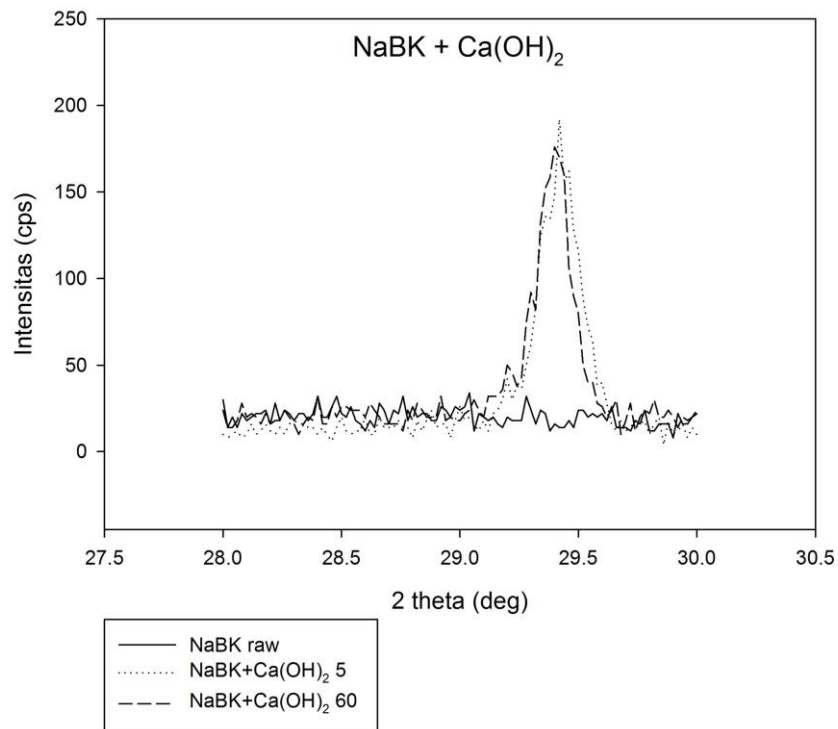
hidrotermal, serta mengukur kristal kalsit hasil karbonasi hidrotermal menggunakan metode difraksi sinar-X (XRD) dan *scanning electron microscope* (SEM). Dalam analisis dilaboratorium ini dibutuhkan 5 gr percontoh bentonit berukuran 200 mesh ditambahi dengan 95 gr air. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam *gas wash bottle* dan diletakkan dalam *waterbath* (suhu diset 60°C) untuk dialiri gas CO_2 sebesar 4 L/menit selama 1 jam. Prosedur diulangi dengan menggunakan *coolbath* (suhu diset 5°C). Perlakuan yang sama diulang pada 18 percontoh bentonit yang diberi perlakuan (Tabel 1) berupa penambahan basa $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH dan NaOH sebanyak 1 gr secara terpisah dan ditambahkan air sejumlah 94 gr.

Setelah waktu 1 jam kemudian didinginkan perlahan-lahan dan dihitung volume gas yang dilepaskan serta fase padatan dan cairannya dipisahkan dan dikumpulkan dengan cara filtrasi. Kandungan gas CO_2 dalam fase padatan diukur menggunakan alat ORSAT dan fase cairan diukur menggunakan cara titrasi. Residu yang diperoleh kemudian dikeringkan dan dianalisis.

Percobaan karbonasi hidrotermal dilakukan di Laboratorium Kimia Mineral Puslit Geoteknologi – LIPI Bandung, analisis SEM (JEOL, JSM-6360LA) di Laboratorium Pusat Survei Geologi dan analisis XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Mineral Tekmira.



Gambar 2. Difraktogram XRD percontoh bentonit raw (CaBK raw, CaMM raw dan NaBK raw).



Gambar 3. Identifikasi puncak hkl (104) mineral kalsit pada difraktogram XRD percontoh bentonit NaBK dengan penambahan Ca(OH)_2 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian XRD

Analisis XRD dilakukan menggunakan difraktometer Shimadzu tipe XRD-7000 yang dilengkapi tabung sinar-X Cu dengan panjang gelombang $1,54\text{\AA}$, sudut perekaman (*2-theta*) $3 - 60^\circ$ dengan *mode continuous scan*, kecepatan perekaman 6 (deg/min) dan jarak *sampling* data $0,02\text{ (deg)}$. Hasil analisis tersebut berupa data sudut *2-theta* ($^\circ$) terhadap intensitas (cps atau *count per second*). Data tersebut kemudian digunakan untuk mendeteksi kemunculan puncak-puncak mineral berdasarkan acuan puncak mineral standar. Piranti lunak Peakfit® memiliki prosedur pengepasan puncak yang memungkinkan pengguna mengolah data berbentuk kurva untuk memperoleh parameter puncaknya (Chen et al., 2004). Jenis data XRD dapat diolah lebih lanjut menggunakan piranti lunak untuk memperoleh karakteristik numerik berupa FWHM (*Full Width at Half Max*) dan pusat puncak secara otomatis melalui menu ulasan numerik (Systat Software Inc., 2013). Karakteristik numerik yang didapat kemudian digunakan dalam perhitungan ukuran

mineral secara semi-kuantitatif berdasarkan pada persamaan Scherrer (Shi et al., 1992), sebagai berikut:

$$t = \frac{K \times \lambda}{B \times \cos \theta_B}$$

t = ketebalan kristalit (\AA)

K= konstanta tergantung pada bentuk kristalit

λ = panjang gelombang sinar-X (\AA)

B= FWHM (*full width at half max*) (rad)

θ_B = *Bragg angle* atau *theta* (rad)

Hasil analisis XRD bentonit raw CaBK, CaMM dan NaBK menunjukkan kehadiran puncak yang dapat diidentifikasi sebagai montmorilonit, klinoptilolit, anortit, hematit dan kuarsa (Gambar 2). Hasil percobaan menunjukkan bahwa penggunaan basa pada proses karbonasi hidrotermal memberikan pola difraksi sinar-X yang berbeda. Puncak kalsit diketahui paling banyak muncul pada percontoh bentonit yang diberi tambahan basa Ca(OH)_2 (Gambar 3).

Tabel 2. Hasil identifikasi puncak mineral kalsit (tanda + menunjukkan kemunculan peak yang dimaksud).

No.	Kode Percontoh	hkl (1 0 4)	hkl lainnya
1.	CaBK raw		
2.	CaBK+Ca(OH) ₂ 5	+	(1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 1 8), (1 1 6), (1 2 2)
3.	CaBK+Ca(OH) ₂ 60	+	(1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 1 8), (1 1 6)
4.	CaBK+KOH 5	+	(1 1 0), (2 0 2)
5.	CaBK+KOH 60	+	(2 0 2)
6.	CaBK+NaOH 5	+	
7.	CaBK+NaOH 60	+	
8.	CaMM raw	-	
9.	CaMM+ Ca(OH) ₂ 5	+	(1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 2 4), (0 1 8), (1 1 6)
10.	CaMM+ Ca(OH) ₂ 60	+	(1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 2 4), (0 1 8), (1 1 6), (2 1 1)
11.	CaMM+KOH 5	+	
12.	CaMM+KOH 60	+	(2 0 2)
13.	CaMM+NaOH 5		
14.	CaMM+NaOH 60	+	(0 1 8)
15.	NaBK raw		
16.	NaBK+ Ca(OH) ₂ 5	+	(0 1 2), (1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 1 8), (1 1 6)
17.	NaBK+ Ca(OH) ₂ 60	+	(0 1 2), (1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 1 8),
18.	NaBK+KOH 5		(1 1 3)
19.	NaBK+KOH 60		(1 1 3)
20.	NaBK+NaOH 5		(1 1 3)
21.	NaBK+NaOH 60		(1 1 3)

Tabel 3. Hasil karakterisasi puncak (1 0 4) mineral kalsit menggunakan prosedur turunan kedua (*second derivative*).

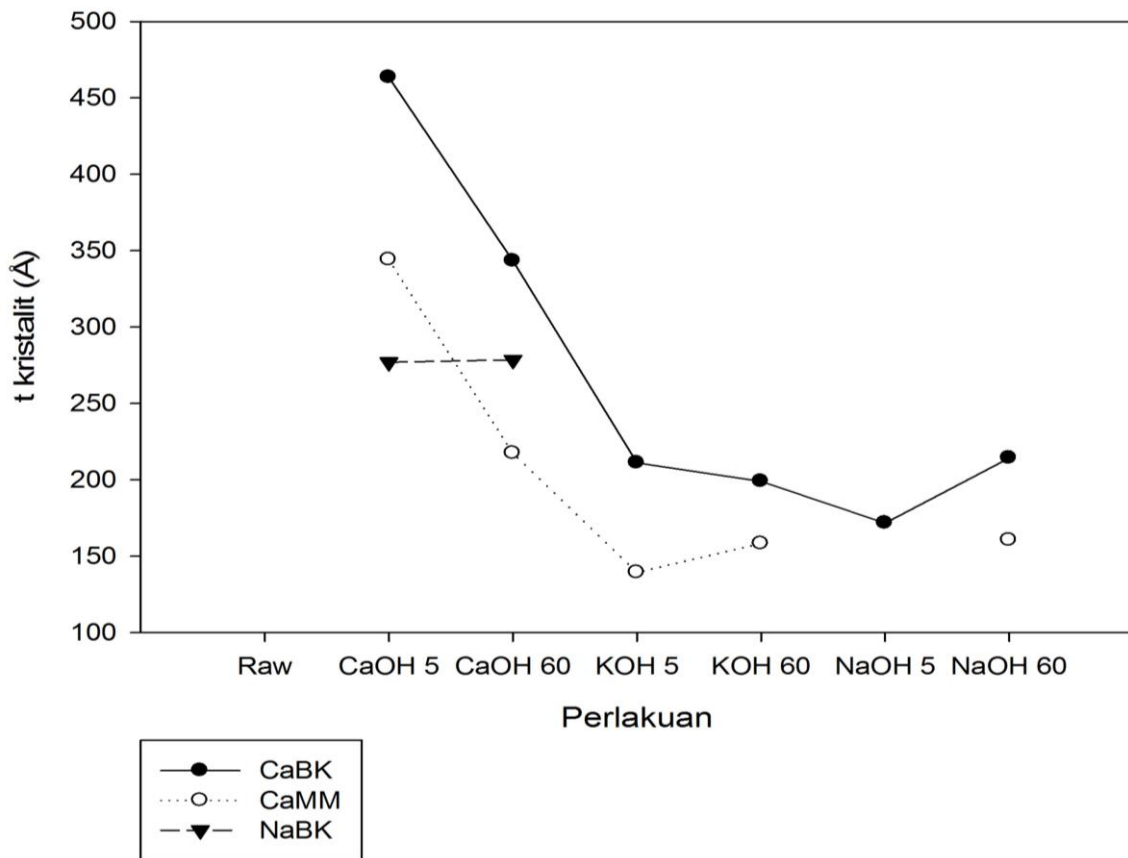
No.	Kode Percontoh	2 theta (°)	Full Width at Half Max (FWHM)
1	CaBK wantah	-	-
2	CaBK+ Ca(OH) ₂ 5	29,46	0,1851
3	CaBK+ Ca(OH) ₂ 60	29,46	0,2498
4	CaBK+KOH 5	29,62	0,4065
5	CaBK+KOH 60	29,50	0,4311
6	CaBK+NaOH 5	29,46	0,4995
7	CaBK+NaOH 60	29,60	0,4005
8	CaMM wantah	-	-
9	CaMM+ Ca(OH) ₂ 5	29,50	0,2493
10	CaMM+ Ca(OH) ₂ 60	29,48	0,3946
11	CaMM+KOH 5	29,56	0,6154
12	CaMM+KOH 60	29,50	0,5420
13	CaMM+NaOH 5	-	-
14	CaMM+NaOH 60	29,58	0,5346
15	NaBK wantah	-	-
16	NaBK+ Ca(OH) ₂ 5	29,42	0,3096
17	NaBK+ Ca(OH) ₂ 60	29,40	0,3080
18	NaBK+KOH 5	-	-
19	NaBK+KOH 60	-	-
20	NaBK+NaOH 5	-	-
21	NaBK+NaOH 60	-	-

Difraktogram percontoh dengan perlakuan tersebut menunjukkan perbedaan dengan difraktogram percontoh bentonit *raw* berupa kehadiran puncak baru yang diidentifikasi sebagai puncak kalsit. Identifikasi puncak baru dilakukan dengan menumpang-tindihkan difraktogram masing-masing percontoh. Kalsit teridentifikasi (Tabel 2) antara lain pada hkl (1 0 4), (1 1 0), (1 1 3), (2 0 2), (0 2 4), (0 1 8), (1 1 6), (2 1 1), (1 2 2). Pada hkl (1 0 4) merupakan puncak yang kehadirannya menunjukkan intensitas paling tinggi dan dianggap mewakili kristalinitas mineral tersebut sehingga selanjutnya dipilih untuk karakterisasi.

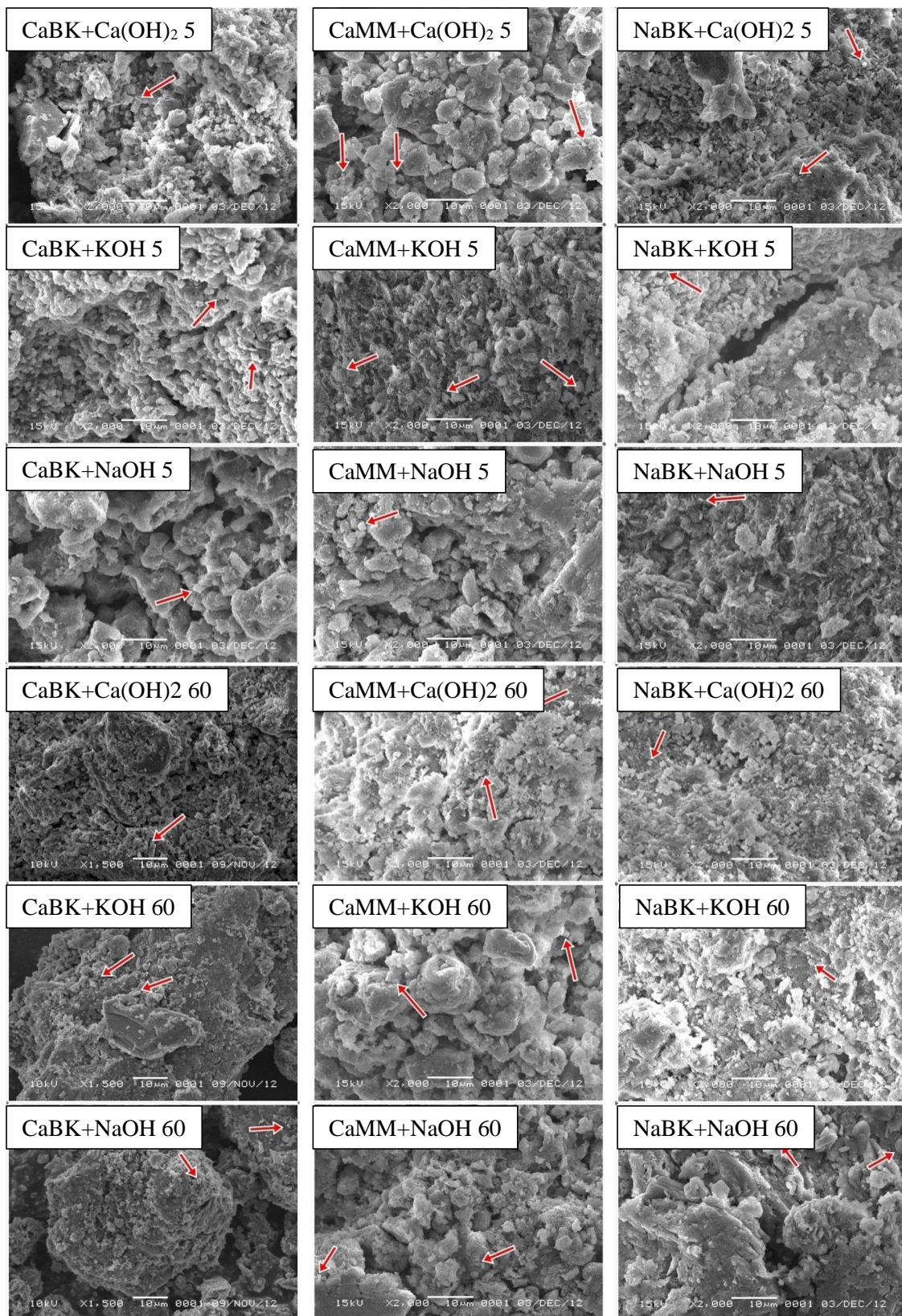
Karakterisasi Puncak

Mineral kalsit pada bidang kisi hkl (1 0 4) teridentifikasi rata-rata pada *2-theta* 29,51° ($\pm 0,2^\circ$) yaitu pada kisaran 29,40 – 29,62°. Hasil karakterisasi puncak menunjukkan nilai FWHM 0,2493 – 0,6154° (Tabel 3). Diasumsikan bahwa kalsit yang terbentuk mempunyai bentuk dan

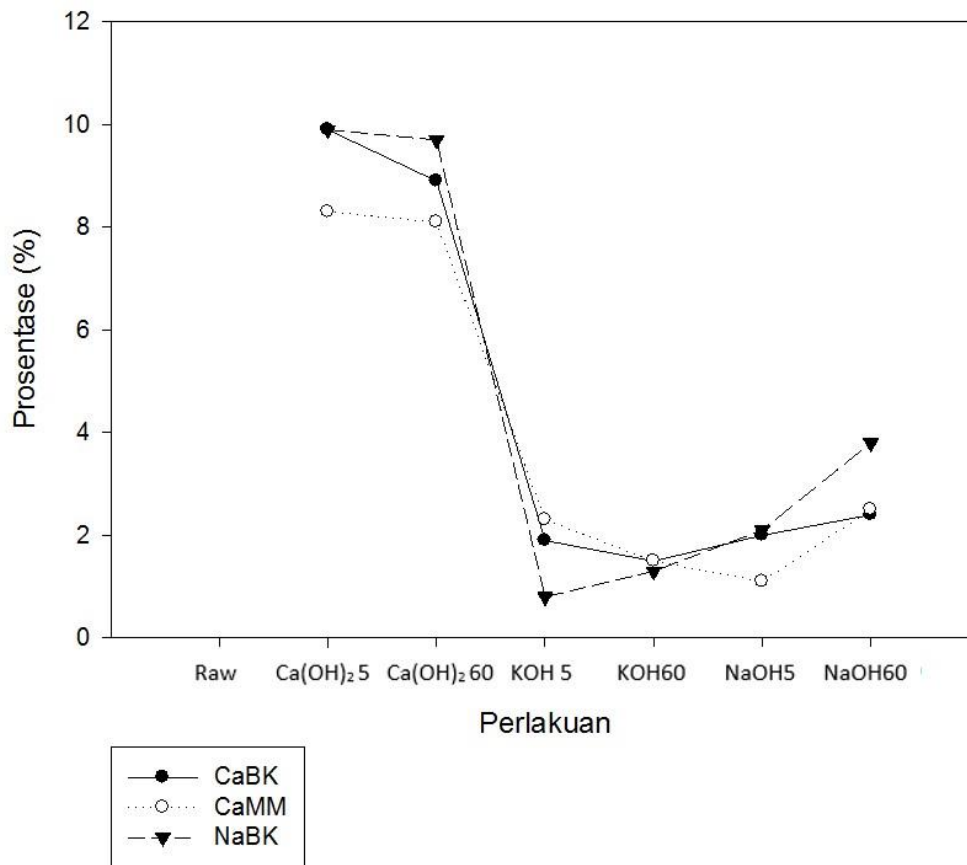
ukuran seragam dengan bentuk kristalit relatif membulat (*spherical*), sehingga $K = 0,94$. Ukuran kristalit kalsit hasil perhitungan (Gambar 4) menunjukkan ukuran terbesar pada penambahan Ca(OH)_2 , baik pada percontoh CaBK, CaMM maupun NaBK sedangkan pada penambahan basa lain menghasilkan ukuran kristalit yang lebih kecil. Ukuran terkecil kristalit kalsit diperoleh pada percontoh CaMM+KOH 5. Ukuran kristalit kalsit pada percontoh dengan penambahan basa Ca(OH)_2 berturut-turut yaitu CaBK+ Ca(OH)_2 5 (463,36Å), CaBK+ Ca(OH)_2 60 (343,24Å), CaMM+ Ca(OH)_2 5 (344,05Å), CaMM+ Ca(OH)_2 60 (217,31Å), NaBK+ Ca(OH)_2 5 (276,97Å), NaBK+ Ca(OH)_2 60 (278,41Å). Ukuran kristalit kalsit pada penambahan basa KOH berturut-turut CaBK+KOH 5 (211,05Å), CaBK+KOH 60 (198,93Å), CaMM+KOH 5 (139,38Å) dan CaMM+KOH 60 (158,23Å). Sementara pada penambahan NaOH ukuran kristalit kalsit yaitu CaBK+NaOH 5 (171,66Å), CaBK+NaOH 60 (214,15Å) dan CaMM+NaOH 60 (160,45Å).



Gambar 4. Grafik ukuran kristalit (t) mineral kalsit hkl (1 0 4) hasil perhitungan menggunakan persamaan Scherrer.



Gambar 5. Fotomikrograf percontohan bentonit setelah karbonasi hidrotermal, kalsit ditunjukkan dengan tanda panah.



Gambar 6. Grafik prosentase penyerapan CO₂ pada bentonit Tasikmalaya.

Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Gambar 5 adalah hasil uji Scanning Electron Microscope (SEM) percontoh bentonit setelah karbonasi hidrotermal yang umumnya menunjukkan kehadiran butiran berukuran sangat halus (<10µm), berbentuk tabular rombohedral, kubik dan beberapa berbentuk tabular memanjang yang diduga sebagai kalsit (anak panah warna merah). Butiran kristal tersebut umumnya berada pada permukaan fragmen batuan dengan bentuk bidang muka kristal yang cukup jelas tersebar dalam jumlah relatif sedikit.

Kapasitas Penyerapan CO₂ Bentonit dan Kristalinitas Mineral Kalsit

Kalsit buatan hasil karbonasi hidrotermal menunjukkan jumlah CO₂ yang terserap. Kristalinitas dapat dipahami sebagai distribusi ukuran kristal dan kesempurnaan struktural (Kuhnel et al., 1975). Kristalinitas kalsit buatan yang terbentuk sebagai hasil proses karbonasi hidrotermal sangat dipengaruhi oleh kondisi

fisika/kimia awal, meliputi tekanan, suhu dan kuantitas CO₂ terlarut. Ketiga kondisi tersebut memiliki pengaruh yang signifikan pada rata-rata ukuran partikel, luas permukaan spesifik, tingkat awal presipitasi dan morfologi kristal kalsium karbonat (kalsit) yang terbentuk (Montes-Hernandez et al., 2008).

Kapasitas penyerapan CO₂ oleh bentonit meningkat paling tinggi pada penambahan Ca(OH)₂ baik pada suhu tinggi maupun rendah. Tampak bahwa grafik penyerapan CO₂ hampir serupa dengan kristalinitas kalsit yang terbentuk (Gambar 4 dan 6). Kapasitas penyerapan CO₂ secara berturut-turut adalah CaBK+Ca(OH)₂ 5 (9,9%), CaBK+ Ca(OH)₂ 60 (8,9%), CaBK+KOH 5 (1,9%), CaBK+KOH 60 (1,5%), CaBK+NaOH 5 (2%), CaBK+NaOH 60 (2,4%), CaMM+Ca(OH)₂ 5 (8,3%), CaMM+ Ca(OH)₂ 60 (8,1%), CaMM+KOH 5 (2,3%), CaMM+KOH 60 (1,5%), CaMM+NaOH 5 (1,1%), CaMM+NaOH 60(2,5%), NaBK+ Ca(OH)₂ 5 (9,9%), NaBK+Ca(OH)₂ 60 (9,7%), NaBK+KOH 5 (0,8%), NaBK+KOH 60 (1,3%), NaBK+NaOH 5 (2,1%)

dan NaBK+NaOH 60 (3,8%). Ukuran kristalit kalsit hasil perhitungan umumnya mencapai optimum ketika pemberian Ca(OH)₂ pada suhu rendah (5°C) sebesar 463,36Å, sedangkan ukuran yang lebih kecil diperoleh pada suhu yang lebih tinggi (60°C) sebesar 343,24Å. Pada bentonit NaBK ukuran kristalit kalsitnya relatif tidak berubah baik pada suhu tinggi maupun rendah. Ukuran kristalit yang lebih kecil diperoleh pada penambahan KOH dan NaOH yaitu dibawah 215Å yang ditunjukkan oleh bentuk grafik relatif mendatar (Gambar 4).

Data penyerapan CO₂ menunjukkan bahwa bentonit NaBK, CaBK, dan CaMM terbukti mampu menyerap CO₂, sedangkan hasil analisis XRD secara semikuantitatif menunjukkan kalsit tidak teridentifikasi pada beberapa percontoh (CaMM+NaOH 5, NaBK+KOH 5, NaBK+KOH 60, NaBK+NaOH 5, NaBK+NaOH 60). Kemungkinannya disebabkan oleh kalsit yang terbentuk pada kelima percontoh tersebut mempunyai perbedaan dalam bentuk kisi kristal (bentuk tidak sempurna), sehingga tidak teridentifikasi pada hkl (1 0 4). Namun dalam bentonit NaBK, kalsit teridentifikasi pada hkl (1 1 3). Kemungkinan lainnya adalah pada kelima percontoh tersebut terbentuk kristal karbonat lain atau CO₂ berikatan dengan mineral yang sudah ada sebelumnya tanpa menghasilkan presipitasi kalsit atau bertahan dalam bentuk ion terlarut.

KESIMPULAN

Bentonit Tasikmalaya mengandung mineral-mineral potasium, kalsium atau magnesium silikat berupa montmorilonit, klinoptilolit dan anortit serta terbukti mampu menyerap CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk mineral kalsit. Penyerapan CO₂ pada media bentonit dapat ditingkatkan dengan penambahan basa Ca(OH)₂ pada suhu rendah (5°C). Kristalinitas mineral kalsit yang terbentuk dari karbonasi hidrotermal pada media bentonit ini berkorelasi dengan jumlah CO₂ yang terserap dan yang tercermin dari ukuran kristalit kalsit yang dihasilkan.

Karakterisasi puncak untuk perhitungan kristalinitas dapat dilakukan menggunakan data dari puncak hkl (1 0 4) karena kehadirannya menunjukkan intensitas paling tinggi dan dianggap mewakili kristalinitas mineral, tetapi perlu dilengkapi menggunakan data dari 3(tiga) puncak dengan intensitas tertinggi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui apakah

kristal kalsit yang terbentuk seluruhnya berasal dari reaksi kation Ca²⁺ dari bentonit yang mengalami *leaching* atau berasal dari reaksi asam basa yang terjadi oleh penambahan Ca(OH)₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Dr. Heru Santoso M.App.Sc. selaku koordinator kegiatan PN-9 Puslit Geoteknologi – LIPI atas bimbingan, bantuan dan arahannya. Ucapan termakasih juga ditujukan kepada seluruh anggota tim kegiatan penelitian *Penyerapan dan Penyimpanan Gas CO₂ Melalui Rekayasa Teknologi Proses Hydrothermal Carbonation pada Mineral Industri dan Limbah Industri sebagai Alternatif Solusi Mengurangi Efek Rumah Kaca*, atas semua sumbangan tenaga dan pikiran selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, R., Jakes, K.A., Foreman, D.W., 2004. Peak-Fitting Analysis of Cotton Fiber Powder X-Ray Diffraction Spectra. *J. Appl. Polym. Sci.* 93, 2019–2024.
- Christidis, G.E., Huff, W.D., 2009. Geological Aspect and Genesis of Bentonites. *Elem. Vol.* 5 93–95. <https://doi.org/10.2113/gselements.5.2.93>
- Grim, R., 1968. *Clay Mineralogy*, 2nd editio. ed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Iwasaki, T., Itabashi, O., Hardjatmo, Suyartono, Goto, T., 1995. Study on utilization of Natural Zeolite (1) Zeolites and bentonites in Indonesia. No Title. Puslitbang Teknol. Miner. dan Batubara.
- Jeffery, G.H., Bassett, J., Mendham, J., Denney, R.C., 1989. *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis* Fifth edition. Longman Scinetifics & Technical, New York.
- Kuhnel, R.A., Roorda, H.J., Steensma, J.J., 1975. The Crystallinity Of Minerals - A New Variable In Pedogenetic Processes: A Study Of Goethite And Associated Silicates In Laterites. *Clays Clay Miner.* 23, 349–354.
- Montes-Hernandez, G., Fernández-Martínez, A., Charlet, L., Tisserand, D., Renard, F., 2008. Textural properties of synthetic nanocalcite produced by hydrothermal

- carbonation of calcium hydroxide. *J. Cryst. Growth* 310, 2946–2953. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2008.02.012>
- Ptáček, P., Nosková, M., Šoukal, F., Opravil, T., Halvica, J., Brandštetr, J., 2007. Activation of Bentonite and Talc by Acetic Acid as a Carbonation Feedstock for Mineral Storage of CO₂, in: Farrukh, M.A. (Ed.), *Atomic Absorption Spectroscopy*. pp. 221–258.
- Pusdalibang Jawa Barat, 2015. PDF Potensi Bahan Tambang [WWW Document].
- Shi, J.L., Lu, C.W., Kuo, C.L., Lin, Z.X., Yen, T.S., 1992. Determination of Crystallite Size of Superfine Zirconia Powders as a Function of Calcination Temperatures. *Ceram. Int.* 18, 155–159.
- Supriatna, S., Sarmili, L., Sudana, D., Koswara, A., 1992. Peta Geologi Lembar Karangnunggal: Skala 1:100.000.
- Systat Software Inc., 2013. The Automatic Choice for Spectroscopy, Chromatography and Electrophoresis, Peakfit Overview [WWW Document].
- Takagi, T., Koh, S.M., Song, M.S., Itoh, M., Mogi, K., 2005. Geologi and Properties of the Kawasaki and Dobuyama Bentonite Deposite of Zao Region in Northeastern Japan. *Clay Miner.* 40, 333–350pp.