

KALKULASI STRUKTUR TRIKLINIK ALBIT PASIR BESI TITAN YOGYAKARTA DENGAN PENDEKATAN KALKULASI MONOKLINIK

Calculation the Albite Triclinic Structure of Yogyakarta Titaniferous Iron Sand Using the Approach of Monoclinic Calculation

IBRAHIM PURAWIARDI

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI),
Kawasan PUSPIPTK Gd. 470, Tangerang Selatan 15314, Banten, Indonesia.
e-mail : ibrahimpurawiardi@gmail.com

ABSTRAK

Albit merupakan salah satu mineral non-bijih yang terdapat pada pasir besi titan Yogyakarta. Dari sudut pandang kristalografi, albit memiliki struktur kristal triklinik yang sulit sekali dikalkulasi karena karakteristik parameter kisinya yang tidak bersudut 90° . Hal ini menimbulkan kesulitan tersendiri dalam memastikan fasa albit sebenarnya pada pasir besi titan dari Yogyakarta. Studi ini dilakukan untuk memperkenalkan metode kalkulasi yang mudah untuk memprediksi fasa albit pada pasir besi titan Yogyakarta. Dalam kalkulasinya, dilakukan pemisalan sudut kisi α dan γ menjadi 90° serta sudut kisi β menjadi 116° . Sementara kalkulasi parameter kisi dilakukan dengan pendekatan kalkulasi monoklinik. Dengan metode kalkulasi ini didapatkan hasil perhitungan nilai-nilai parameter kisi $a = 8,130081 \text{ \AA}$, $b = 12,96716 \text{ \AA}$ dan $c = 7,105432 \text{ \AA}$. Dengan karakteristik nilai-nilai parameter kisi ini, diduga kuat fasa albit pada pasir besi titan Yogyakarta adalah $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ dengan jenis *high albite*.

Kata kunci: albit, pasir besi titan, Yogyakarta, XRD.

ABSTRACT

Albite is one of non-ore minerals that was found on titaniferous iron sand from Yogyakarta. From the crystallographic point of view, albite has a triclinic crystal structure. This crystal structure is commonly difficult to be calculated because of its non- 90° lattice angles. This creates its own difficulties in ascertaining the true phase of albite on titaniferous iron sand from Yogyakarta. This study was conducted to introduce a simple calculation method for predicting albite phase on titaniferous iron sand from Yogyakarta. In this calculation, the lattice angle of α and γ are assumed as 90° while β is assumed as 116° . Then, the lattice parameter calculation was done by means of monoclinic calculation method. With this calculation method, the lattice parameters obtained are $a = 8.130081 \text{ \AA}$, $b = 12.96716 \text{ \AA}$ and $c = 7.105432 \text{ \AA}$. Then, with this lattice characteristics, the phase of albite on titaniferous iron sand from Yogyakarta can be predicted as high albite with $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ formula.

Keywords: albite, titaniferous iron sand, Yogyakarta, XRD.

PENDAHULUAN

Pasir besi titan Yogyakarta merupakan sumber beberapa mineral yang bernilai ekonomis baik berupa mineral bijih maupun mineral non-bijih.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui mineral-mineral bijih yang terkandung di dalamnya adalah magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) dan ilmenit (FeTiO_3). Sementara itu, mineral-mineral non-bijih yang terkandung

adalah albit, hipersten, augit, biotit dan kuarsa (Purawardi, Purawardi dan Firdiyono, 2020).

Jika pasir besi titan Yogyakarta ini dikarakterisasi dengan teknik difraksi sinar-x (XRD), puncak difraksi tertinggi yang muncul adalah puncak difraksi bidang milik fasa albit yang merupakan salah satu mineral non-bijihnya.

Mineral albit sendiri memiliki potensi nilai tambah yaitu sebagai bahan pembuat porselen (Alghamdi dan Almugren, 2019; Frizzo *dkk.*, 2020) dan bata (Boccalon *dkk.*, 2019). Dari riset sebelumnya, apabila dihitung dengan analisis XRF, terdapat kandungan sekitar 41.8 % albit pada pasir besi titan Yogyakarta (Purawardi, Purawardi dan Firdiyono, 2020). Kandungan sebesar ini memungkinkan untuk dipisahkan dari pasir besi titan Yogyakarta untuk kemudian dimanfaatkan sebagai bahan pembuat porselen dan bata pada industri bahan bangunan.

Keberadaan fasa albit ini dapat dideteksi dengan menganalisis karakteristik nilai jarak antar bidang kristalnya (d). Namun, permasalahan muncul saat menentukan fasa sebenarnya pada albit yang terdeteksi. Hal ini disebabkan albit memiliki berbagai jenis fasa dengan karakteristik parameter kisi yang berbeda-beda seperti $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (Keefer dan Brown, 1978), $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ (Schmidt *dkk.*, 2014; Guo *dkk.*, 2017; Yin *dkk.*, 2017; Chandra, Sanjeevamurthy dan Shiva Shankar, 2018; Alghamdi dan Almugren, 2019; Boccalon *dkk.*, 2019; Jena *dkk.*, 2019; Kim dan Lee, 2020; Wang *dkk.*, 2020; Zhang *dkk.*, 2020), $\text{NaGaSi}_3\text{O}_8$ (Fleet, 1991) dan $\text{NaAlGe}_3\text{O}_8$ (Fleet, 1991) namun memiliki kisaran nilai d yang identik. Oleh sebab itu, untuk memastikan fasa aktual dari albit, selain analisis nilai d , juga diperlukan analisis berdasarkan nilai-nilai parameter kisinya (a , b dan c).

Namun, menganalisis nilai-nilai parameter kisi albit bukan hal yang mudah, sebab struktur kristal albit sangat rumit, yaitu berstruktur kristal triklinik. Struktur kristal triklinik ini memiliki karakteristik yang kompleks, yaitu $a \neq b \neq c$ dan $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$. Dengan karakteristik kompleks ini, tentunya secara teoritis diperlukan perhitungan matematis yang cukup kompleks dan rumit pula untuk memecahkan nilai-nilai parameter kisi a , b dan c serta sudut-sudut kisi α , β dan γ .

Meskipun nilai parameter kisi struktur triklinik fasa albit sangat sulit dikalkulasi, namun perkiraan kasar nilainya masih dapat diprediksi. Untuk memperkirakannya, metode kalkulasi yang mudah akan diperkenalkan pada studi ini.

Di dalam studi ini, digunakan asumsi sudut-sudut kisi $\alpha = \gamma = 90^\circ$ serta $\beta = 116^\circ$. Dengan pengasumsian ini, pendekatan karakteristik struktur kristal yang digunakan menjadi $a \neq b \neq c$; $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta = 116^\circ$. Dengan pengasumsian ini, karakteristiknya dapat dianggap menjadi struktur kristal monoklinik. Oleh sebab itu, dalam kalkulasi parameter kisinya (a , b dan c) digunakan pendekatan kalkulasi monoklinik. Pendekatan ini dilakukan semata-mata untuk memudahkan perhitungan.

Asumsi pembulatan sudut kisi $\alpha = \gamma = 90^\circ$ serta $\beta = 116^\circ$ ini didasarkan pada berbagai referensi fasa albit dengan struktur kristal triklinik yang rata-rata memiliki selang nilai sudut α antara $90,8 - 96,4^\circ$, sudut β antara $116 - 116,7^\circ$, serta sudut γ antara $87,3 - 90,9^\circ$ (CPDS # 69-94 dan 8052).

Dengan metode kalkulasi yang dicontohkan pada studi ini, diharapkan dapat diprediksi fasa albit sebenarnya yang terkandung di dalam pasir besi titan Yogyakarta ini berdasarkan prediksi nilai-nilai parameter kisinya.

METODE

Percontoh yang digunakan pada studi ini adalah serbuk pasir besi titan yang diperoleh dari wilayah selatan Yogyakarta. Percontoh kemudian digerus hingga halus (-200 mesh). Setelah halus, percontoh kemudian dikarakterisasi menggunakan difraktometer sinar-x (XRD) merek *Malvern Pananalytical* tipe *Aeris* dengan rentang sudut 2θ mulai dari 5° hingga 85° . Sementara itu, *tube* yang digunakan adalah $\text{Cu-K}\alpha$ dengan panjang gelombang $1,5406 \text{ \AA}$.

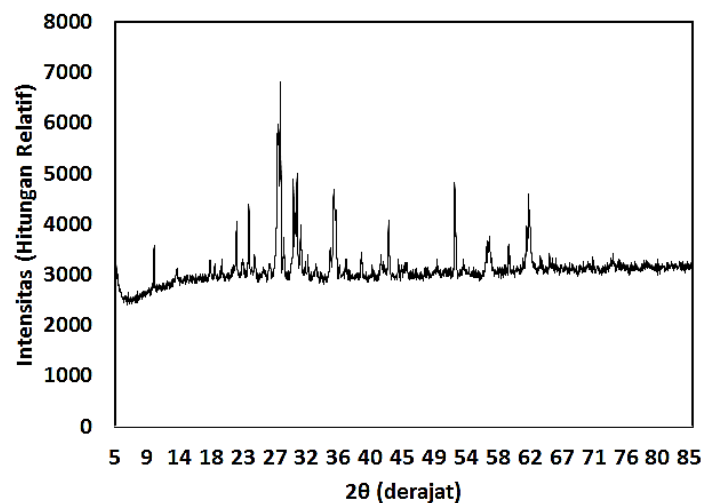
Untuk menganalisis fasa albit, digunakan referensi dari basis data *calculated powder x-ray diffraction standard* (CPDS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola difraksi pasir besi titan Yogyakarta yang dihasilkan dari karakterisasi XRD ini dapat dilihat pada Gambar 1. Data pola difraksi pada Gambar 1 kemudian dijabarkan dalam bentuk data berupa sudut 2θ , d dan I/I_0 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan nilai-nilai d pada Tabel 1, kemudian dilakukan identifikasi probabilitas bidang-bidang albit. Nilai-nilai d tersebut

dicocokkan dengan referensi fasa albit yang berstruktur triklinik. Hasil identifikasi probabilitas albit ini dapat dilihat pada Tabel 2. Di dalam pencocokkan antara nilai d hasil karakterisasi dengan nilai d pada referensi ini, toleransi yang digunakan adalah $\pm 0,01 \text{ \AA}$ dengan pengamatan dilakukan hingga dua angka di belakang koma. Dari 39 puncak difraksi tersebut, 21 di antaranya memiliki probabilitas fasa albit berdasarkan karakteristik nilai d -nya (lihat Tabel 2).



Gambar 1. Pola difraksi sinar-x percontoh pasir besi titan Yogyakarta

Tabel 1. Data difraksi hasil karakterisasi XRD percontoh pasir besi titan Yogyakarta

No.	2θ (deg.)	d (Å)	I/I_0 (%)	No.	2θ (deg.)	d (Å)	I/I_0 (%)
1	10,4450	8,46966	22,96	21	34,8761	2,57258	12,35
2	13,5966	6,51267	5,70	22	35,3386	2,53996	45,13
3	18,2121	4,87127	8,78	23	35,6426	2,51900	33,98
4	18,8466	4,70867	6,55	24	37,0696	2,42524	4,89
5	19,8249	4,47847	8,45	25	39,1434	2,30140	11,48
6	21,8860	4,06114	27,36	26	41,8698	2,15763	9,21
7	22,7334	3,91164	6,04	27	42,9656	2,10511	14,73
8	23,5794	3,77319	36,67	28	44,2930	2,04506	7,66
9	24,3751	3,65179	10,60	29	45,2703	2,00315	4,56
10	26,4562	3,36906	5,51	30	49,6060	1,83775	3,80
11	27,5149	3,24179	70,91	31	52,0867	1,75446	47,96
12	27,6837	3,22241	77,64	32	52,2322	1,75426	28,05
13	27,9423	3,19316	100,00	33	53,3311	1,71642	5,54
14	28,4335	3,13911	18,75	34	56,8650	1,61786	13,99
15	29,7453	3,00359	47,77	35	59,5704	1,55068	14,90
16	30,0032	2,97836	30,66	36	61,9949	1,49573	22,28
17	30,2411	2,95547	50,50	37	62,3212	1,48868	38,36
18	30,7388	2,90874	22,43	38	64,0498	1,45261	3,96
19	31,7528	2,81813	11,25	39	73,9504	1,28070	4,05
20	32,9122	2,72146	5,41				

Tabel 2. Identifikasi probabilitas fasa albit berdasarkan nilai d

No.	I/I ₀ (%)	d (Å)	d referensi (Å)	hkl	Referensi
6	27,36	4,06114	4,05955	201	CPDS # 73
7	6,04	3,91164	3,90428	130	CPDS # 83
8	36,67	3,77319	3,78144	111	CPDS # 69
9	10,60	3,65179	3,64436	130	CPDS # 94
10	5,51	3,36906	3,36668	112	CPDS # 72
11	70,91	3,24179	3,24425	040	CPDS # 69
12	77,64	3,22241	3,22278	202	CPDS # 69
13	100,00	3,19316	3,19926	002	CPDS # 69
14	18,75	3,13911	3,14551	220	CPDS # 69
15	47,77	3,00359	2,99589	131	CPDS # 69
16	30,66	2,97836	2,97266	131	CPDS # 79
17	50,50	2,95547	2,94485	041	CPDS # 69
18	22,43	2,90874	2,89830	131	CPDS # 74
19	11,25	2,81813	2,82977	131	CPDS # 72
21	12,35	2,57258	2,58913	241	CPDS # 83
22	45,13	2,53996	2,53097	241	CPDS # 69
23	33,98	2,51900	2,52570	241	CPDS # 69
26	9,21	2,15763	2,16283	060	CPDS # 69
30	3,80	1,83775	1,83276	204	CPDS # 83
31	47,96	1,75446	1,76534	204	CPDS # 86
32	28,05	1,75426	1,76534	204	CPDS # 86

Terlihat pada Tabel 2, ke-21 puncak difraksi tersebut memiliki kecocokan nilai d dengan beberapa referensi fasa albit hingga dua angka di belakang koma dengan toleransi $\pm 0,01$ Å antara lain CPDS # 69, CPDS # 72, CPDS # 73, CPDS # 74, CPDS # 79, CPDS # 83, CPDS # 86 dan CPDS # 94. Referensi CPDS # 72, CPDS # 73, CPDS # 74, CPDS # 79, CPDS # 86 dan CPDS # 94 merupakan mineral albit dengan fasa Na(AlSi₃O₈). Referensi CPDS # 69 merupakan mineral albit dengan fasa (Na,K)(AlSi₃O₈). Sementara referensi CPDS # 83 merupakan mineral albit dengan fasa NaAlGe₃O₈. Dengan demikian, berdasarkan identifikasi ini, percontoh memiliki tiga probabilitas fasa albit yaitu Na(AlSi₃O₈), (Na,K)(AlSi₃O₈) dan NaAlGe₃O₈. Untuk memastikan fasa yang paling mungkin dari ketiganya, analisis parameter kisi triklinik struktur kristal albit perlu dilakukan.

Kalkulasi Parameter Kisi c

Dengan mengasumsikan $\alpha = \gamma = 90^\circ$ serta $\beta = 116^\circ$, kalkulasi struktur triklinik albit dapat dilakukan menggunakan pendekatan kalkulasi struktur monoklinik dengan sudut β sebesar 116° . Data yang diperlukan dalam kalkulasi ini adalah nilai d dan bidang (hkl).

Perhitungan awal dilakukan terlebih dahulu pada puncak difraksi dengan nilai intensitas (I/I₀) tertinggi. Berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2, puncak difraksi dengan nilai intensitas tertinggi berada pada I/I₀ = 100. Pada puncak difraksi tersebut, nilai d adalah 3,19316 Å (Tabel 1 dan Tabel 2). Sementara itu, probabilitas bidangnya adalah (002) (Tabel 2).

Nilai-nilai d = 3,19316 Å, hkl = (002) dan $\beta = 116^\circ$ ini kemudian dimasukkan pada Persamaan (1) untuk kalkulasi struktur kristal monoklinik (Suryanarayana dan Norton, 1998):

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos \beta}{ac} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Dikarenakan bidang yang digunakan dalam kalkulasi adalah (002), Persamaan (1) dapat lebih disederhanakan menjadi persamaan (2) dan (3) berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{l^2}{c^2 \sin^2 \beta} \dots \dots \dots (2)$$

$$c = \frac{dl}{\sin \beta} \dots \dots \dots (3)$$

Kemudian, dengan memasukkan l = 2, d = 3,19316 Å dan $\beta = 116^\circ$ pada Persamaan (3), maka diperoleh nilai parameter kisi c sebesar 7,105432 Å.

Nilai parameter kisi $c = 7,105432 \text{ \AA}$ ini memiliki kecenderungan lebih mendekati karakteristik parameter kisi c pada fasa albit (*high albite*) dengan rumus kimia $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ yang memiliki nilai $c = 7,106 \text{ \AA}$ (CPDS # 86). Oleh sebab itu, probabilitas fasa pertama dari kalkulasi pada studi ini adalah $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$.

Kalkulasi Parameter Kisi a

Setelah melakukan kalkulasi pada puncak difraksi dengan intensitas tertinggi, langkah kedua adalah melakukan kalkulasi monoklinik pada puncak difraksi dengan intensitas tertinggi kedua.

Jika melihat pada Tabel 1 dan 2, intensitas tertinggi kedua bernilai $I/I_0 = 77,64$. Pada posisi ini, nilai d adalah $3,22241 \text{ \AA}$. Sedangkan probabilitas bidangnya adalah (202). Dikarenakan nilai $k = 0$, maka Persamaan (1) dapat lebih disederhanakan menjadi Persamaan (4) berikut ini:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2\beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl\cos\beta}{ac} \right) \dots\dots\dots (4)$$

Dengan memasukkan $c = 7,105432 \text{ \AA}$, $h = -2$, $l = 2$, $d = 3,22241 \text{ \AA}$ dan $\beta = 116^\circ$ pada persamaan (4), maka akan diperoleh nilai parameter kisi a sebesar $8,130081 \text{ \AA}$.

Nilai parameter kisi a sebesar $8,130081 \text{ \AA}$ ini memiliki kecenderungan mendekati nilai parameter kisi a fasa albit (*low albite*) dengan rumus kimia $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ yang memiliki nilai parameter kisi a sebesar $8,137 \text{ \AA}$ (CPDS # 77).

Kalkulasi Parameter Kisi b

Langkah ketiga dalam metode kalkulasi ini adalah menghitung nilai parameter kisi b dari puncak difraksi dengan intensitas tertinggi ketiga.

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2, intensitas tertinggi ketiga terdapat pada posisi $I/I_0 = 70,91$. Pada posisi ini, nilai d adalah $3,24179 \text{ \AA}$, sedangkan probabilitas bidangnya adalah (040).

Dengan probabilitas bidang (040), untuk memudahkan kalkulasi, Persamaan (1) dapat lebih disederhanakan menjadi Persamaan (5) dan Persamaan (6) berikut ini:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{k^2}{b^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$b = dk \dots\dots\dots (6)$$

Dengan memasukkan nilai $d = 3,24179 \text{ \AA}$ dan $k = 4$, nilai parameter kisi b akan didapatkan sebesar $12,96716 \text{ \AA}$.

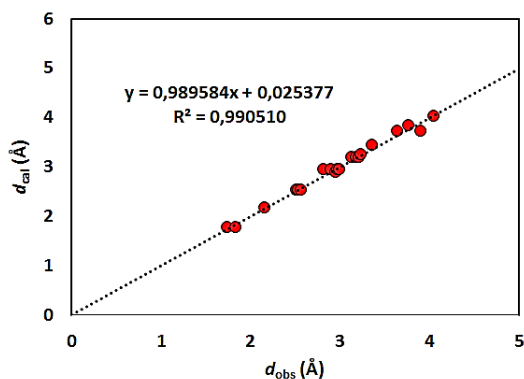
Kisaran nilai $b = 12,96716 \text{ \AA}$ ini memiliki kecenderungan mendekati fasa albit (*high albite*) dengan rumus kimia $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ dan memiliki parameter kisi b sebesar $12,989 \text{ \AA}$ (CPDS # 69).

Prediksi Fasa Aktual Albit

Dari hasil kalkulasi parameter kisi a , b dan c terlihat bahwa kandidat fasa aktual mineral albit ini mengerucut menjadi dua kandidat.

Masing-masing kandidat memiliki rumus kimia $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ dan $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$. Selain itu, perlu juga diprediksi jenis albit-nya, apakah cenderung mendekati *high albite* atau justru mendekati *low albite*. Perbedaan antara keduanya dari sisi struktur kristal dapat dibedakan dari karakteristik parameter kisi b -nya. *High albite* memiliki kisaran b di atas $12,87 \text{ \AA}$ (CPDS # 69, 72-76, 86), sebaliknya *low albite* memiliki kisaran b di bawah $12,87 \text{ \AA}$ (CPDS # 70-71, 77-82, 85).

Namun, untuk memastikannya, pertama-tama perlu dipastikan terlebih dahulu dari ke-21 puncak difraksi yang diduga albit pada Tabel 2, mana yang merupakan puncak difraksi albit dan mana yang bukan. Untuk memastikannya, diperlukan dua langkah analisis. Langkah pertama yaitu menghitung nilai d pada setiap puncak difraksi pada Tabel 2 dengan input nilai-nilai $a = 8,130081 \text{ \AA}$, $b = 12,96716 \text{ \AA}$, $c = 7,105432 \text{ \AA}$, $\beta = 116^\circ$, serta h , k dan l sesuai dengan probabilitas yang terdapat pada Tabel 2 menggunakan Persamaan (1). Nilai-nilai d yang diperoleh dari hasil kalkulasi ini disebut sebagai d kalkulasi. Kemudian, pada langkah kedua, nilai-nilai d kalkulasi yang diperoleh tersebut dibandingkan dengan nilai-nilai d hasil pengujian XRD. Nilai-nilai d hasil pengujian tersebut disebut sebagai d observasi (Tabel 3). Setelah itu, plotkan nilai d kalkulasi sebagai ordinat (sumbu-y) dan nilai d observasi sebagai absis (sumbu-x). Hasil plot keduanya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Uji nilai d antara hasil kalkulasi (d_{cal}) dengan hasil observasi (d_{obs}) dengan analisis regresi linier.

Tabel 3. Perbandingan nilai d antara hasil observasi dan kalkulasi

No.	hkl	d observasi (Å)	d kalkulasi (Å)	Δd (Å)
6	$\bar{2}01$	4,06114	4,02078	0,04036
7	$\bar{1}30$	3,91164	3,72026	0,19138
8	111	3,77319	3,83535	0,06216
9	130	3,65179	3,72026	0,06847
10	$\bar{1}12$	3,36906	3,42644	0,05738
11	040	3,24179	3,24179	0,00000
12	$\bar{2}02$	3,22241	3,19704	0,02537
13	002	3,19316	3,19316	0,00000
14	220	3,13911	3,18303	0,04392
15	$\bar{1}\bar{3}1$	3,00359	2,94170	0,06189
16	$\bar{1}\bar{3}1$	2,97836	2,94170	0,03666
17	$0\bar{4}1$	2,95547	2,89069	0,06478
18	131	2,90874	2,94170	0,03296
19	131	2,81813	2,94170	0,12357
21	$\bar{2}\bar{4}1$	2,57258	2,52369	0,04889
22	$\bar{2}\bar{4}1$	2,53996	2,52369	0,01627
23	$\bar{2}\bar{4}1$	2,51900	2,52369	0,00469
26	060	2,15763	2,16119	0,00356
30	$\bar{2}04$	1,83775	1,77636	0,06139
31	$\bar{2}04$	1,75446	1,77636	0,02190
32	$\bar{2}04$	1,75426	1,77636	0,02210

Prinsip analisis perbandingan ini adalah bila terdapat korelasi yang kuat antara d kalkulasi dan d observasi, maka dapat terbentuk persamaan garis regresi linier dengan d kalkulasi sebagai fungsi linier dari d observasi. Kemudian, jika ada plot data yang berada di luar garis regresi linier tersebut, dapat diduga plot data tersebut bukan bagian dari *unit-cell* struktur triklinik albit.

Bila diperhatikan Gambar 2, terlihat bahwa ke-21 plot data keseluruhannya merupakan

bagian dari penyusun garis regresi linier dengan $R^2 = 0,99051$ dan gradien = 0,989584. Nilai R^2 dan gradien yang mendekati 1 (satu) ini menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara absis dan ordinat sehingga hal ini cukup untuk menunjukkan bahwa seluruh bidang-bidang triklinik yang terdapat pada Tabel 2 merupakan bagian dari satu *unit-cell* yang sama, yaitu *unit-cell* struktur triklinik fasa albit. Dengan adanya kepastian ini, maka prediksi fasa albit aktualnya dapat diinvestigasi.

Selanjutnya, bila diperhatikan kembali bidang-bidang pembentuk struktur triklinik albit (lihat kolom hkl pada Tabel 2 dan 3), jika dicocokkan berdasarkan karakteristik parameter kisi a , b dan c ; terdapat dua kandidat fasa albit berdasarkan rumus kimianya, yaitu $(Na,K)(AlSi_3O_8)$ (CPDS # 69) dan $Na(AlSi_3O_8)$ (CPDS # 77 dan CPDS # 86). Hampir seluruh bidang (hkl) yang tercantum pada Tabel 2 dan 3 juga tercantum pada referensi-referensi tersebut. Namun, pada referensi-referensi CPDS # 77 dan CPDS # 86 tidak ditemukan adanya bidang (060). Sedangkan pada referensi CPDS # 69 ditemukan bidang (060). Dengan demikian, referensi fasa albit yang sesuai tinggal menyisakan CPDS # 69 saja.

Dengan mengacu kepada referensi CPDS # 69, dapat diduga secara kuat bahwa mineral albit yang terdapat pada pasir besi titan Yogyakarta memiliki fasa albit dengan rumus kimia $(Na,K)(AlSi_3O_8)$. Di samping itu, dengan parameter kisi b yang bernilai di atas 12.87 Å, dapat diduga bahwa jenis mineral albit yang terkandung pada pasir besi titan Yogyakarta merupakan jenis *high albite*.

Tantangan Penelitian ke Depan

Metode kalkulasi parameter kisi struktur kristal triklinik albit menggunakan pendekatan kalkulasi parameter kisi struktur monoklinik ini terbukti mampu memprediksi kisaran parameter kisi a , b dan c serta mampu juga menduga jenis *high albite* atau *low albite*. Namun, kekurangan dari metode ini adalah menggunakan asumsi sudut kisi α dan γ sebesar 90° , serta sudut kisi β sebesar 116° ; sehingga metode kalkulasi ini tidak dapat memastikan secara pasti besarnya sudut aktual α , β dan γ dari struktur kristal triklinik albit yang diamati.

Oleh sebab itu, tantangan penelitian struktur kristal triklinik albit pasir besi titan Yogyakarta ke depan adalah harus dapat memastikan besarnya sudut α , β dan γ tersebut. Peluang penelitian ini sebetulnya cukup terbuka dengan cara melakukan pengamatan titik-titik difraksi menggunakan teknik pengamatan *selected area electron diffraction* (SAED) pada mikroskop transmisi elektron (TEM) (Miyahara, Ohtani dan Yamaguchi, 2017).

Kepastian nilai-nilai parameter kisi a , b , c dan sudut-sudut α , β dan γ ini dapat digunakan nantinya sebagai acuan dasar dalam membuat basis data kristal mineral-mineral albit yang tersebar di wilayah Indonesia.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dengan pendekatan kalkulasi monoklinik, nilai-nilai parameter kisi fasa albit yang berstruktur kristal triklinik pada pasir besi titan Yogyakarta dapat teridentifikasi secara prediktif yaitu $a = 8,130081 \text{ \AA}$, $b = 12,96716 \text{ \AA}$ dan $c = 7,105432 \text{ \AA}$.

Dari kriteria bidang-bidang kristal triklinik dan parameter kisi yang terkalkulasi, dapat diduga secara kuat fasa albit yang terkandung pada pasir besi titan Yogyakarta memiliki rumus kimia $(\text{Na,K})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ dan termasuk dalam jenis *high albite*.

Saran

Untuk memastikan secara pasti sudut-sudut α , β dan γ dari fasa albit ini, ke depan dapat dilakukan penelitian lanjutan yang berupa pengamatan titik-titik difraksi dengan teknik SAED menggunakan TEM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Ciswandi, S.Si., Rifqo Anwarie, M.Si., dan Arda Yogatama, S.Si. dari PT. Multiteknindo Infotronika (MTI) atas fasilitas pengujian XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Alghamdi, A. S. dan Almugren, K. S. (2019) "Assessment of the chemical compositions and natural radioactivity in ceramic tiles used in some Saudi Arabian buildings," *Journal of the Australian Ceramic Society*, 55(4), hal. 1099–1107. doi: 10.1007/s41779-019-00324-8.
- Boccalon, E., Rosi, F., Vagnini, M. dan Romani, A. (2019) "Multitechnique approach for unveiling the technological evolution in building materials during the Roman Imperial Age: The Atrium Vestae in Rome," *The European Physical Journal Plus*, 134(10), hal. 528. doi: 10.1140/epjp/i2019-12936-y.
- Chandra, B. T., Sanjeevamurthy dan Shiva Shankar, H. S. (2018) "Effect of heat treatment on dry sand abrasive wear behavior of Al7075-Albite particulate composites," *Materials Today: Proceedings*, 5(2), hal. 5968–5975. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.198.
- Fleet, M. E. (1991) "Structures of low gallium albite ($\text{NaGaSi}_3\text{O}_8$) and intermediate germanium albite ($\text{NaAlGe}_3\text{O}_8$): Tetrahedral-site ordering in sodium feldspar," *American Mineralogist*, 76(1–2), hal. 92–99.
- Frizzo, R. G., Zaccaron, A., de Souza Nandi, V. dan Bernardin, A. M. (2020) "Pyroplasticity on porcelain tiles of the albite-potassium feldspar-kaolin system: A mixture design analysis," *Journal of Building Engineering*, 31, hal. 101432. doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101432.
- Guo, J., Li, Q., Wang, W., Zhang, Q., Wang, J. dan Hou, Z. (2017) "Diagenetic sequence and genetic mechanism of Silurian tight sandstone reservoirs in the eastern Tarim Basin, Northwest China," *Journal of Earth Science*, 28, hal. 1109–1125.
- Jena, S. K., Dash, N., Samal, A. K. dan Misra, P. K. (2019) "Competency of chlorination roasting coupled water leaching process for potash recovery from K-feldspar: Mechanism and kinetics aspects," *Korean Journal of Chemical Engineering*, 36(12), hal. 2060–2073. doi: 10.1007/s11814-019-0393-9.
- Keefer, K. D. dan Brown, G. E. (1978) "Crystal structures and compositions of sanidine and high albite in cryptoperthitic intergrowth," *American Mineralogist*, 63(11–12), hal. 1264–1273.

- Kim, H.-I. dan Lee, S. K. (2020) "Extent of disorder in iron-bearing albite and anorthite melts: Insights from multi-nuclear (^{29}Si , ^{27}Al , and ^{17}O) solid-state NMR study of iron-bearing $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ and $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ glasses," *Chemical Geology*, 538, hal. 119498. doi: 10.1016/j.chemgeo.2020.119498.
- Miyahara, M., Ohtani, E. dan Yamaguchi, A. (2017) "Albite dissociation reaction in the Northwest Africa 8275 shocked LL chondrite and implications for its impact history," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 217, hal. 320–333. doi: 10.1016/j.gca.2017.08.034.
- Purawiardi, I., Purawiardi, R. dan Firdiyono, F. (2020) "Probabilitas mineral pasir besi titan Yogyakarta berdasarkan studi pXRF," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16(1), hal. 15–21. doi: 10.30556/jtmb.Vol16.No1.2020.1064.
- Schmidt, C., Wohlers, A., Marquardt, K. dan Watenphul, A. (2014) "Experimental study on the pseudobinary $\text{H}_2\text{O} + \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ at 600–800°C and 0.3–2.4 GPa," *Chemical Geology*, 388, hal. 40–47. doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.09.005.
- Suryanarayana, C. dan Norton, M. G. (1998) *X-ray diffraction: A practical approach*. 1 ed. New York: Plenum Press.
- Wang, H., Zhou, A., Guo, H., Lü, M. dan Yu, H. (2020) "Kinetics of leaching lithium from lepidolite using mixture of hydrofluoric and sulfuric acid," *Journal of Central South University*, 27(1), hal. 27–36. doi: 10.1007/s11771-020-4275-4.
- Yin, Z., Jiang, C., Chen, M., Lu, F. dan Chen, Q. (2017) "Inclusions of α -quartz, albite and olivine in a mantle diamond," *Gondwana Research*, 44, hal. 228–235. doi: 10.1016/j.gr.2016.12.004.
- Zhang, L., Namhata, A., Dilmore, R., Wang, B., Wang, Y., Gan, M. dan Li, X. (2020) "Application of arbitrary polynomial chaos (aPC) expansion for global sensitivity analysis of mineral dissolution and precipitation modeling under geologic carbon storage conditions," *Computational Geosciences*, 24(3), hal. 1333–1346. doi: 10.1007/s10596-020-09953-6.