

OPTIMASI DAN KINETIKA DEKOMPOSISI MONASIT MEMAKAI NAOH

MV Purwani, Suyanti dan Deddy Husnurrofiq

PSTA – BATANYogyakarta, Jl Babarsari No 21 Yogyakarta

email : purwanimv@gmail.com

ABSTRAK

OPTIMASI DAN KINETIKA DEKOMPOSISI MONASIT MEMAKAI NaOH. Telah dilakukan dekomposisi monasit memakai NaOH. Dekomposisi dilakukan pada suhu tinggi dengan memakai dapur pemanas atau furnace. Parameter yang diteliti adalah perbandingan NaOH /monasit, suhu dan waktu dekomposisi. Dari hasil penelitian dekomposisi 100 gram monasit memakai NaOH, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar perbandingan NaOH/monasit, konversi semakin besar. Pada pengaruh suhu dekomposisi 400 – 700^oC, tetapan laju reaksi semakin besar dengan bertambahnya suhu dekomposisi. Perbandingan NaOH/monasit optimum dipilih 1,5 dan waktu optimum 3 jam. Hubungan perbandingan NaOH/monasit dengan konversi (x) mengikuti persamaan garis polinomial $y=0,1579x^2 - 0,2855x + 0,8301$ (y = konversi dan x = perbandingan NaOH/monasit). Reaksi dekomposisi monasit memakai NaOH adalah reaksi orde dua, hubungan antara suhu (T) dengan tetapan laju reaksi (k), $k = 6,106.e^{-1006,8/T}$ atau $\ln k = -1006,8 / T + 6,106$, faktor frekuensi $A = 448,541$, energi aktivasi $E = 8,371\text{kJ/mol}$.

Kata kunci : dekomposisi, monasit, NaOH

ABSTRACT

OPTIMIZATION AND KINETICS DECOMPOSITION OF MONAZITE USING NaOH. Decomposition of monazite with NaOH has been done. Decomposition performed at high temperature on furnace. The parameters studied were the comparison NaOH / monazite, temperature and time decomposition. From the research decomposition for 100 grams of monazite with NaOH, it can be concluded that the greater the ratio of NaOH / monazite, the greater the conversion. In the temperature influences decomposition 400 - 700^oC, the greater the reaction rate constant with increasing temperature greater decomposition. Comparison NaOH / monazite optimum was 1.5 and the optimum time of 3 hours. Relations ratio NaOH / monazite with conversion (x) following the polynomial equation $y = 0.1579x^2 - 0.2855x + 0.8301$ (y = conversion and x = ratio of NaOH / monazite). Decomposition reaction of monazite with NaOH was second order reaction, the relationship between temperature (T) with a reaction rate constant (k), $k = 6.106.e^{-1006.8 / T}$ or $\ln k = -1006.8 / T + 6.106$, frequency factor $A = 448.541$, activation energy $E = 8.371\text{kJ/mol}$.

Keywords: decomposition, monazite, NaOH

PENDAHULUAN

Monasit adalah mineral dalam bentuk ikatan fosfat yang mengandung torium, uranium, dan logam tanah jarang (LTJ). Rumus kimia pasir monasit secara umum adalah (LTJ-Th-U)PO₄[1]. Unsur Logam tanah jarang yang terkandung dalam pasir monasit adalah Ce, La, Nd, Sm, Gd, Dy, dan Y. Konsentrat pasir monasit biasanya mengandung 60% LTJ₂O₃, 5-10% Th, 25 % P₂O₅, dan uranium lebih kecil dari 1%. Kadar unsur dalam pasir monasit untuk setiap daerah tidak sama. Masing-masing unsur mempunyai nilai ekonomis yang tinggi sehingga banyak digunakan di berbagai industri baik nuklir maupun non-nuklir[2,3].

Monasit sebagai hasil samping dari penambangan timah di Bangka diolah secara kimiawi akan menghasilkan garam unsur U, Th, logam tanah jarang (LTJ) dan fosfat. Pada umumnya LTJ yang

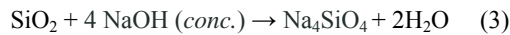
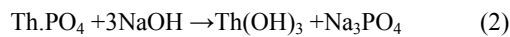
terkandung dalam monasit adalah serium (Ce), lanthanum (La), neodymium (Nd)[3].

Penggunaan logam tanah jarang ini memicu berkembangnya material baru. Perkembangan material ini banyak diaplikasikan dalam industri untuk meningkatkan kualitas produk. Contoh perkembangan yang terjadi pada industri, logam tanah jarang mampu menghasilkan neomagnet, yaitu magnet yang memiliki medan magnet yang lebih baik dari pada magnet biasa. Dalam aplikasi metalurgi, penambahan logam tanah jarang digunakan dalam pembuatan baja *high strength low alloy* (HSLA), baja karbon tinggi, *super alloy*, *stainless steel* karena logam tanah jarang memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemampuan material berupa kekuatan, kekerasan dan peningkatan ketahanan terhadap panas. Pemanfaatan logam tanah jarang yang lain berupa pelat armor, korek gas otomatis, lampu keamanan di pertambangan,

perhiasan, cat, lem. Untuk instalasi nuklir, logam tanah jarang digunakan dalam detektor nuklir dan pengkounter, rod kontrol nuklir[4,5].

Proses pembuatan konsentrat LTJ dari monasit dapat dilakukan melalui dekomposisi pasir, pelarutan, dan pengendapan. Optimasi proses pemisahan, tergantung komposisi monasit yang digunakan[6,7]. Hughes, KC¹, melakukan dekomposisi monasit dengan larutan NaOH 40% pada suhu 120 C dan perbandingan NaOH:monasit *weight ratio of* 1.5:1[8]. Keuntungan dari metode ini adalah langsung dapat memisahkan fosfat. New New Soe[9], telah melakukan penelitian pemisahan lantanum dari monasit Moemeik Mytsone, Myanmar. Tahapan proses pengolahan monasit meliputi dekomposisi dengan NaOH, pelarutan dengan asam nitrat dan pengendapan dengan amonium hidroksida, serta kalsinasi lantanum oksalat menjadi lantanum oksida. Hasil yang diperoleh adalah 96% lantanum oksida. Sehingga dapat dikatakan metode tersebut memberikan hasil lantanum oksida kemurnian tinggi dan relatif murah meskipun ekstraksi solven menghasilkan produk yang lebih banyak. Hafni L.N[10], dalam penelitiannya telah melakukan dekomposisi monasit dengan NaOH, yang dilakukan pada suhu rendah. Pada penelitian ini akan dilakukan dekomposisi pada suhu tinggi, supaya dekomposisi monasit lebih sempurna.

Metode ini menggunakan NaOH untuk memecah struktur monasit agar menghasilkan (LTJ)(OH)₃ dan Th(OH)₄. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut [11,12,13,14,15] :



Selain mempelajari optimasi dekomposisi, juga dipelajari kinetika dekomposisi.



$$\text{Laju reaksi} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{\Delta[C]}{\Delta t} \quad (5)$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi : suhu, katalis, molaritas dan konsentrasi reaktan dan faktor yang mempengaruhi tetapan laju reaksi adalah suhu (persamaan 5). Parameter yang diteliti pada laju reaksi proses dekomposisi adalah variasi konsentrasi atau molaritas NaOH dan tetapan laju reaksi adalah suhu pelarutan. Kecepatan reaksi pada proses dekomposisi monasit dengan NaOH sebagai reaksi (1,2,3) adalah sbb[16,17,18] :

$$-r_A = k_1 \cdot C_A^n \cdot C_B = (k_1 C_B) C_A^n = k C_A \quad (6)$$

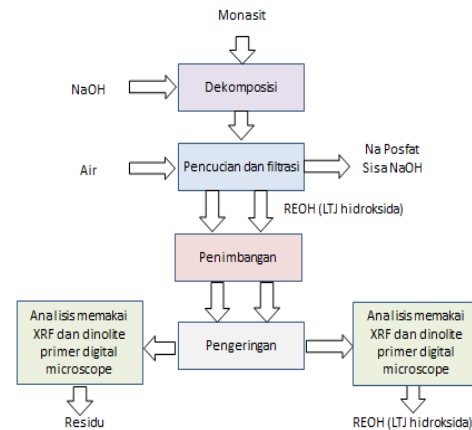
n = orde reaksi, k = tetapan laju reaksi overall, C_A = konsentrasi (mol) komponen dalam monasit, C_B =

konsentrasi (mol) NaOH. Tetapan laju reaksi (k) tergantung pada temperatur (T) reaksi dan besarnya energi aktivasi (E_a). Hubungan k , T , dan E_a dapat dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut [17,18].

$$k = A e^{-E_a / RT} \quad (7)$$

$$\text{atau } \ln k = \ln A - E_a / R.T \quad (8)$$

k = tetapan laju reaksi, E_a = energi aktivasi (kJ/mol), T = temperatur mutlak (°K), R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.°K), e = bilangan pokok logaritma natural (ln), A = faktor frekuensi. Laju reaksi akan lebih cepat jika puncak energi aktivasinya lebih rendah. Hal ini berarti reaksi akan lebih mudah terjadi. Total energi reaktan dan produk tidak dipengaruhi oleh katalis. Hal ini berarti entalpi (ΔH) reaksi tidak dipengaruhi oleh katalis. Dari persamaan Arrhenius terlihat bahwa laju reaksi (dalam hal ini diwakili tetapan laju reaksi) semakin besar saat reaksi terjadi pada temperatur tinggi yang disertai dengan energi aktivasi rendah.



Gambar 1. Skema dekomposisi monasit memakai basa (NaOH).

Reaksi Order Satu

Reaksi dengan orde satu adalah reaksi dimana laju bergantung pada konsentrasi reaktan yang dipangkatkan dengan bilangan satu. Jika dipandang reaksi dekomposisi (3) dapat diwakili oleh persamaan reaksi berikut



Jika reaksi orde satu, maka persamaan kecepatannya adalah

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = k C_A \quad (10)$$

Integrasi persamaan (10) menghasilkan:

$$- \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_0^t dt \quad (11)$$

$$- \ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k t \quad (12)$$

C_{A0} = konsentrasi mula-mula, C_A = konsentrasi setelahreaksi.

Jika dinyatakan dalam bentuk konversi, persamaan kecepatan dalam persamaan (10) menjadi:

$$\frac{dX_A}{dt} = k(1 - X_A) \quad (13)$$

Diselesaikan dan diintegrasikan memberikan :

$$\ln(1 - X_A) = kt \quad (14)$$

Jika grafik hubungan $\ln(1 - X_A)$ atau $\ln(C_A/C_{A0})$ terhadap t adalah garis lurus maka reaksi yang kita amati benar, mengikuti reaksi order satu. Dengan

C_{A0} = konsentrasi LTJ awal (gmol)

C_{B0} = konsentrasi NaOH (gmol)

$$X_A = \frac{\text{gmol LTJ yang bereaksi}}{\text{gmol LTJ awal}}$$

Reaksi Order Dua

Reaksi dengan orde dua adalah reaksi dimana laju bergantung pada konsentrasi reaktan yang dipangkatkan dengan bilangan dua atau konsentrasi dua reaktan berbeda yang masing-masing dipangkatkan dengan bilangan satu. Persamaan reaksi yang terjadi pada proses pelarutan reaksi (3), kemudian

$$r_A = -C_{A0} \frac{dX_A}{dt} = -\frac{dC_B}{dt} \quad (15)$$

$$= k(C_{A0} - C_{A0} X_A)(C_{B0} - 2C_{A0} X_A)$$

$M = \frac{C_{B0}}{A_0}$, merupakan rasio kemolaran reaktan awal

$$r_A = -C_{A0} \frac{dX_A}{dt} = -\frac{dC_B}{dt} = k C_{A0} (1 - X_A)(M - X_A) \quad (16)$$

Diintegrasikan menjadi

$$r_A = \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1 - X_A)(M - X_A)} = k C_{A0} \int_0^t dt \quad (17)$$

$$\ln \frac{1 - X_B}{1 - X_A} = \ln \frac{M - X_A}{M(1 - X_A)} = C_{A0}(M - 1)kt \quad (18)$$

dengan $M \neq 2$

Reaksi pelarutan (3) berorde 2 bila hubungan $\ln \frac{M - X_A}{M(1 - X_A)}$ terhadap t adalah garis lurus. Nilai konstanta kecepatan reaksi merupakan slop garis lurus tersebut dibagi $C_{A0}(M - 2)$. Sehingga dapat diketahui pengaruh suhu terhadap nilai konstanta kecepatan reaksi (k).

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi optimum dekomposisi basa Parameter yang diamati adalah waktu dekomposisi, molaritas NaOH, perbandingan monasit dengan larutan NaOH, dan suhu dekomposisi.

BAHAN DAN TATAKERJA

Bahan

Bahan yang digunakan monasit, NaOH teknis, air bebas mineral dan kertas pH.

Alat

Alat yang digunakan antara lain : gelas ukur, alat pengaduk pemanas (*magnetic stirrer*), magnet, corong, pipet, *stopwatch*, *furnace*, alat timbang, oven dan spektrofotometer XRF, dino lite primer digital *microscope*.

Cara Kerja

Parameter Perbandingan Pasir Monasit Dengan NaOH

Pasir monasit 100 gram dan NaOH yang divariasi beratnya 100, 110, 120, 130, 140, 150 dan 160 gram dicampur dalam wadah keramik dan diaduk merata, kemudian dipanaskan pada suhu 600 °C menggunakan dapur pemanas atau *furnace*. Waktu yang diperlukan 3 jam. Hasil dekomposisi campuran antara residu monasit yang berbentuk pasir (butiran), Na fosfat(serbuk) dan endapan LTJ – Th hidroksida (REOH) yang berbentuk gelatin padat. Hasil dekomposisi dicuci dengan air panas sampai pH netral dan disaring (dipisahkan). Endapan yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada 110 °C. Setelah kering, residu, Na fosfat dan endapan REOH ditimbang dan dianalisis dengan XRF (kecuali Na fosfat)..

Parameter Suhu Dan Waktu Dekomposisi

Hasil optimum pemakaian NaOH dipakai untuk parameter suhu. Pasir monasit 100 gram, NaOH dengan berat hasil optimasi perbandingan NaOH/monasit dicampur dalam wadah keramik dan diaduk merata. Setelah tercampur, kemudian dipanaskan

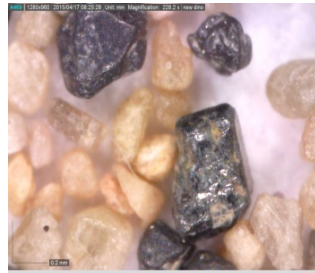
pada variasi suhu 400 dan 700 °C menggunakan dapur pemanas atau *furnace*. Waktu yang diperlukan 1,2,3,4 dan 5 jam. Hasil dekomposisi campuran antara residu monasit yang berbentuk pasir (butiran), Na fosfat (serbuk) dan endapan LTJ – Th hidroksida (REOH) yang berbentuk gelatin padat. Hasil dekomposisi dicuci dengan air panas sampai pH netral dan disaring (dipisahkan). Endapan yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada 110 °C. Setelah kering, residu, Na fosfat dan endapan REOH ditimbang dan dianalisis dengan XRF (kecuali Na fosfat).

Besaran yang diukur

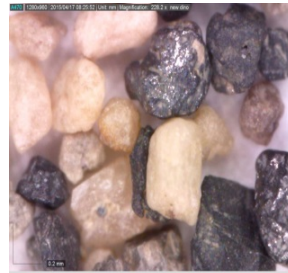
- Berat padatan sisa pelindian atau residu (m gram)
- Berat padatan REOH (m gram)
- Kadar unsur dalam padatan (%)

Perhitungan konversi (x)

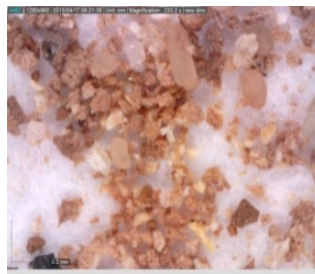
$$x = \frac{\text{berat terlindi}}{\text{berat umpan (awal)}} = \frac{\text{berat (awal - residu)}}{\text{berat awal}}$$



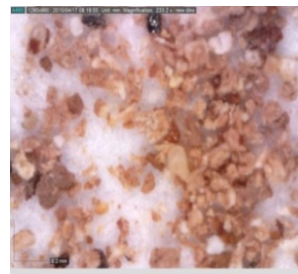
Gambar 2a. Monasit di-lihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran 250x.



Gambar 2b. Monasit dilihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran 250x.



Gambar 3a. Residu dilihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran 250x, hasil dekomposisi basa 1.



Gambar 3b. Residu dilihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran 250x, hasil dekomposisi basa 2.

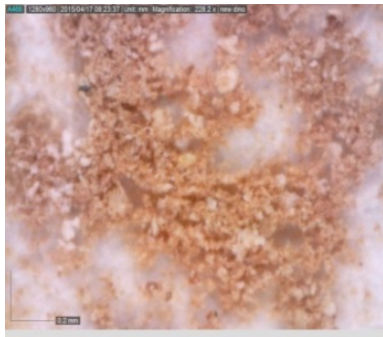
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil analisis unsur LTJ dalam monasit.

| Unsur | kadar unsur, % | Unsur | kadar unsur, % |
|-------|----------------|-------|----------------|
| Y | 2,72 | Pr | 0,54 |
| La | 11,34 | Sm | 1,28 |
| Ce | 18,27 | Th | 6,47 |
| Nd | 8,64 | | |

Gambar 2a – 2b menunjukkan monasit dilihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran kali. Pada gambar – gambar tersebut yang tampak berwarna hitam adalah Si oksida, sedang yang berwarna putih, krem adalah LTJ fosfat. Logam tanah jarang fosfat dan SiO₂ sama – sama bereaksi dengan NaOH. Logam tanah jarang bereaksi dengan NaOH membentuk LTJ hidroksida dan SiO₂ bereaksi dengan NaOH.

Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada residu monasit pada Gambar 3. Pada Gambar 3a dan Gambar 3b menunjukkan bahwa pada residu masing-masing bentuk padatan putih, krem dan hitam tetap ada hanya besarnya berkurang. Sedang pada hasil dekomposisi ditunjukkan pada Gambar 4, diperoleh padatan yang berwarna putih krem yang ukurannya lebih kecil dibanding residu dan seperti gelatin.



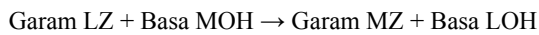
Gambar 4. REOH hasil dekomposisi basa dilihat dengan dino lite primer digital microscope dengan perbesaran 250x.

Parameter Perbandingan NaOH Dengan Monasit

Suhu : 600 °C, waktu : 3 jam, berat monasit : 100gram
 Logam tanah jarang fosfat adalah garam dari asam lemah (fosfat). Disosiasi garam dari asam lemah tidak akan sempurna, disosiasi α yang terbentuk terbatas atau tidak = 1 (tidak sempurna).

$$\alpha = \frac{\text{jumlah zat yang mengion}}{\text{jumlah zat mula - mula}}; 0 \leq \alpha \leq 1$$

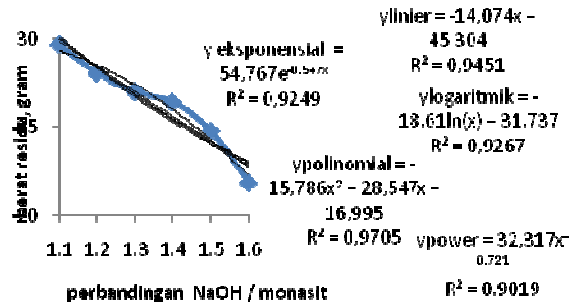
Reaksi penggaraman yang terjadi adalah reaksi antara garam LZ (LTJ – Th fosfat) dengan Basa MOH (NaOH) seperti pada reaksi berikut :



Syarat reaksi berlangsung, garam MZ dan atau basa LOH harus mengendap. Jika basa LOH tidak mengendap, maka harus merupakan basahipotetik. Jika tidak memenuhi syarat reaksi tersebut, reaksi tidak terlihat atau tidak berlangsung karena hasilnya larut semua (basa mantap).

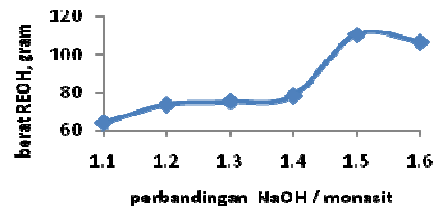
Gambar 5 menyajikan hubungan perbandingan NaOH/monasit dengan berat residu, semakin besar perbandingan NaOH/monasit, berat residu semakin kecil karena reaksi dekomposisi semakin sempurna. Pada perbandingan NaOH/monasit = 1,1 sampai 1,6 diperoleh residu sebesar 29,66 sampai 21,88 gram. Jika perbandingan NaOH/monasit diperbesar

hubungan antara perbandingan NaOH/monasit dengan berat residu akan mengikuti hubungan persamaan garis polinomial $y = -15,786x^2 + 28,547x + 16,995$ dengan ketelitian $R^2 = 0,9705$. Pemilihan perbandingan NaOH/monasit hanya sampai 1,6 karena jika perbandingan NaOH / monasit diperbesar lagi akan menyulitkan proses berikutnya untuk mencapai pH netral.



Gambar 5. Grafik perbandingan NaOH/ monasit versus berat residu.

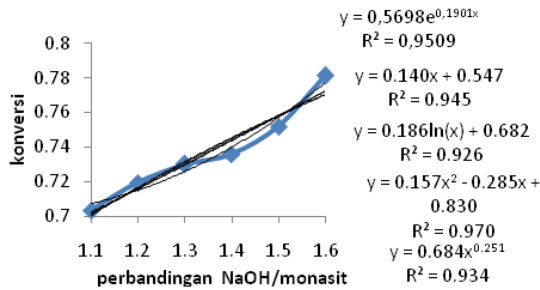
Gambar 6 menyajikan hubungan perbandingan NaOH/monasit dengan berat REOH, semakin besar perbandingan NaOH/monasit, berat REOH semakin besar karena reaksi dekomposisi semakin sempurna, sehingga REOH yang dihasilkan semakin banyak. Pada perbandingan NaOH/monasit = 1,1 sampai 1,6 diperoleh REOH sebesar 63,87 sampai 106,41 gram. Pada pemakaian perbandingan NaOH/monasit = 1,5, REOH yang terbentuk lebih besar dibanding pemakaian perbandingan NaOH/monasit = 1,6, karena pencucian tidak sempurna sehingga masih ada Na_3PO_4 yang terikat dalam REOH.



Gambar 6. Grafik perbandingan NaOH/monasit versus berat REOH.

Dekomposisi diasumsikan terjadi keseragaman atau hampir semua komponen terdekomposisi secara merata [20,21] berdasarkan data Gambar 2 dan Gambar 3. umpan monasit dan residu. Baik itu komponen LTJ – Th fosfat maupun SiO_2 . Dengan demikian konversi (x) = banyaknya monasit yang beraksi dibanding umpan atau sama dengan selisih

berat umpan dengan residu dibagi umpan. Gambar 7 menyajikan hubungan perbandingan NaOH/monasit dengan konversi (x), semakin besar perbandingan NaOH/monasit, konversi (x) semakin besar karena reaksi dekomposisi semakin sempurna. Pada perbandingan NaOH/monasit = 1,1 sampai 1,6 diperoleh REOH sebesar 0,7034 sampai 0,7358. Hubungan antara perbandingan NaOH/monasit dengan konversi (x), mengikuti hubungan persamaan garis polinomial = $0,1579x^2 - 0,2855x + 0,8301$ dengan ketelitian $R^2 = 0,9705$.

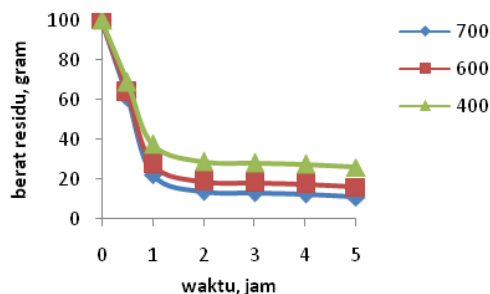


Gambar 7. Grafik perbandingan NaOH/monasit versus konversi.

Parameter Suhu dan Waktu

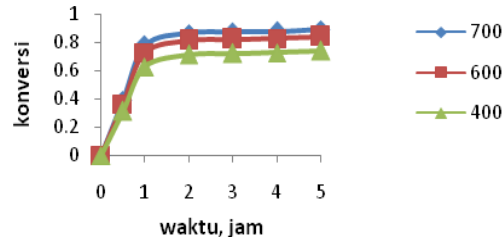
Berat monasit : 100 gram
 Suhu : 400, 600, 700 °C
 NaOH/monasit : 1,5

Gambar 8 menyajikan hubungan waktu dengan berat residu pada berbagai suhu, semakin lama waktu dekomposisi dan semakin besar suhu dekomposisi, berat residu semakin kecil karena reaksi dekomposisi semakin sempurna. Pada waktu dekomposisi 1 sampai 5 jam pada suhu 400 °C diperoleh residu sebesar 68,69 sampai 25,88 gram. Pada waktu dekomposisi 1 sampai 5 jam pada suhu 600 °C diperoleh residu sebesar 63,69 sampai 15,88 gram. Sedang pada waktu dekomposisi 1 sampai 5 jam pada suhu 700 °C diperoleh residu sebesar 61,19 sampai 10,88 gram. Pada dekomposisi diatas 3 jam pada berbagai suhu sudah mencapai titik optimum.



Gambar 8. Grafik hubungan waktu dengan berat residu pada berbagai suhu.

Gambar 9 menyajikan hubungan waktu dengan konversi (x) pada berbagai suhu, semakin lama waktu dekomposisi dan semakin besar suhu dekomposisi, konversi (x) semakin besar karena reaksi dekomposisi semakin sempurna. Pada waktu dekomposisi 0,5 sampai 5 jam pada suhu 400 °C diperoleh konversi (x) sebesar 0,3131 sampai 0,7412. Pada waktu dekomposisi 0,5 sampai 5 jam pada suhu 600 °C diperoleh konversi (x) sebesar 0,3631 sampai 0,8412. Sedang pada waktu dekomposisi 1 sampai 5 jam pada suhu 700 °C diperoleh konversi (x) sebesar 0,3881 sampai 0,8912.

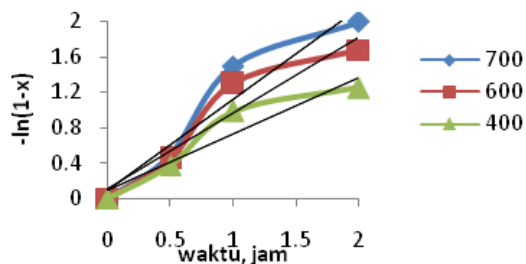


Gambar 9. Grafik hubungan waktu dengan konversi (x) pada berbagai suhu.

Perhitungan Orde Reaksi

Reaksi Orde Satu

Pada perhitungan tetapan laju reaksi dengan orde reaksi satu, diperlukan grafik hubungan waktu dengan $-\ln(1-X)$ dimana X adalah konversi (mol). Berdasarkan persamaan (14), dicoba reaksi orde satu untuk mencari nilai tetapan laju reaksi. Tetapan laju reaksi merupakan tetapan laju reaksi *overall* dengan asumsi bahwa konsentrasi HCl konstan karena jumlahnya berlebihan. Apabila nilai regresi linier (r) dari hasil orde satu cenderung mendekati 1, maka dapat dikatakan bahwa reaksi yang terjadi berorde satu. Nilai regresi linier diperoleh dari akar kuadrat R^2 . Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 2.



Gambar 10. Grafik hubungan waktu dengan $-\ln(1-x)$ pada berbagai suhu.

Dari Tabel 2, nilai linearitas reaksi orde satu dengan rentang 0,9081 sampai 0,9233.

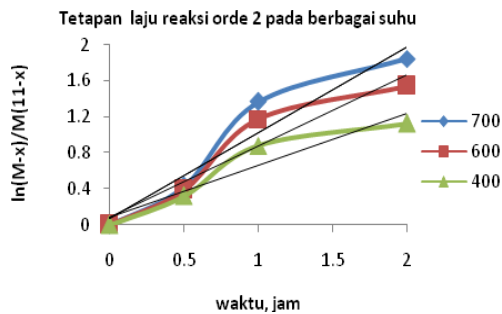
Tabel 2. Nilai linearitas (R²) pada orde satu.

| Suhu, oC | Persamaan | Linieritas |
|----------|-------------------------|-------------------------|
| 400 | y 400= 0,6333x + 0,0976 | R ² = 0,9081 |
| 600 | y600 = 0,8581x + 0,1045 | R ² = 0,915 |
| 700 | y700 = 1,0225x + 0,0988 | R ² = 0,9233 |

Reaksi Orde Dua

Perhitungan tetapan laju reaksi orde dua diperlukan grafik hubungan waktu versus $\ln = \frac{M-x_A}{M(1-x_A)}$. Untuk mencari harga M dihitung dulu jumlah mol dalam monasit dan NaOH.

Hasil perhitungan reaksi orde dua dapat diamati pada Gambar 11 dan Tabel 4.



Gambar 11. Grafik hubungan waktu dengan pada $-\ln(1-x)$ berbagai suhu.

Dari Gambar 10 dapat dibuat tabel persamaan hubungan antara $x(t, \text{waktu})$ dengan $y (\ln = \frac{M-x_A}{M(1-x_A)})$ pada berbagai suhu dan linearitas yang ditunjukkan dengan harga R².

Tabel 4. Nilai linearitas (R²) pada orde dua.

| Suhu, °C | Persamaan | Linieritas |
|----------|-------------------------|-------------------------|
| 400 | y400 = 0,5761x + 0,0808 | R ² = 0,9124 |
| 600 | y600 = 0,7924x + 0,0845 | R ² = 0,919 |
| 700 | y 700= 0,9524x + 0,0771 | R ² = 0,927 |

Dari Tabel 4, nilai linearitas reaksi orde dua dengan rentang 0,9124 sampai 0,927. Secara keseluruhan linearitas orde dua lebih baik daripada grafik orde satu. Dari linearitas dapat disimpulkan bahwa reaksi dekomposisi monasit dengan NaOH mengikuti reaksi orde dua. Daftar harga k pada berbagai suhu dapat disusun pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya suhu, tetapan laju reaksi semakin besar atau reaksi melaju lebih cepat.

Setelah didapat nilai tetapan laju reaksi pada tiap-tiap suhu, dapat dicari hubungan k tetapan laju reaksi sebagai fungsi suhu dengan mengacu pada persamaan Arrhenius, $\ln k = \ln A - E_a/(R.T)$. Hasil perhitungan dinyatakan dalam grafik garis lurus $\ln k$ sebagai ordinat dan $1/T$ sebagai absis yang dapat diamati pada Gambar 12. Dari Gambar 12 hubungan antara $1/T$ dengan $\ln k$, kelurusan garis dinyatakan dengan R² yang nilainya 0,8431, sehingga slope dan intersep yang diperoleh dapat mewakili faktor frekuensi dan energi aktivasi. Persamaan garis $\ln k = -1006,8/T + 6,106$ atau $k = 6,106.e^{-1006,8/T}$.

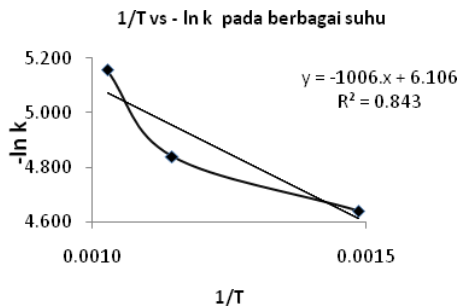
Tabel 3. Perhitungan mol umpan dan NaOH.

| No | Komponen dalam umpan | kadar unsur, % | berat unsur, gram | BM unsur | BM senyawa | berat senyawa, gram | Mol senyawa |
|------------------|---|----------------|-------------------|----------|------------|---------------------|-------------|
| 1 | Y(PO ₄) | 2,72 | 2,7200 | 99 | 194 | 5,3301 | 0,0275 |
| 2 | La(PO ₄) | 11,34 | 11,3446 | 139 | 234 | 19,0981 | 0,0816 |
| 3 | Ce(PO ₄) | 18,27 | 18,2717 | 140 | 235 | 30,6704 | 0,1305 |
| 4 | Nd(PO ₄) | 8,64 | 8,6365 | 144 | 239 | 14,3341 | 0,0600 |
| 5 | Pr(PO ₄) | 0,54 | 0,5425 | 141 | 236 | 0,9079 | 0,0038 |
| 6 | Sm(PO ₄) | 1,28 | 1,2800 | 150 | 245 | 2,0907 | 0,0085 |
| 7 | Th ₃ (PO ₄) ₄ | 6,47 | 6,4663 | 232 | 1076 | 9,9968 | 0,0093 |
| 8 | SiO ₂ | | | | 60 | 17,5718 | 0,2929 |
| Jumlah (monasit) | | | | | | 100,0000 | 0,5781 |

NaOH = 150 gram
 BM NaOH = 40
 Mol NaOH = 3,7500
 M = Mol NaOH/mol monasit
 = 6,4867

Tabel 5. Harga k pada berbagai suhu.

| Suhu, °C | T, °K | C_0k , 1/(waktu × mol/l) | k, /jam | 1/T | ln k | -lnk |
|----------|-------|----------------------------|----------|--------|--------|-------|
| 400 | 673 | 0,9662 | 0,009662 | 0,0015 | -4,640 | 4,640 |
| 600 | 873 | 0,7924 | 0,007924 | 0,0011 | -4,838 | 4,838 |
| 700 | 973 | 0,5761 | 0,005761 | 0,0010 | -5,157 | 5,157 |



Gambar 12. Grafik hubungan 1/T(Kelvin) dengan -ln k.

Energi aktivasi didefinisikan sebagai energi yang harus dilampaui agar reaksi kimia dapat terjadi. Faktor frekuensi (A) tergantung berat dan struktur molekul, frekuensi dan posisi tumbukan antar molekul. Nilai faktor frekuensi (A) dapat ditentukan dari intersep dan energi aktivasi (E) merupakan harga slope dikalikan R (tetapan gas 8,314 J/mol.⁰K). Hasil perhitungan nilai A dan E dapat diamati pada Tabel 6. Energi aktivasi (E) 8,371 kJ/mol dan faktor frekuensi (A) = 448,541.

Tabel 6. Nilai faktor frekuensi (A) dan Energi aktivasi (E).

| Besaran | Nilai |
|------------------------|---------|
| E/R | 1006,8 |
| E, KJ/mol | 8,371 |
| ln A | 6,106 |
| A (faktor frekuensi) | 448,541 |

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dekomposisi 100 gram monasit memakai NaOH, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar perbandingan NaOH/monasit, konversi semakin besar. Pada pengaruh suhu dekomposisi 400-700 °C, tetapan laju reaksi semakin

besar besar dengan bertambahnya suhu dekomposisi. Perbandingan NaOH/monasit optimum dipilih 1,5 dan waktu optimum 3 jam. Hubungan perbandingan NaOH/monasit dengan konversi (x) mengikuti persamaan garis polinomial $y = 0,1579x^2 - 0,2855x + 0,8301$ (y = konversi dan x = perbandingan NaOH/monasit). Reaksi dekomposisi monasit memakai NaOH reaksi orde dua, hubungan antara suhu (T) dengan tetapan laju reaksi (k), $k = 6,106.e^{1006,8/T}$ atau $\ln k = -1006,8/T + 6,106$, faktor frekuensi $A = 448,541$, energi aktivasi $E = 8,371$ kJ/mol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dibiayai dari DIPA PSTA-BATAN tahun anggaran 2015. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Aryani Kusuma Dewi, yang telah membantu penggunaan mikroskop dinolite.

DAFTAR PUSTAKA

- Gupta, C.K. dan Krishnamurthy, N., *Extactive Metallurgy of Rare Earths*, CRC Press, ISBN 0-415-33340-7, 2005.
- Adam Jordens, Ying Ping Cheng, Kristian E. Waters, *A review of the Beneficiation Of Rare Earth Element Bearing Minerals*, Minerals Engineering, Volume 41, 2013, Pages 97–114.
- Sabantanto D.S, *Tinjauan Logam Tanah Jarang*, Bidang Program Dan Kerjasama, Pusat Sumber Daya Geologi.
- Moris, B. *Rare Earths. PIRSA Minerals-Mineral Resource Potential-Rare Earth Elements.htm.*, 2006.
- Pipat Pichestapong, *Research and Development Division Thailand Institute of Nuclear Technology*, Bangkok, Thailand, Technical Meeting on Low Grade Uranium Ore 29 –31 March, 2010/
- Aly M Abdel-Rehim, *An Innovative Method for Processing Egyptian Monazite*, Hydrometal-

- lurgy, Volume 67, Issues 1–3, December 2002, Pages 9–17.
7. Wuwenyuan, Bian Xue, *New Technology of the Decomposition of Monazite and Bastnaesite*, (School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China).
 8. Hughes, KC; Linkson, PB; Hart, KP and White, DC. *The Processing of Monazite [online]*. In: *Chemeca 89: Technology for Our Third Century; the Seventeenth Australasian Chemical Engineering Conference*. Gold Coast, Qld.: Australasian Chemical Engineering Conference, 1989: 112-119.
 9. Soe, Nwe Nwe, *Study on Extraction of Lanthanum Oxide from Monazite Concentrate*, World Academy of Science, 2008.
 10. Hafni, LN., *Pengolahan Monasit Dari Limbah Penambangan Timah: Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) dari U dan Th*, Jakarta: PPGN-BATAN, 2000.
 11. Rekha Panda, Archana Kumari, Manis Kumar Jha, Jhumki Hait, Vinay Kumar, J. Rajesh Kumar, Jin Young Lee, *Leaching of Rare Earth Metals (REMs) from Korean Monazite Concentrate*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Volume 20, Issue 4, 25 July 2014, Pages 2035–2042.
 12. Kim, Sung-Don ; Lee, Jin-Young ; Kim, Chul-Joo ; Yoon, Ho-Sung ; Kim, Joon-Soo, *NaOH Decomposition and Hydrochloric Acid Leaching of Monazite by Hot Decomposition Method*, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, volume 19, issue 6, 2010. pp.70-76.
 13. Prakash, S., *Advanced chemistry of Rare Earth*, New Delhi: S Chand and Co., PVT., 1975.
 14. Wantae Kim, Inkook Bae, Soochun Chae, Heeyoung Shin, *Mechanochemical Decomposition of Monazite to Assist The Extraction of Rare Earth Elements*, Journal of Alloys and Compounds, Volume 486, Issues 1–2, 3 November 2009, Pages 610–614.
 15. Archana Kumari, Rekha Panda, Manis Kumar Jha, Jin Young Lee, J. Rajesh Kumar, Vinay Kumar, *Thermal Treatment for the Separation of Phosphate and Recovery of Rare Earth Metals (REMs) from Korean Monazite*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Volume 21, 25 January 2015, Pages 696-703.
 16. O. Levenspiel, *Chemical Reaction Engineering*, Dept of Chem. Engineering, Oregon State University, Wiley Eastern Ltd, New Delhi, Bangalore, Bombay, Calcutta, 1972.
 17. J.T. Moore, *Chemist for Dummies*, Indonesia: Pakar Raya, 2003.
 18. R. Chang, *Chemistry Ninth Edition*, New York: Mc Graw Hill, 2007.
 19. R.H. Petrucci, W.S. Harwood., And F.G. Herring, *General Chemistry* (8th ed, Prentice-Hall, p.666, 2002.
 20. S Zhang, J.N. Michael, *Kinetics of the Dissolution of Ilmenite in Sulfuric Acid Solutions Under Reducing Conditions*, Science Direct, hydrometallurgy 103, 2010, 196-204.
 21. B. Liang, C. Li, C. Zhang, Y. Zhang, *Leaching Kinetics of Panzhihua Ilmenite in Sulfuric Acid*, Hidrometallurgy 76, 2005, 173-179.

TANYA JAWAB

M. Setyadji

- Mohon penjelasan definisi waktu reaksi untuk perhitungan kinetika reaksi, apakah waktu awal untuk mencapai suhu 600/700 °C dan waktu akhir untuk pendinginan dari suhu 600/700 °C tidak terjadi dekomposisi apalagi terkait kinetika reaksi.

MV Purwani

- Waktu reaksi didefinisikan waktu furnace mencapai suhu yang diharapkan 400 – 700 °C, karena furnace tidak bias langsung diatur ke suhu 400 – 700 °C, harus pelan-pelan. Untuk waktu dekomposisi sesudah mencapai suhu yang diharapkan dimatikan setelah waktu tertentu. Memang untuk pengambilan sampel dari furnace harus menunggu dingin. Asumsi penurunan suhu dari 700 °C ke 400 °C cepat terjadinya, tetapi dari 400 °C ke furnace sampai boleh dibuka agak pelan-pelan. Tetapi pada daerah suhu di bawah suhu 300 °C, reaksi dekomposisi belum terjadi, karena akan lebur pada suhu 400 °C. Asumsi ini dipelajari lebih lanjut dengan perbaikan alat yang dipakai.