

KEBUTUHAN DESAIN AWAL PADA *PILOT PLANT* PENGOLAHAN MONASIT MENJADI THORIUM OKSIDA (ThO₂)

PRELIMINARY DESIGN NEEDS FOR PILOT PLANT OF MONAZITE PROCESSING INTO THORIUM OXIDE (ThO₂)

Hafni Lissa Nuri, Prayitno, Abdul Jami, M. Pancoko

Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN,

Kawasan Puspiptek Gd.71, Serpong, Tangerang Selatan 15310

E-mail: hafniln@batan.go.id

Naskah diterima: 6 Oktober 2014, direvisi: 9 Oktober 2014, disetujui: 19 November 2014

ABSTRAK

Pengumpulan data dan informasi ditujukan untuk memenuhi kebutuhan desain awal *pilot plant* pengolahan monasit menjadi thorium oksida (ThO₂). Kandungan thorium pada monasit di Indonesia cukup tinggi antara 2,9 – 4,1 % dan cukup melimpah terutama di Kepulauan Bangka Belitung. Thorium dapat digunakan sebagai bahan bakar dikarenakan potensinya lebih melimpah dibandingkan uranium. Pabrik pengolahan thorium oksida dari monasit secara komersial didirikan mulai dari *pilot plant* untuk menguji data laboratorium. Desain *pilot plant* dimulai dari desain awal, *basic design*, desain detil, *procurement*, dan konstruksi. Kebutuhan untuk desain awal yang telah dilakukan meliputi data umpan dan produk, blok diagram proses, deskripsi proses, penentuan kondisi proses, dan jenis alat utama.

Kata kunci: desain, monasit, thorium oksida

ABSTRACT

Data and information collection aimed in order to meet the needs of the initial design for pilot plant of monazite processing into thorium oxide (ThO₂). The content of thorium in monazite is high in Indonesia between 2.9 to 4.1% and relatively abundant in Bangka Belitung Islands. Thorium can be used as fuel because of its potential is more abundant instead of uranium. Plant of thorium oxide commercially from monazite established starting from pilot plant in order to test laboratory data. Pilot plant design started from initial design, basic design, detailed design, procurement and construction. Preliminary design needs includes data feed and products, a block diagram of the process, a description of the process, the determination of process conditions and type of major appliance has been conducted.

Keywords: design, monazite, thorium oxide

PENDAHULUAN

Monasit adalah mineral radioaktif dimana komposisi senyawanya adalah unsur-unsur *rare earth* (RE), uranium (U), thorium (Th) dan fosfat (PO₄). Thorium yang

merupakan unsur radioaktif cukup besar kandungannya didalam monasit sekitar 2,9 – 4,1 %. Salah satu kegunaan dari Th adalah sebagai bahan bakar nuklir dan saat ini Th mulai banyak dikembangkan di negara-negara

pengguna PLTN seperti Jepang, China, India, dan Jerman sebagai bahan bakar pengganti uranium dikarenakan keberadaan tambang uranium di dunia sudah jauh berkurang sedangkan keberadaan Th jumlahnya mencapai 3 – 4 kali uranium dan belum banyak diproduksi secara komersial. Selain itu apabila Th digunakan sebagai bahan bakar nuklir akan menghasilkan limbah yang jauh lebih sedikit dibandingkan menggunakan uranium^[1].

Pasir monasit yang dihasilkan di Indonesia saat ini masih merupakan hasil samping penambangan timah di Bangka, mengenai cadangan monasit yang dimiliki perusahaan penambang timah sampai saat ini belum ada data resmi yang dikeluarkan oleh pihak yang berwenang. Daerah Belitung mempunyai potensi radioaktif (monasit) sebesar 31.680.000 m²[2]. Monasit juga terdapat di daerah Bangka, Kalimantan, dan Sulawesi namun belum diperbolehkan untuk ditambang secara komersial. Monasit tersebut mempunyai nilai ekonomis yang tinggi dan jika diolah akan meningkatkan devisa negara. Pengolahan monasit menjadi oksida logam tanah jarang (RE₂O₃) dalam skala pilot yang merupakan hasil kerjasama PTBGN BATAN dengan PT. Timah (Tbk.) diperkirakan akan beroperasi tahun 2015. Monasit Bangka yang digunakan sebagai umpan penelitian rata-rata mengandung Th sekitar 4,1 %, maka jika mengolah 1 ton monasit menjadi thorium oksida (ThO₂) akan menghasilkan ThO₂ sekitar 28,3 kg (asumsi rekoveri totalnya 56,1%)^[3,4]. Pengolahan monasit menjadi ThO₂ perlu direncanakan dengan membuat desain konseptual terlebih dahulu.

Pada prinsipnya pengolahan monasit menjadi ThO₂ dimulai dengan tahapan pengambilan PO₄, U, logam tanah jarang (RE), Th dan yang terakhir pemurnian Th

dari pengotornya. Oleh karena itu pengolahan monasit menjadi ThO₂ dimulai dari penggerusan, dekomposisi, pemisahan padat cair, pelindian uranium, filtrasi, pelarutan RE secara parsial, *settling*, pengendapan U dan Th, *settling*, pelarutan Th, *settling*, ekstraksi dan *stripping* Th, pengendapan Th dengan amonium hidroksida (NH₄OH), filtrasi, pelarutan Th dengan asam nitrat (HNO₃), pengendapan Th dengan asam oksalat (H₂C₂O₄), filtrasi, dan dekomposisi termal.

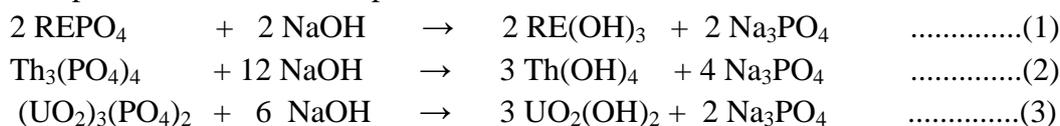
Pabrik pengolahan monasit menjadi ThO₂ dimulai dengan mendirikan *pilot plant* untuk menguji data laboratorium. Desain *pilot plant* dimulai dengan desain awal (*preliminary*), dasar (*basic*) dan detil. Desain awal diperlukan dalam rangka untuk melakukan perhitungan alat. Kegiatan ini meliputi pengumpulan data-data *properties*, pembuatan blok diagram pengolahan monasit menjadi ThO₂, pembuatan deskripsi proses dan penentuan kondisi proses serta jenis alat utama yang digunakan untuk proses.

TEORI

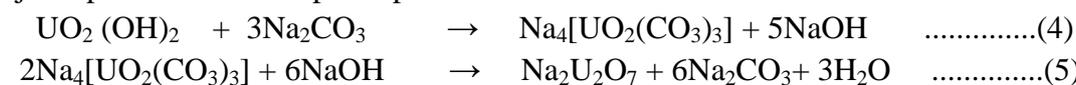
Monasit pada umumnya mempunyai komposisi unsur U, Th, RE, dan PO₄. RE yang dominan dalam monasit adalah Ce, La, dan Nd. Uranium dan thorium sebagai unsur radioaktif digunakan sebagai bahan bakar nuklir. PO₄ adalah fosfat sebagai bahan baku pembuatan pupuk kimia. Keempat unsur penyusun monasit tersebut mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Untuk itu, perlu dipisahkan dan mempunyai kemurnian yang tinggi sehingga mempunyai nilai ekonomis tinggi.

Pada dasarnya pengolahan monasit menjadi ThO₂ dibagi dalam 4 (empat) tahapan.

1. Pengambilan/pemisahan fosfat (PO₄) melalui proses dekomposisi dan pemisahan padat cair. Pada tahapan ini monasit didekomposisi dengan basa kuat dan terjadi reaksi kimia seperti pada persamaan (1), (2), dan (3)^[4]. Fosfat yang dihasilkan berupa kristal Na₃PO₄ berwarna putih dan untuk proses



2. Pengambilan U (uranium) melalui proses pelindian dengan basa kuat
Proses pelindian uranium dengan umpan basa kuat campuran Na₃CO₃ dan NaOH dan terjadi proses kimia seperti pada



3. Pengambilan RE dengan proses pelarutan dan pengendapan
Endapan sisa dari proses pengambilan/pemisahan uranium adalah campuran (RE,Th)OH yang diproses lanjut untuk mengambil RE-nya dengan sistem pelarutan dan pengendapan.

Pelarutan dilakukan dengan menggunakan HCl dengan reaksi kimia pada persamaan (6)^[4]. Pada pelarutan



4. Pengambilan Th (thorium)
Larutan sisa dari proses pengambilan RE yaitu (RE,Th)OH dan endapan dari pemurnian RE dicampur, dimana dalam endapan tersebut unsur Th mendominasi komposisinya. Tahapan pengambilan Th dimulai dengan pelarutan dengan HNO₃, ekstraksi dan *stripping* Th, pengendapan

pemisahan dari endapan (RE,U,Th)OH dilakukan pemisahan padat cair dengan dicuci air panas, dimana fosfat mudah larut dengan air panas. Jika diinginkan produk fosfat lebih murni atau bersih dari pengotor U, Th, dan RE bisa dilakukan dengan proses lanjutan dengan sistem pemekatan dan ekstraksi.

persamaan (4) dan (5)^[4]. Uranium yang dihasilkan berupa larutan uranil diuranat dan dapat dipisahkan dengan endapan hidroksida

tersebut (persamaan (6)) ada sebagian Th yang ikut larut dengan reaksi kimia pada persamaan (7)^[1]. Unsur uranium juga larut di dalam HCl tetapi jumlahnya sudah tidak terlalu berarti. RE yang lebih murni dapat diperoleh dari pengotor U dan Th dari larutan RECl₃ diendapkan kembali untuk mengambil U dan Th sebagai endapan hidroksida.

Th dengan NH₄OH, pelarutan kembali Th dengan HNO₃, pengendapan Th dengan asam oksalat dan yang terakhir adalah dekomposisi termal dengan menghasilkan ThO₂. Selama pengambilan/pemisahan Th terjadi reaksi kimia sebagai berikut^[4]:

- a. Pelarutan (RE,U,Th)OH dengan HNO₃
 - $Th(OH)_4 + 4HNO_3 \rightarrow Th(NO_3)_4 + 4H_2O$ (8)
 - $RE(OH)_3 + HNO_3 \rightarrow RE(NO_3) + H_2O$ (9)
- b. Ekstraksi Th dengan menggunakan campuran *solvent* (pelarut organik) dengan simbol R.
 - $Th(NO_3)_4 + 2H_2O \rightleftharpoons Th_2(OH)_2(NO_3)_6 + 2HNO_3$ (10)
 - $2RNO_3 + \frac{1}{2} Th_2(OH)_2(NO_3)_6 + HNO_3 \rightleftharpoons R_2Th(NO_3)_6 + H_2O$ (11)
- c. *Stripping* Th dengan HCl
 - $R_2Th(NO_3)_6 + 4HCl \rightarrow ThCl_4 + 4HNO_3 + 2RNO_3$ (12)
- d. Pengendapan Th dengan NH₄OH
 - $ThCl_4 + 4 NH_4OH \rightarrow Th(OH)_4 + NH_4Cl$ (13)
- e. Pelarutan kembali Th dengan HNO₃
 - $Th(OH)_4 + HNO_3 \rightarrow Th(NO_3)_4 + H_2O$ (14)
- f. Pengendapan Th dengan asam oksalat
 - $Th(NO_3)_4 + 2H_2C_2O_4 + 6H_2O \rightarrow Th(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O + 4HNO_3$ (15)
- g. Dekomposisi termal dari thorium oksalat
 - $Th(C_2O_4)_2 \cdot 6H_2O \rightarrow ThO_2 + 2CO_2 + 2 CO + 6 H_2O$ (16)

Jika ada rencana untuk membuat suatu pabrik pengolahan monasit menjadi ThO₂ maka desain *engineering*-nya melalui beberapa tahapan yaitu^[31]:

1. Desain konseptual atau desain awal
2. Desain dasar atau *basic engineering*
3. Desain detail
4. *Procurment*
5. Konstruksi
6. *Comissioning* dan operasi

Tahapan-tahapan desain tersebut perlu persiapan yang matang terutama untuk membuat desain konseptual maka perlu dipersiapkan kebutuhan-kebutuhan desainnya. Pabrik monasit belum ada di Indonesia, padahal Indonesia mempunyai cadangan monasit yang melimpah. Persiapan desain *engineering* perlu dilakukan sehingga sudah siap saat diperlukan.

METODOLOGI/ TAHAPAN KEGIATAN

Kegiatan tentang kebutuhan desain pada pengolahan monasit menjadi ThO₂

dapat dilakukan dengan beberapa tahapan kegiatannya sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data-data *properties*
2. Membuat blok diagram pengolahan monasit menjadi ThO₂
3. Membuat deskripsi proses
4. Menentukan kondisi proses dan jenis alat utama yang digunakan untuk proses.

HASIL KEGIATAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pada kegiatan tentang kebutuhan desain untuk pengolahan monasit menjadi ThO₂ diuraikan sebagai berikut:

1. Data-data *properties*
 Kegiatan desain maka dibutuhkan data-data *properties* diantaranya data komposisi umpan, dan sifat-sifat kimia serta fisika dari umpan tersebut. Data digunakan sebagai pendukung untuk melakukan perhitungan neraca massa, neraca panas, dimensi alat yang pada akhirnya akan didapatkan spesifikasi alat. Data-data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Data umpan monasit (RE,U,Th)PO₄ dan komponen kimianya

Pada dasarnya komponen monasit di Indonesia maupun di negara-negara lain hampir sama seperti pada Tabel 1, dikarenakan untuk

kebutuhan desain dan tidak tersedianya data komponen lengkap untuk monasit Indonesia maka kami mengambil data dari monasit Mesir seperti yang tertulis pada Tabel 2.

Tabel 1. Data Monasit Indonesia dan Negara Lain^[5]

| No | Komponen Monasit | Mesir (%) | Indonesia (%) | Brazil (%) | India (%) | Florida (%) |
|----|--------------------------------|-----------|---------------|------------|-----------|-------------|
| 1 | ThO ₂ | 6.04 | 2.9-4.1 | 6.5 | 9.8 | 3.1 |
| 2 | U ₃ O ₈ | 1.486 | 0.53-1.06 | 0.17 | 0.29 | 0.47 |
| 3 | RE ₂ O ₃ | 62.41 | 50-65 | 59.2 | 58.6 | 40.7 |
| 4 | Ce ₂ O ₃ | 26.5 | - | 26.8 | 27.2 | - |
| 5 | P ₂ O ₅ | 28.61 | 18-30 | 26 | 30.1 | 19.3 |
| 6 | Fe ₂ O ₃ | 0.46 | - | 0.51 | 0.8 | 4.47 |
| 7 | TiO ₂ | 0.38 | - | 1.75 | 0.4 | - |
| 8 | SiO ₂ | 1.26 | - | 2.2 | 1.7 | 8.3 |

Tabel 2. Komposisi Umpan Monasit^[5]

| Komposisi mineral | | Komposisi monasit | |
|-------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| Mineral | Kandungan (%) | Komponen senyawa | Kandungan (%) |
| Monasit | 98.2 | RE ₂ O ₃ | 62.41 |
| Zircon | 0.6 | Ce ₂ O ₃ | 26.5 |
| Rutile | 0.3 | ThO ₂ | 6.04 |
| Ilmenite | 0.1 | Fe ₂ O ₃ | 0.46 |
| Augite | 0.2 | SiO ₂ | 1.26 |
| Chloride | 0.05 | TiO ₂ | 0.38 |
| Epidote | 0.08 | ZrO ₂ | 0.4 |
| Hornblende | 0.1 | U | 0.42 |
| Stauralite | 0.06 | P ₂ O ₅ | 28.61 |
| Quartz | 0.35 | | |

b. Data *properties* sifat kimia dan fisis dari komponen-komponen umpan

Umpan terdiri atas unsur utama dan unsur-unsur minor sebagai pengotor (Tabel 3). Jumlah unsur minor ini ada sekitar 13 (tiga belas) buah dan selama proses pengolahan unsur-unsur tersebut harus bisa

dieliminasi sekecil mungkin. Disajikan sifat kimia yang meliputi nama kimia unsur dan berat molekul (BM), dan sifat fisisnya yang meliputi berat jenis atau *density*, titik leleh atau *melting point* (MP), titik didih atau *boiling point* (BP), kelarutan atau

solubility, warna dan jenis komponen, *standart enthalphy of formation*/ $\Delta H_f^\circ_{298}$, *standart molar entrophy*/ S_0 298, koefisien kapasitas panas/ C_p .

c. Spesifikasi Produk ThO_2

Spesifikasi produk thorium oksida yang ditulis pada Tabel 4 merupakan serbuk ThO_2 yang telah diuji untuk membuat *pellet* sebagai bahan bakar nuklir.

2. Blok diagram pengolahan monasit menjadi ThO_2

Blok diagram dibuat setelah memperoleh data-data tahapan proses dari berbagai sumber, kemudian diseleksi berdasarkan pada proses yang mudah diaplikasikan untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasinya. Blok diagram pengolahan monasit menjadi ThO_2 dibuat seperti pada Gambar 1. Keberadaan blok diagram akan mempermudah pemahaman alur proses dan penentuan alat yang akan digunakan.

3. Deskripsi proses

Deskripsi proses dimaksudkan memberikan gambaran umum mengenai proses pengolahan monasit menjadi ThO_2 dengan alur prosesnya seperti yang terlihat pada blok diagram (Gambar 1.). Pada dasarnya pengolahan monasit menjadi ThO_2 dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Pengambilan fosfat (PO_4) dari monasit
- b. Pengambilan uranium (U)
- c. Pengambilan RE
- d. Pengambilan dan pemurnian Thorium (Th)

Pada tahap awal pengolahan dimulai pengambilan fosfat (PO_4) dari monasit, $(\text{RE,U,Th})\text{PO}_4$ dimulai dengan menggerus pasir monasit sehingga menjadi lebih halus dan mudah larut ke dalam NaOH selama dekomposisi. $(\text{RE,U,Th})\text{PO}_4$ berubah menjadi $(\text{RE,U,Th})\text{OH}$ dan fosfat akan menjadi Na_3PO_4 . Fosfat tersebut dipisahkan dengan difiltrasi menggunakan air panas karena Na_3PO_4 mudah larut di dalam air panas. Pada proses ini fosfat dapat terambil lebih dari 99 %.

Pada tahap pengambilan uranium, dilakukan pelindian endapan $(\text{RE,U,Th})\text{OH}$ dengan menggunakan campuran basa kuat NaOH dan Na_2CO_3 sehingga uranium akan larut menjadi larutan diuranat $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$. Selama pelindian diperlukan oksidator untuk merubah uranium valensi 4 menjadi 6 supaya mudah larut ke dalam reagen, sedangkan RE dan Th tetap berada dalam endapan $(\text{RE,U})\text{OH}$. Pada proses ini uranium yang terambil bisa mencapai lebih besar dari 90 %.

Tabel 3. Data Properties Unsur/Senyawa pada Umpan^[7]

| No | Komponen | BM (kg/kmol) | Density (kg/m ³) | MP(°C) | BP(°C) | Solubility in Water | Warna | ΔH_f° (J/mol K) | $S_{o,298}$ (kJ/mol) | C_p (kJ/kmol K) |
|----|---|--------------|------------------------------|--------|---------|------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | REPO ₄ | 236.78 | 5100 | 2177 | 3700 | - | pink powder | - | -1809.6 | 102.9 |
| 2 | Th ₃ (PO ₄) ₄ | 1076.00 | 1000 | 3700 | 4400 | - | phale yellow | - | - | 588.92 |
| 3 | (UO ₂) ₃ (PO ₄) ₂ | 1000.00 | 1000 | 2865 | 3542.15 | - | phale yellow | - | 39.27 | 65.21 |
| 4 | Fe ₂ O ₃ | 159.69 | 5120 | 1566 | - | insoluble | red brown solid | 90 | -826 | 93.4384 |
| 5 | FeO | 7.84 | 5745 | 1377 | 3414 | insoluble | black crystal | - | - | 45.7512 |
| 6 | SiO ₂ | 60.06 | 2650 | 166 | 2230 | - | trans crystal | 42 | -911 | 72.77 |
| 7 | TiO ₂ | 79.87 | 4170 | 1843 | 2972 | insoluble | white solid | 50 | -945 | 67.298 |
| 8 | ZrO ₂ | 123.22 | 5600 | 2715 | 4300 | negligible | white powder | 50.30 | -1800 | 69.20 |
| 9 | Al ₂ O ₃ | 101.96 | 3990 | 2072 | 2977 | insoluble | white solid | 50.92 | -1675 | 102.429 |
| 10 | ZrSiO ₄ | 183.31 | 4560 | 2550 | - | soluble | off white | 83.87 | -2023 | 85.1716 |
| 11 | MnO ₂ | 86.94 | 5026 | 535 | - | insoluble | brown black solid | 53 | -520 | 142.96 |
| 12 | MgO | 40.30 | 3650 | 2852 | 3600 | soluble | white solid | 27 | -602 | 47.26 |
| 13 | CaO | 56.08 | 3320 | 2613 | 2815 | soluble | pale powder | 40 | -635 | 49.954 |
| 14 | Na ₂ O | 61.98 | 2270 | 1132 | 1950 | - | white solid | 73 | -416 | 25.5754 |
| 15 | KClO ₄ | 138.55 | 2500 | 525 | 600 | soluble | white crystal | 151 | -433 | 1327.17 |
| 16 | SnO ₂ | 150.71 | 7000 | 163 | 1900 | insoluble | white solid | 52 | -581 | 55.23 |

Tabel 4. Spesifikasi Produk ThO₂^[8]

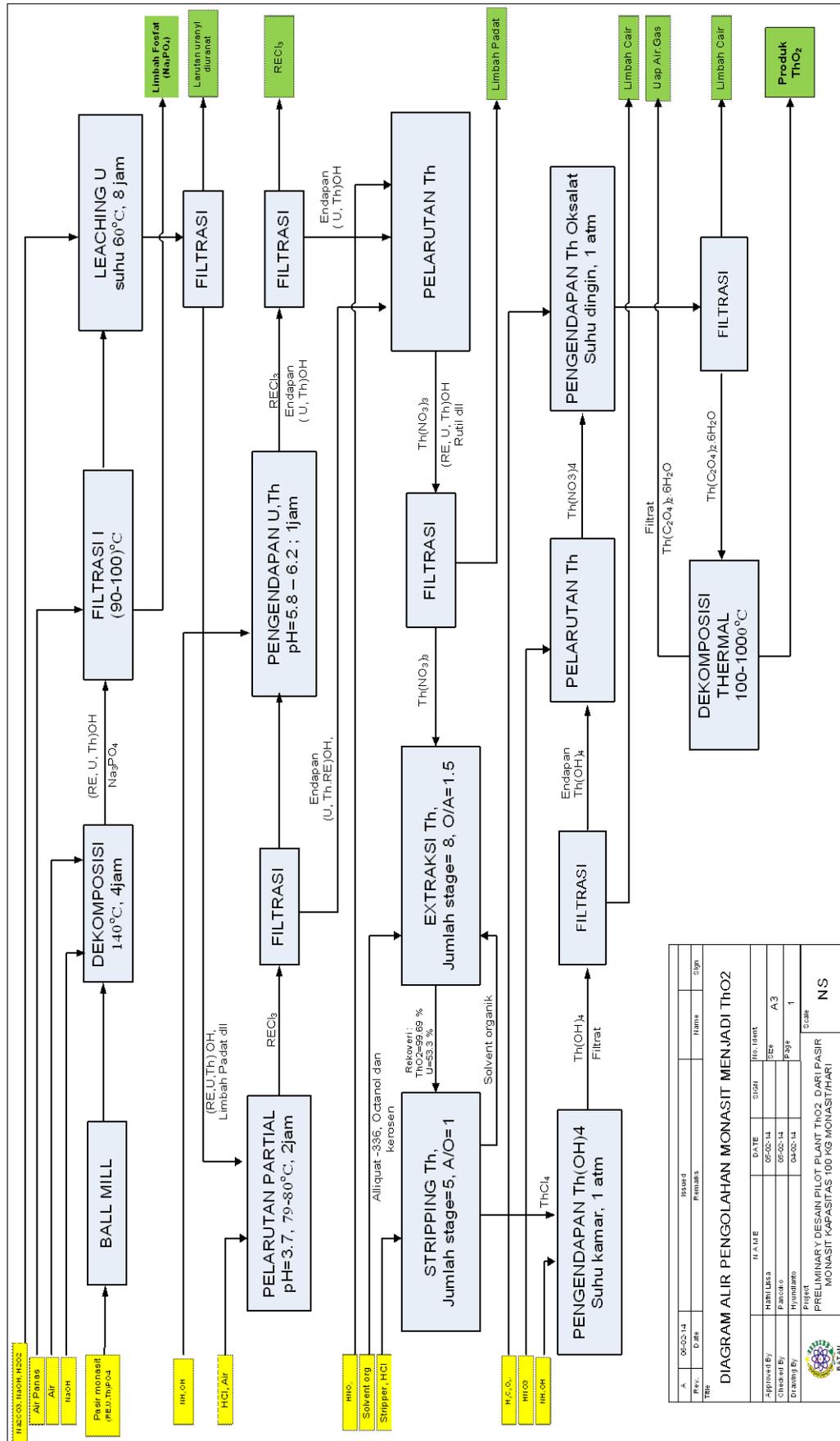
| No. | Sifat Fisis ThO ₂ | Keterangan | Satuan | Komposisi ThO ₂ | | | |
|-----|------------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------|----|------|
| | | | | Th | Min 87,42% | | |
| 1 | BM | 264,04 | gmol/gram | Unsur pengotor, ppm | | | |
| 2 | Bau | <i>odorless</i> | | Al | <50 | Mn | <2,5 |
| 3 | Jenis endapan | <i>white solid</i> | | B | <0,25 | Mo | 5 |
| 4 | Densitas | 10 | g/cm ³ | C | 334 | N | 14 |
| 5 | MP | 3390 | °C | Ca | 170 | Ni | <5 |
| 6 | BP | 4400 | °C | Co | <2,5 | Si | <50 |
| 7 | <i>In water</i> | <i>insoluble</i> | | Cr | 23 | Ti | <2,5 |
| | | | | Cu | 4 | Hg | <5 |
| | | | | F | 12 | V | <2,5 |
| | | | | Fe | <25 | Sn | 8 |
| | | | | Mg | 15 | | |

Pada tahapan pengambilan RE, endapan (RE,Th)OH dilarutkan secara parsial menggunakan reagen HCl pada pH di bawah 4 dengan tujuan melarutkan RE sebanyak-banyaknya tetapi Th sesedikit mungkin sehingga diperoleh *slurry* yang merupakan campuran endapan Th(OH)₄ dan larutan RECl₃. Pada proses ini uranium berada bersama-sama dengan endapan Th. RE yang terambil rekoverinya sekitar 70 – 80% tetapi relatif murni dari U dan Th sedangkan sisa endapan yaitu Th(OH)₄ masih bercampur dengan RE dan U maka perlu pengolahan lebih lanjut.

Pada tahapan pengambilan dan pemurnian Thorium (Th) menggunakan umpan endapan Th(OH)₄ yang masih mengandung pengotor U dan RE yang cukup tinggi. Endapan tersebut dilarutkan menggunakan HNO₃, kemudian difiltrasi sehingga diperoleh larutan Th(NO₃)₄ yang dimurnikan dengan sistem ekstraksi menggunakan pelarut (*solvent*) organik campuran Alliquot dan Octanol dengan pengencer

kerosin dengan perbandingan O/A = 1,5, jumlah *stage* = 8. Larutan organik yang kaya Th kemudian di *stripping* dengan menggunakan HCl membentuk ThCl₄. Pertimbangan menggunakan HCl adalah jika masih ada unsur U di dalam kompleks organik maka U tidak mudah larut ke dalam HCl. Larutan ThCl₄ diendapkan lagi menggunakan NH₄OH membentuk Th(OH)₄ pada pH sekitar 6. Endapan Th(OH)₄ dilarutkan lagi dengan HNO₃ pekat menjadi larutan Th(NO₃)₄ yang kemudian diendapkan dengan asam oksalat membentuk endapan Th Oksalat, Th(C₂O₄)₂.6H₂O. Endapan kemudian didekomposisi termal pada suhu di atas 1000°C sehingga diperoleh hasil akhir berupa ThO₂.

4. Kondisi proses dan jenis alat yang digunakan. Setelah melalui tahapan seleksi dan evaluasi maka ditentukan peralatan utama untuk pengolahan monasit menjadi ThO₂ seperti pada Tabel 5.



Gambar 1. Diagram alir pengolahan monasit menjadi ThO₂.

Tabel 5. Kondisi Proses dan Jenis Alat Proses

| No | KEGIATAN PROSES | KONDISI PROSES | JENIS ALAT PROSES |
|----|---------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | PENGERUSAN | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | BALL MILL |
| 2 | DEKOMposisi | SUHU 138-140°C, 4 JAM | DIGESTER BERPENGADUK |
| 3 | FILTRASI 01 | SUHU 90-100°C | DRUM FILTER |
| 4 | LEACHING URANIUM | SUHU 60°C, 84 JAM | TANGKI BERPENGADUK, JACKET PEMANAS |
| 5 | FILTRASI 02 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | BASKET CENTRIFUGE |
| 6 | PELARUTAN PARSIAL | SUHU 79-80°C, 2 JAM | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 7 | FILTRASI 03 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | TANGKI SETTLING |
| 8 | PENGENDAPAN U&Th | SUHU KAMAR, 1 JAM | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 9 | FILTRASI 04 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | TANGKI SETTLING |
| 10 | PELARUTAN Th DENGAN HNO ₃ | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 11 | FILTRASI 05 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | TANGKI SETTLING |
| 12 | EKSTRAKSI Th | O/A=1,5, SUHU KAMAR | MIXER SETTLER |
| 13 | STRIPPING Th | O/A=1,5, SUHU KAMAR | MIXER SETTLER |
| 14 | PENGENDAPAN DENGAN NH ₄ OH | SUHU KAMAR, 1 JAM | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 15 | FILTRASI 06 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | CENTRIFUGE |
| 16 | PELARUTAN Th DENGAN HNO ₃ | SUHU KAMAR, 1 JAM | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 17 | PENGENDAPAN Th OKSALAT | SUHU < 20°C | TANGKI BERPENGADUK, BUFFLE |
| 18 | FILTRASI 07 | SUHU KAMAR, ATMOSPHERIK | CENTRIFUGE |
| 19 | DEKOMposisi THERMAL | SUHU 100-1000°C | TUNGKU KALSIATOR, PEMANAS |

KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan untuk memenuhi kebutuhan desain dalam rangka desain awal *pilot plant* pengolahan monasit menjadi ThO₂ telah selesai dilakukan yang meliputi data *properties* umpan dan produk, pembuatan blok diagram proses, deskripsi proses, dan kondisi proses serta jenis alat yang telah dipilih untuk desain. Dari kebutuhan desain tersebut dapat dilakukan desain awal dengan menghitung neraca massa dan energi, menghitung ukuran alat proses yang telah ditetapkan jenisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- IAEA, "Thorium Fuel Cycle-Potensial Benefits and Challenges", Tecdoc-1450, May 2005.
- BAMBANG SOETOPO, LILIK SUBIANTORO, DWI HARYANTO, "Studi Deposit Monasit dan Zircon di Daerah Cerucuk Belitung", Prosiding Seminar Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang 2012, ISBN 978-979-99141-5-6, PPGN-BATAN, Jakarta, 2012.
- SUMARNI, RIESNA PRASSANTI, KURNIA TRINOPIAWAN, SUMIARTI, HAFNI LISSA N., "Penentuan Kondisi Pelarutan Residu dari Hasil Pelarutan Parsial Monasit Bangka", Prosiding Seminar Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang 2012, ISBN 978-979-99141-5-6, PPGN-BATAN, Jakarta, 2012.
- PANCOKO M., "Data Properties of Material", Technical Note, PRPN-BATAN, Serpong, 2014.
- CUTHBERT, F.L., "Thorium Production Technology", addition Wesley Publishing Company, Inc USA, 1958.
- ABDEL RAHIM, A.M., "An Innovative Method for Processing Egyptian Monazite", Alexandra University, Egypt, June 2002.
- PERRY, H., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 7th edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.

-
8. BURKE, T.J., "The Characterization of Commercial Thorium Oxide Powders", Bettis Atomic Power Laboratory, Pennsylvania, May 1982.
 9. WALAS, S.M., "Chemical Process Equipment", Select and Design, Butterworth Heinemann, Division of Reed Publishing (USA) Inc., 1990.
 10. FOUST, A.S., "Principles of Unit Operations", 2nd edition., John Willey & Sons Inc., New York, 1980.