

IMOBILISASI LIMBAH RADIOAKTIF MENGANDUNG THORIUM MENGUNAKAN BAHAN MATRIKS SYNROC

Hasmaniar Septiani **), Gunandjar *), Mochtar Hadiwidodo **)

*) Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) BATAN, Serpong, Tangerang

***) Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP, Jl. Prof. H. Sudarto, SH
Tembalang, Semarang

Email : hasmaniarseptiani@gmail.com

ABSTRACT

Thorium waste generated from mantles factories in the form of sludge with a high water content that is derived from thorium-contaminated soil. This waste includes low activity radioactive waste of long-life alpha emitter that is harmful to humans and the environment. Based on these conditions, the immobilization process is required to confine the content of thorium. This research will develop thorium waste volume reduction by adsorption process using H-Zeolite made from Zeolite of Lampung and immobilization process using synroc matrix material. This research emphasized the immobilization process to obtain waste synroc block with the best quality by studying the effect of sintering temperature and sintering time as well as the effect of waste loading in the formation process of waste synroc block. The optimum condition is achieved at the waste loading 50% with the sintering temperature of 1250 ° C for 3 hours.

Keywords: radioactive waste, synroc, thorium, mantles factory, leaching rate

PENDAHULUAN

Salah satu limbah radioaktif di Indonesia adalah limbah radioaktif yang ditimbulkan dari kegiatan pabrik kaos lampu. Di Indonesia salah satu industri pabrik kaos lampu yang menghasilkan limbah radioaktif ini yaitu PT. Tasuma Jaya. Dampak dari pemakaian Th di industri kaos lampu adalah limbah yang ditimbulkan merupakan limbah cair dari sisa larutan thorium nitrat yang bersifat radioaktif. Pada saat ini di Instalasi Penyimpanan Sementara Limbah Radioaktif (IPSLR) disimpan sekitar 200 drum limbah Thorium dari pabrik kaos lampu (PT. Tasuma Jaya) dengan volume 200 liter per drum (UNTARA, 2006).

Limbah thorium dari pabrik kaos lampu berupa lumpur dengan kandungan air yang tinggi yaitu berasal dari tanah yang tercemar thorium. Limbah ini termasuk limbah radioaktif aktivitas rendah pemancar alfa umur panjang. Pengelolaan

limbah thorium ini di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR-BATAN) untuk penyimpanan sementara dilakukan dengan memasukkan limbah ke dalam drum polietilen, lapisan beton, dan dalam drum *stainless steel* serta dilapisi dengan arang aktif. Limbah tersebut harus dilakukan pengolahan menjadi blok limbah padat yang memenuhi persyaratan keselamatan dan siap disimpan di Fasilitas Disposal (Penyimpanan Leatari).

Pada umumnya pengolahan limbah radioaktif meliputi 2 tahap yaitu reduksi volume dan imobilisasi. Reduksi volume ditujukan untuk memperkecil volume limbah sehingga mempermudah proses dan pengelolaan selanjutnya. Reduksi volume limbah cair dilakukan antara lain dengan proses pengendapan, koagulasi-flokulasi, evaporasi dan penukar ion.

Limbah hasil reduksi volume berupa endapan, flok, konsentrat, lumpur,

resin atau bahan absorbent bekas yang kemudian dilakukan imobilisasi menggunakan bahan matriks yang sesuai. Imobilisasi adalah proses pemadatan (solidifikasi) limbah hasil reduksi volume menggunakan bahan matriks untuk mengikat dan mengungkung radionuklida dalam limbah agar tidak mudah larut dan lepas ke lingkungan jika hasil imobilisasi (blok limbah) kontak dengan air tanah saat disposal (penyimpanan lestari). Beberapa bahan matriks yang digunakan untuk imobilisasi adalah semen, bitumen, polimer, gelas dan keramik.

Telah dikembangkan pengolahan limbah thorium tersebut melalui reduksi volume dengan resin penukar ion dan imobilisasinya dengan bahan matriks polimer.

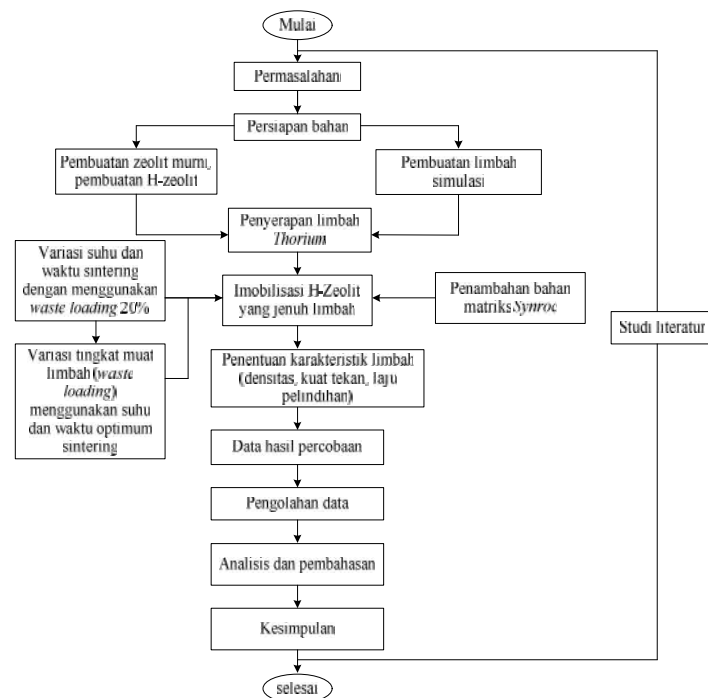
Pada penelitian ini akan dikembangkan reduksi volume limbah thorium dengan proses adsorpsi menggunakan H-Zeolit yang dibuat dari Zeolit Lampung dan imobilisasinya menggunakan bahan matriks *synroc*. Penelitian ini ditekankan pada proses imobilisasi untuk mendapatkan blok *synroc* limbah dengan kualitas terbaik dengan mempelajari pengaruh suhu dan waktu sintering serta pengaruh tingkat muat limbah (*waste loading*) pada proses pembentukan blok *synroc* limbah.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium yang dilakukan untuk menentukan besarnya kemampuan kapasitas adsorpsi H-Zeolit terhadap limbah thorium dengan menggunakan matriks *synroc* serta menentukan kondisi operasi optimum pada proses imobilisasi limbah thorium dalam H-Zeolit dengan bahan matriks *synroc* dengan parameter yang terdiri dari suhu sintering, waktu sintering dan *waste loading* dengan melakukan uji kualitas blok *synroc* limbah hasil imobilisasi yang meliputi uji densitas, kuat tekan dan laju pelindihan.

Variabel penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Variabel bebas : suhu sintering, waktu sintering, dan tingkat muat limbah (*waste loading*).
2. Variabel kontrol : komposisi prekursor, suhu pengeringan, suhu kalsinasi.
Variabel terikat : densitas, kuat tekan, dan laju pelindihan



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

PEMBAHASAN

1. Parameter Suhu Sintering pada Proses Imobilisasi

Penentuan suhu sintering optimum pada imobilisasi limbah thorium (limbah zeolit padat yang mengandung thorium) dengan bahan matriks *Synroc* yang digunakan parameter suhu sintering antara 1000°C - 1300°C. Tingkat muat limbah (*waste loading*) yang digunakan dalam parameter ini sebesar 20% dan waktu yang digunakan adalah 3 jam.



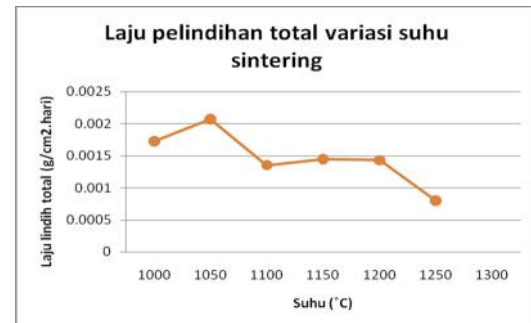
Gambar 2. Grafik Nilai Densitas Blok *Synroc* Limbah Variasi Suhu Sintering

Dari Gambar 2. tersebut didapatkan densitas optimum pada suhu 1250 °C sebesar 2,43 g/cm³. Dan ketika dilakukan sintering pada suhu 1300 °C terjadi pelelehan sampel blok disebabkan alumunium oksida yang terkandung di dalam blok *synroc*. Alumunium oksida mempunyai titik leleh yang rendah sehingga ketika dicampurkan dengan senyawa lain yang lebih tinggi maka akan menurunkan suhu pencampuran dengan senyawa lain tersebut.



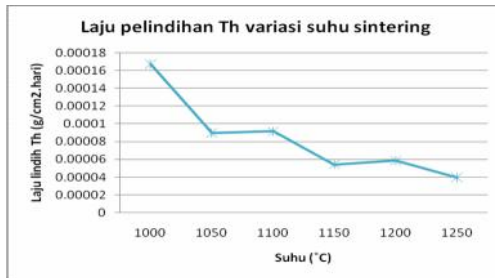
Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Blok *Synroc* Limbah Variasi Suhu Sintering

Pada Gambar 3. nilai kuat tekan optimum terdapat pada suhu 1250 °C sebesar 5,62 kN/cm². Hasil kuat tekan optimum tersebut nilainya telah memenuhi nilai standard yang ditetapkan IAEA yaitu sebesar 2-5 kN/cm² bahkan lebih tinggi, tetapi lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan blok *synroc* limbah yang mengandung Uranium yang bisa mencapai > 10 kN/cm² (Fuadah, 2013).



Gambar 4. Grafik Laju Pelindihan Total Blok *Synroc* Limbah Variasi Suhu Sintering

Nilai laju pelindihan pada blok *synroc* limbah merupakan nilai kemampuan hasil imobilisasi blok tersebut terhadap pelarutan air, sehingga makin kecil laju pelindihan maka akan semakin baik hasil imobilisasi tersebut. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa hasil uji pelindihan total blok *synroc* limbah Th yang optimum mempunyai nilai sebesar $8,02 \times 10^{-4}$ g/cm².hari pada suhu sintering 1250 °C. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu yang digunakan maka akan semakin kuat pula pembentukan blok *synroc* limbah dan semakin berkurang pori-pori yang terdapat pada dinding blok limbah. Oleh karena itu kemungkinan air untuk mengikis blok akan semakin kecil.



Gambar 5. Grafik Laju Pelindihan Thorium dari Blok Synroc Limbah Variasi Suhu Sintering

Laju pelindihan thorium dari blok *synroc* limbah Th ditentukan berdasarkan hasil analisis kandungan Th dalam air pelindihan. Alat yang digunakan untuk mengukur kadar thorium tersebut adalah spektrofotometer UV-Vis. Dari Gambar 5. titik laju pelindihan thorium yang terendah terdapat pada suhu 1250 °C sebesar $3,9 \times 10^{-5}$ g/cm².hari.

Berdasarkan pertimbangan hasil uji dengan densitas optimum (2,43 g/cm³), kuat tekan optimum (5,62 kN/cm²), laju pelindihan total ($8,02 \times 10^{-4}$ g/cm².hari), serta laju pelindihan unsur thorium ($3,9 \times 10^{-5}$ g/cm².hari) yang diuji pada blok *synroc* limbah Th maka suhu sintering optimum yang diperoleh yaitu 1250 °C yang akan digunakan dalam parameter-parameter berikutnya untuk menentukan waktu dan tingkat muat limbah sintering optimum.

2. Parameter Waktu Sintering Pada Proses Imobilisasi

Variasi waktu yang digunakan untuk menentukan waktu sintering yang optimum adalah 1- 3,5 jam dengan memakai suhu sintering optimum yang ditentukan pada parameter sebelumnya yaitu 1250 °C serta tingkat muat limbah (*waste loading*) setiap blok sebesar 20 %. Hasil uji densitas ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Densitas Blok Synroc Limbah Variasi Waktu Sintering

Pada Gambar 6. menunjukkan bahwa hasil uji densitas yang tertinggi yaitu pada waktu sintering 1,5 jam dengan nilai sebesar 2,86 g/cm³. Semua blok pada parameter waktu sintering menunjukkan nilai densitas memenuhi standard yang ditentukan IAEA yaitu sebesar 2,1-3,4 g/cm³ sehingga semua blok *synroc* pada parameter ini memiliki densitas yang cukup baik, maka waktu sintering yang optimum cukup dipertimbangkan dari uji kuat tekan dan uji laju pelindihan.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Blok Synroc Limbah Variasi Waktu Sintering

Hasil uji kuat tekan dengan parameter waktu sintering ditunjukkan pada Gambar 7, terlihat bahwa semakin lama waktu sintering maka semakin besar pula kuat tekan blok *synroc* limbah yang dihasilkan karena terjadi ikatan antar fase yang semakin kuat seiring semakin lamanya proses sintering. Hal ini dapat disimpulkan pada gambar bahwa waktu sintering optimum didapatkan dari blok

synroc limbah pada waktu sintering 3,5 jam sebesar $6,00 \text{ kN/cm}^2$.



Gambar 8. Grafik Laju Pelindihan Total Blok Synroc Limbah Variasi Waktu Sintering

Hasil uji laju pelindihan total untuk parameter waktu sintering ditunjukkan pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa semakin lama waktu sintering maka pelindihan blok semakin berkurang walaupun data yang dihasilkan terlihat fluktuatif. Standar IAEA menetapkan laju pelindihan total yakni sekitar $10^{-1} - 10^{-3} \text{ g/cm}^2.\text{hari}$. Uji lindi optimum dihasilkan pada blok dengan waktu sintering 3,5 jam sebesar $1,7 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2.\text{hari}$. Hal ini membuktikan bahwa laju pelindihan total yang dilakukan untuk semua blok pada parameter waktu memenuhi standar IAEA.



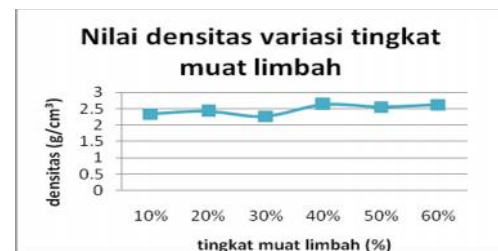
Gambar 9. Grafik Laju Pelindihan Unsur Thorium Pada Blok Synroc Limbah Variasi Waktu Sintering

Hasil uji laju pelindihan Th untuk parameter waktu sintering ditunjukkan pada Gambar 9, dapat dilihat waktu optimum sintering yaitu 2,5 jam dengan nilai sebesar $5,5 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2.\text{hari}$. Sama seperti uji pelindihan total blok synroc grafik terlihat fluktuatif.

Berdasarkan pertimbangan hasil uji densitas, kuat tekan, laju pelindihan total, serta laju pelindihan thorium pada blok synroc limbah maka waktu sintering 3 jam ditetapkan sebagai waktu terbaik (optimum) karena waktu tersebut tidak terlalu lama dibutuhkan untuk melakukan proses sintering dan memberikan harga sesuai dengan standar IAEA.

3. Parameter Tingkat Muat Limbah (*Waste Loading*) pada Proses Imobilisasi

Pada penentuan tingkat muat limbah (*waste loading*) optimum, digunakan suhu sintering pada suhu optimum yaitu $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu sintering optimum yaitu 3 jam. Variasi tingkat muat limbah berkisar antara 10% - 60 % dalam pembuatan blok synroc limbah thorium.



Gambar 10. Grafik Densitas Blok Synroc Limbah Variasi Tingkat Muat Limbah

Hasil uji densitas blok synroc limbah dengan parameter tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 10. Densitas optimum ditunjukkan pada tingkat muat limbah sebesar 40 % yaitu $2,63 \text{ g/cm}^3$. Uji densitas diperlukan dalam proses imobilisasi karena akan menjadi pertimbangan dalam perancangan tempat penyimpanan lestari karena semakin besar densitas dari blok maka akan memperbesar kapasitas tempat penyimpanan sehingga lebih menghemat tempat yang akan digunakan [Arifiani, 2011].



Gambar 11. Grafik Kekuatan Tekan Blok Synroc Limbah Variasi Tingkat Muat Limbah

Hasil uji kuat tekan blok synroc limbah dengan parameter tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 11. terlihat bahwa tingkat muat limbah optimum terletak pada tingkat muat limbah sebesar 60 % yaitu dengan nilai 8,45 kN/cm². Kuat tekan pada mulanya menurun kemudian semakin meningkat hingga mencapai tingkat muat limbah optimum. Mengingat harga tingkat muat limbah pada 50 % dan 60 % juga cukup tinggi dan kuat tekan paling tinggi pada tingkat muat limbah tersebut maka untuk operasional bisa dipilih.



Gambar 12. Grafik Laju Pelindihan Total Blok Synroc Limbah Variasi Tingkat Muat Limbah

Hasil uji laju pelindihan total blok synroc limbah dengan parameter tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 12. Dari Gambar 12. tersebut terlihat bahwa tingkat muat limbah optimum terdapat pada tingkat muat limbah 50 % yakni sebesar $1,59 \times 10^{-4}$ g/cm².hari. Dari segi kuantitas laju pelindihan akan mengalami kenaikan pada tingkat muat limbah tertentu dan seiring makin banyak limbah

yang terkandung didalam blok maka akan terbentuk fase turunan oleh Thorium itu sendiri sehingga blok menjadi lebih stabil dan laju pelindihan menurun.



Gambar 13. Grafik Laju Pelindihan Unsur Thorium pada Blok Synroc Limbah Variasi Tingkat Muat Limbah

Hasil uji laju pelindihan Th dari blok synroc limbah dengan parameter tingkat muat limbah ditunjukkan pada Gambar 13. Dari kurva pada Gambar 13. terlihat bahwa Th mengalami laju pelindihan menurun dengan naiknya tingkat muat limbah. Titik terendah laju pelindihan thorium dialami pada blok *synroc* dengan tingkat muat limbah 50 % yang dijadikan sebagai tingkat muat limbah optimum. Pada blok tingkat muat limbah 50 % ini laju pelindihan mempunyai nilai sebesar $1,6 \times 10^{-4}$ g/cm².hari.

Berdasarkan hasil dari uji karakteristik yaitu uji densitas, kuat tekan, laju pelindihan total serta laju pelindihan unsur thorium pada parameter tingkat muat blok *synroc* limbah maka disimpulkan tingkat muat limbah optimum pada penelitian ini yaitu 50 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada uji karakteristik blok *synroc* limbah untuk variasi suhu sintering telah didapatkan nilai optimum untuk uji densitas sebesar ($2,43 \text{ g/cm}^3$), kuat tekan optimum ($5,62 \text{ kN/cm}^2$), laju pelindihan total ($8,02 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{hari}$), serta laju pelindihan unsur Thorium ($3,9 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{hari}$) yang diuji pada blok *synroc*

- limbah Th maka suhu sintering optimum yang diperoleh yaitu 1250°C
2. Pada uji karakteristik blok *synroc* limbah untuk variasi waktu sintering telah didapatkan nilai optimum untuk uji densitas sebesar (1,5 jam ; 2,86 g/cm³), kuat tekan (3,5 jam ; 6,00 kN/cm²), laju pelindihan total (3,5 jam ; 1,7.10⁻³ g/cm².hari), serta laju pelindihan Thorium (2,5 jam ; 5,5.10⁻⁵ g/cm².hari) pada blok maka waktu optimum yang disimpulkan yaitu 3 jam .
 3. Pada uji karakteristik blok *synroc* limbah untuk variasi tingkat muat limbah telah didapatkan nilai optimum untuk uji densitas sebesar (40 % ; 2,63 g/cm³), kuat tekan (60 % ; 8,45 kN/cm²), laju pelindihan total (50 % ; 1,59x 10⁻⁴ g/cm².hari) serta laju pelindihan unsur Thorium (50 % ; 1,6 x10⁻⁴ g/cm².hari) pada blok tingkat muat limbah maka disimpulkan tingkat muat limbah optimum pada penelitian ini yaitu 50 %.
 4. Suhu dan waktu optimum yang diperoleh dalam proses sintering untuk pembentukan blok *synroc* adalah 1250°C dan 3 jam dan tingkat muat limbah optimum pada blok *synroc* sebesar 50 %.
 5. Berdasarkan hasil pengujian kualitas blok *synroc* dengan tingkat muat limbah 50 % memberikan nilai densitas sebesar 2,55 g/cm³, kuat tekan sebesar 8,32 kN/cm² dan laju pelindihan total sebesar 1,59.10⁻⁴ g/cm².hari, sedangkan laju pelindihan Thorium 1,61.10⁻⁴ g/cm².hari.
 6. Semakin besar kandungan thorium dalam blok *synroc* (tingkat muat limbah semakin tinggi), maka densitasnya semakin tinggi dan kuat tekannya semakin tinggi sedangkan laju pelindihan dalam blok *synroc* menurun seiring terbentuknya fase turunan oleh Thorium itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

ANDRA. 1983. Classification Des Dechets Radioactifs. *Commissariat A L'Energie Atomique. France: Agence Nationale Pour La Gestion Des Dechets Radioactifs*

- Arifiani, Dyah A. N. 2011. *Imobilisasi Limbah Radioaktif yang Mengandung Uranium dengan Matriks Synroc*. Skripsi Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang.
- Benedict, M and Pigfort, TH. 1981. *Nuclear Chemical Engineering, Second Edition*. Mc Graw Hill Book Company, New York,.
- Cuthbert F.L. 1958. *Thorium Production Technology*, Addison Wes Ley, Publishing Comp., Inc., Massachusetts, USA.
- Fuadah, Septin Tazkiyah. 2013. *Imobilisasi Limbah Cair Aktivitas Tinggi Menggunakan Bahan Matriks Synroc*. UIN : Jakarta.
- Gunandjar. 2011. *Imobilisasi Limbah Dari Proses Pemurnian Thorium Dengan Bahan Matriks Synroc*. BATAN : Tangerang.
- Hermanto, S. 2009. *Mengenal Lebih Jauh Teknik Analisa Kromatografi dan Spektroskopi*. Jakarta: UIN.
- IAEA. 1985. *Treatment of Spent Ion-Exchange Resins for Storage and Disposal. Technical Report Series No. 254*. IAEA: Vienna
- IAEA. 1996. *Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*. Internatioal Atomic Energy Agency.
- IAEA, 1996. *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Source. Safety Standard Safety Series*. International Atomic Energy Agency. IAEA. 1998. *Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes. Technical report Series No. 38*. International Atomic Energy Agency.
- IAEA, 2009. *Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide*

- No. GSG-1. International Atomic Energy Agency.
- Jostsons, A., E.R. Vance, R.A. Day, K.P. Hart and M.A.W. Stewart. 1996. *Surplus plutonium Disposition via Immobilisation in Synroc. Spectrum '96, International Topical Meeting on Nuclear and Hazardous Waste Management.*
- Levins D.M., 1997. *ANSTO's Waste Management Action Plan. Third Seminar on RWM, Nuclear Cooperation in Asia.*
- Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- Stephani, Annie Grace. 2011. *Penyerapan Thorium Dari Tanah Tercemar Limbah Pabrik Kaos Lampu Petromaks Dengan Resin Penukar Kation Dan Imobilisasi Dengan Polimer.* Universitas Diponegoro : Semarang.
- Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran.
- Underwood, A.L, R.A.Day,Jr. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif.* Jakarta: Erlangga.
- Untara. 2006. *Kajian Keselamatan Penyimpanan Limbah Thorium Dari Pabrik Kaos Lampu, Hasil Penelitian Dan Kegiatan – Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.* ISSN 0852-2979.
- Ringwood, A.E, S.E. Kesson, K.D. Reeve, D.M. Levins and E.J. Ramm. 1988. *In Radioactive Waste Form for the Future.* Elsevier. 233-334 .
- Vance, E.R., A. Jostsons and K.P. Hart. 1996. *Synroc as a Ceramic Wasteform for Deep Geological Disposal. International Conference on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste.*
- Wati, 2006. *Pengolahan Limbah Thorium Dari Produksi Kaos Lampu Petromaks Menggunakan H-*

Zeolit Dan Imobilisasinya Dengan Polimer Epoksi. BATAN : Tangerang.