

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia dan dipersiapkan secara optimal adalah masalah pengelolaan limbah radioaktif yang ditimbulkan (Gunanjar, 2007). Sifat alami limbah radioaktif mempunyai risiko bahaya lainnya, yaitu kemungkinan paparan radiasi pengion. Berbeda dengan limbah lainnya maka tingkat yang dapat diterima untuk perlindungan manusia dan lingkungan harus ada. Perhatian khusus harus diberikan untuk kendali banyak jalur dimana manusia mungkin akan terkena paparan radiasi, dan diperhatikan pula bahwa pengelolaan limbah radioaktif menjamin bahwa paparan-paparan tersebut ada di bawah persyaratan nasional dan internasional yang telah ditetapkan.

Wati (2010); Martono (2008) menjelaskan salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari pemanfaatan tenaga nuklir adalah limbah cair aktivitas tinggi. Di Indonesia, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN telah menerapkan teknologi sementasi untuk imobilisasi limbah khususnya golongan Limbah Aktivitas Rendah (LAR) dan Limbah Aktivitas Sedang (LAS) umur paroh pendek ($t_{1/2} < 30$ tahun). Selanjutnya untuk pengelolaan LAT umur panjang khususnya untuk limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) yang ditimbulkan dari proses pemanfaatan tenaga nuklir, maka perlu disiapkan teknologi imobilisasi limbah menjadi kemasan limbah yang mampu bertahan selama waktu penyimpanan yang panjang di dalam fasilitas penyimpanan lestari geologi (Gunanjar, 2007).

International Atomic Energy Agency (2002) mengenai *Radioactive Waste Management* menjelaskan bahwa ada beberapa teknologi imobilisasi limbah radioaktif menjadi kemasan limbah yang siap disimpan telah dikembangkan oleh negara - negara maju di bidang nuklir, yaitu teknologi sementasi, vitrifikasi, polimerisasi, bituminasi.

Semen tidak digunakan untuk imobilisasi LCAT karena semen mengalami degradasi dalam jangka lama serta reduksi volume yang kecil sedangkan bitumen

titik lelehnya rendah yaitu 180°C. Jadi kedua bahan tersebut tidak sesuai jika dipandang baik dari sisi ekonomi (reduksi volume) dan sisi ekologi (ketahanan yang rendah) (Martono, 1988 ; Sheng, 2001).

Imobilisasi limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) dapat dilakukan dengan gelas, *new ceramics*, dan *synroc*. Gelas digunakan pada skala industri karena lebih mudah pembuatannya daripada *synroc* dan *new ceramics* serta gelas memiliki kestabilan dalam jangka lama (Martono, 2008). Imobilisasi menggunakan gelas terbukti sebagai metode yang ekonomis untuk pengolahan limbah berbahaya. Hal ini dikarenakan reduksi volumenya tinggi dan menguntungkan dari segi penyimpanan (Kavouras, et. al, 2002). Menurut Morgan, et. al (2003) dalam pertemuan *The American Ceramic Society* menyebutkan bahwa imobilisasi LCAT menggunakan gelas atau yang dikenal sebagai vitrifikasi telah dikenal secara luas baik untuk meminimalkan dampak terhadap lingkungan maupun memudahkan penyimpanan. Banyak negara seperti Amerika Serikat, Perancis, Inggris, Jepang, Rusia telah menerapkan vitrifikasi sementara banyak negara lain sedang dalam proses pengembangan (Petitjean, 2002).

Banyak jenis gelas yang telah dikembangkan untuk vitrifikasi limbah aktivitas tinggi, namun sejauh ini gelas borosilikat merupakan jenis gelas yang paling ideal. Hal ini karena proses pembuatannya relatif lebih mudah dibandingkan dengan jenis yang lain serta memiliki ketahanan kimia yang tinggi dan kandungan limbah (*waste loading*) yang tinggi pula (Donald, 2007). Menurut Martono (2010) dalam penelitiannya menyatakan bahwa gelas aluminosilikat sudah tidak dikembangkan lagi karena kandungan limbahnya rendah sekitar 10 % berat dan suhu pembentukan yang tinggi sekitar 1350°C sedangkan gelas fosfat bersifat korosif dan mengalami devitrifikasi pada suhu yang rendah (400°C). Oleh karena itu, dalam penelitian ini dipilih gelas borosilikat yang suhu pembentukannya lebih rendah yaitu 1150°C.

Martono (2010) menyatakan bahwa walaupun aspek keselamatan merupakan pertimbangan utama dalam pemilihan bahan matriks untuk imobilisasi atau solidifikasi LCAT, namun aspek ekonomi juga harus dipertimbangkan. Aspek ekonomi tersebut misalnya pengadaan bahan, pengadaan alat dan instalasi,

perawatan serta proses. Jika hanya aspek keselamatan yang jadi pertimbangan maka pengelolaan limbah menjadi sangat mahal. *Pacific Northwest National Laboratory* (2001) menjelaskan mengenai 3 kendala yang dihadapi dalam teknologi vitrifikasi, yaitu biaya yang mahal, proses yang sulit serta tuntutan ketahanan gelas-limbah hasil vitrifikasi. Ketidaktahanan gelas-limbah terhadap panas menyebabkan perubahan struktur dari *amorf* menjadi kristalin yang disebut devitrifikasi. Devitrifikasi akan meningkatkan laju pelindihan yang berpotensi bahaya terhadap lingkungan. Adanya hambatan tersebut, perlu adanya inovasi vitrifikasi agar proses ini menjadi lebih ekonomis dari segi pengadaan bahan vitrifikasi namun tetap mempertahankan ketahanan gelas-limbah hasil vitrifikasi. Salah satu inovasi yang dapat diterapkan adalah mengganti *glassfrits* dengan bahan yang memiliki kesamaan komposisi kimia. Penggantian *glassfrits* ini diharapkan dapat menghemat biaya vitrifikasi dari kegiatan pengadaan bahan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menentukan bahan alternatif *glassfrit*. Misalnya Haugsten (1999) menggunakan *fly ash* dari insenerator sebagai *glassfrits*. Sementara Sheng (2001); Waraporn dan Shigeki (2005) menggunakan *fly ash* dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan batubara. Limbah abu dari PLTU berbahan bakar batubara dimungkinkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan gelas untuk vitrifikasi LCAT karena komposisi abu batubara yang mendekati komposisi *glassfrits*. Menurut Puspitasari dan Atmaja (2010) abu dasar atau *bottom ash* merupakan suatu material dengan kandungan utama silika dan alumina. Tingginya kandungan silika dan alumina akan meningkatkan suhu lebur gelas-limbah. Suhu lebur yang tinggi akan mempercepat korosi dan umur pakai *melter*.

Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batubara di Indonesia, maka jumlah limbah *bottom ash* juga terus meningkat. Menurut Wardani (2008) dan Peraturan Pemerintah No.18 Tahun 1999 jo Peraturan Pemerintah No.85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun dijelaskan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dikategorikan sebagai limbah B3 karena terdapat kandungan oksida logam berat yang akan mengalami pelindihan secara alami dan mencemari lingkungan. Pada

Lampiran I kode D223 dalam peraturan pemerintah tersebut dijelaskan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dari sumber spesifik dapat dinyatakan sebagai bukan B3 apabila dapat dibuktikan secara ilmiah bahwa limbah tersebut bukan limbah B3. Pembuktian secara ilmiah dilakukan berdasarkan: uji karakteristik limbah B3, uji toksikologi atau hasil studi yang menyimpulkan bahwa limbah yang dihasilkan tidak menimbulkan pencemaran dan gangguan kesehatan terhadap manusia dan makhluk hidup lainnya. Khaerunisa (2007); Munir (2008) telah melakukan penelitian mengenai karakteristik dan uji toksikologi *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pemanfaatan batubara di beberapa wilayah di Indonesia. Penelitian mereka menyimpulkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dapat dimanfaatkan karena aman bagi lingkungan dan tidak termasuk limbah B3.

Peraturan lain terkait dengan penelitian ini adalah Keputusan Kepala Bapeten No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material* (TENORM). Peraturan tersebut menjelaskan bahwa batubara merupakan sumber daya mineral yang menghasilkan TENORM yaitu zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan paparan potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan alternatif *glassfrits* harus memperhatikan analisis keselamatan radiasi untuk TENORM yang didasarkan pada Tingkat Intervensi. Tingkat intervensi tersebut yaitu jumlah atau kuantitas TENORM paling sedikit 2 (dua) ton dan tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih kecil dari 1 Bq/gr (satu becquerel per gram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium. Menurut Marinkovic (2010) dalam Sasongko (2012) dari hasil analisis menggunakan Spectrometry-, *bottom ash* memiliki kandungan tingkat kontaminasi lebih kecil dari 1 Bq/gr (1000 Bq/kg) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium. Hasil uji tersebut menunjukkan kandungan ^{234}U sebesar 6.3 ± 0.8 (Bq/kg) dan ^{232}Th sebesar 63 ± 6 (Bq/kg). Jumlah *bottom ash* yang dimanfaatkan dalam penelitian maupun dalam pelaksanaan vitrifikasi kurang dari 2 Ton dan aktivitasnya kurang dari 1 Bq/gr sehingga *bottom ash* yang

dimanfaatkan dalam penelitian ini aman dan sudah memenuhi persyaratan yang ditetapkan menurut peraturan perundangan yang berlaku.

Penelitian ini menggunakan abu batubara dari PLTU Suralaya. Limbah abu dari PLTU Suralaya sejak tahun 2000 hingga tahun 2006, diperkirakan ada akumulasi jumlah abu sebanyak 219.000 ton/tahun (Aziz, dkk, 2006). Limbah tersebut memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, atau perairan, dan penurunan kualitas ekosistem. Jadi, pemanfaatan abu dari PLTU batubara akan mendatangkan efek ganda yaitu mengurangi dampak lingkungan terutama dampak terhadap kualitas udara karena adanya debu batubara dan memberikan alternatif pengelolaan limbah aktivitas tinggi dengan aman dan ekonomis ada penghematan dari pengadaan bahan.

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan LCAT dengan abu batubara *bottoms ash* sebagai *glassfrit*. Hasil immobilisasi gelas borosilikat - limbah menggunakan perbandingan 25 % limbah : 75 % *glass frits*.

1.2 Identifikasi masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pengolahan limbah radioaktif aktivitas tinggi memiliki 3 kendala yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini, yaitu permasalahan yang berkaitan dengan proses, ketahanan gelas-limbah hasil vitrifikasi, dan permasalahan tingginya biaya yang harus dikeluarkan dalam pelaksanaan vitrifikasi gelas-limbah, maka identifikasi masalah adalah sebagai berikut :

1. Dari segi proses, teknologi vitrifikasi memiliki kendala dalam hal peleburan *glassfrits* dan limbah. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan alternatif gelas akan meningkatkan titik lebur gelas-limbah karena kandungan alumina dalam *bottom ash* sangat tinggi.
2. Dari segi ketahanan gelas-limbah, hasil vitrifikasi harus memiliki ketahanan kimia dan fisika yang tinggi agar terhindar dari devitrifikasi yang akan menyebabkan peningkatan lepasnya radionuklida ke lingkungan

3. Dari segi ekonomi, teknologi vitrifikasi merupakan teknologi pengolahan limbah yang membutuhkan biaya yang tinggi sehingga perlu alternatif *glassfrits* untuk mengurangi biaya pengadaan bahan vitrifikasi yaitu *glassfrits* namun tetap memperhatikan proses dan ketahanan gelas-limbah.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah pada pengolahan limbah aktivitas tinggi menggunakan *glassfrits* abu batubara, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan alternatif *glassfrits* agar diperoleh suhu lebur gelas-limbah yang rendah?
2. Bagaimana ketahanan gelas-limbah dengan komposisi *glassfrits* menggunakan *bottom ash*?
3. Apakah pemanfaatan *bottom ash* sebagai bahan alternatif *glassfrits* dapat menghemat biaya pengadaan bahan vitrifikasi?

1.4 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji komposisi bahan alternatif *glassfrits* menggunakan *bottom ash* untuk pengolahan limbah aktivitas tinggi yang dapat dilakukan pada suhu peleburan gelas-limbah yaitu 1150°C.
2. Mengkaji ketahanan gelas-limbah dengan dengan komposisi *glassfrits* terpilih
3. Mengetahui keuntungan ekonomi pemanfaatan *bottom ash* sebagai *glassfrits* dari segi biaya pengadaan bahan.

1.5 Manfaat

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini meliputi manfaat untuk penulis, masyarakat serta BATAN. Penjelasan masing-masing manfaat tersebut sebagai berikut:

- 1) Bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dapat meningkatkan pengetahuan mengenai pengolahan limbah cair aktivitas tinggi serta dapat memanfaatkan kembali hasil buang dari kegiatan industri yang berupa abu dan debu batubara.
- 2) Bagi masyarakat diharapkan dapat mengurangi gangguan pencemaran udara karena adanya debu dari proses PLTU berbahan bakar batubara, mengurangi potensi bahaya pencemaran air karena pelindihan *bottom ash* ke lingkungan serta dapat mengurangi kekhawatiran mengenai bahaya penyimpanan limbah aktivitas tinggi.
- 3) Bagi BATAN, penelitian ini memberikan alternatif pengelolaan limbah cair aktivitas tinggi yang ekonomis namun aman bagi lingkungan.

1.6 Keaslian Penelitian

Tabel 1.1
Penelitian Terkait Vitrifikasi dan Ketahanan Gelas-Limbah

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode dan Hasil Penelitian
1.	Herlan Martono	1992	Derajat Kristalisasi Gelas Sebagai Perangkat Limbah Radioaktif Beraktivitas Tinggi	Martono melakukan penelitian mengenai vitrifikasi limbah aktivitas tinggi dengan gelas borosilikat variasi <i>waste loading</i> 20% dan 30%. Hasil dari penelitiannya adalah <i>time Temperature transformation</i> (TTT) pada berbagai variasi waktu, mengidentifikasi jenis kristal yang terbentuk serta menghitung persen kristal di dalam gelas. Metode yang digunakan adalah analisis dengan XRD pada berbagai variasi suhu untuk mengetahui diagram TTT. Dari diagram TTT diperoleh grafik bahwa devitrifikasi terjadi pada suhu antara 850 – 1050 °C dengan lama pemanasan 2-6 jam.
2.	Wati	1992	Pengaruh Komposisi Waktu dan Keasaman Terhadap Ketahanan Kimia Gelas Limbah	Wati menggunakan metode pelindihan dinamik dan variasi pH untuk mengetahui ketahanan kimia gelas borosilikat. Variasi <i>waste loading</i> 10 % - 40 % juga dilakukan untuk mengetahui <i>waste loading</i> terpilih. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa laju pelindihan tertinggi terjadi pada saat pH asam.
3.	Jiawei Sheng dkk	2001	<i>Vitrification of Liquid Waste from Nuclear Power Plants</i>	Sheng bersama rekan-rekannya melakukan penelitian mengenai kualitas gelas-limbah menggunakan <i>flyash</i> sebagai glassfrits. Limbah yang diimobilisasi adalah limbah aktivitas menengah. Mereka melakukan variasi persen berat <i>flyash</i> serta melakukan variasi zat adiktif berupa Na ₂ O. Gelas-limbah terbaik terbentuk pada suhu 1200°C, dengan 5-10% Na ₂ O. Mereka

				tidak mempermasalahkan serta membahas mengenai komposisi-komposisi dalam flyash dan jenis gelas yang terbentuk. Metode pelindihan yang digunakan adalah pelindihan dinamik. Analisis air hasil pelindihan dilakukan guna mengetahui unsur-unsur yang terlindih.
4.	F.M. Ezz-Eldin	2001	<i>Leaching and mechanical properties of cabal glasses developed as matrices for immobilization high-level waste</i>	Vitrifikasi dilakukan pada suhu $1300 \pm 20^\circ\text{C}$. Uji pelindihan dilakukan pada air deionisasi dengan pH 6,7 dan air tanah buatan dengan pH 8,98 pada suhu ($70 \pm 20^\circ\text{C}$) selama 1, 7, 14, 30, dan 57 hari. Uji SEM dan EDXA dilakukan untuk menganalisis kondisi permukaan gelas-limbah. Quantachrome pormaster 60-Mercury porosimeter digunakan untuk mengetahui densitas gelas. Pengukuran kekuatan gelas menggunakan Instron Taster model 1195. Laju pelindihan pada air tanah lebih tinggi daripada laju pelindihan pada air deionisasi. Densitas gelas akan mengalami penurunan jika diberikan perlakuan iradiasi. Derajat keasaman (pH) memberikan pengaruh terhadap laju pelindihan gelas, dimana pada kondisi asam laju pelindihan lebih tinggi dibanding kondisi basa dan netral.
5.	Hamodi dan Iqbal	2009	<i>Glass Melting Techniques Used In Radioactive Waste Immobilization</i>	Mereka mengembangkan gelas borosilikat untuk imobillisasi limbah yang mengandung sulfur berupa CaF_2 . Hasil penelitian mereka adalah efek variasi lama pemanasan terhadap munculnya gelembung serta dampak <i>Thermal expansion coefficient</i> (TEC) terhadap ketahanan panas gelas borosilikat.
6.	Emem	2006	<i>Preparation Of</i>	Mereka menggunakan <i>flyash</i> sebagai

	dan Marimoto		<i>Glass-Ceramics Using Fly Ash As A Raw Material</i>	bahan gelas-keramik dengan penambahan nucleating agent berupa CaF_2 dan <i>spodumene</i> . Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa komposisi gelas-keramik ini memiliki kuat tekan dan ketahanan panas yang lebih besar dari gelas sesungguhnya.
7.	Ratna Budiarti	2012	Ketahanan Kimia Hasil Vitrifikasi Limbah Radioaktif dengan <i>Glassfrits</i> Abu Batubara	Penelitian ini menggunakan <i>bottom ash</i> sebagai <i>glassfrits</i> . Gelas-limbah berbahan <i>bottom ash</i> dibandingkan dengan gelas-limbah borosilikat serta gelas-limbah <i>bottom ash</i> yang ditambah B_2O_3 . Uji ketahanan kimia yang dilakukan meliputi uji pelindihan, suhu lebur, dan kuat tekan. Selain itu dilakukan juga perhitungan biaya penghematan pengadaan <i>glassfrits</i> menggunakan <i>bottom ash</i> . Gelas-limbah terpilih selanjutnya di uji variasi pH dan karakteristik menggunakan XRD. Dari hasil penelitian menunjukkan gelas-limbah berbahan <i>bottom ash</i> dengan penambahan B_2O_3 memiliki kualitas yang baik dan biaya pengadaan bahan yang lebih rendah