

PENGARUH PROSES *QUENCHING* TERHADAP LAJU KOROSI BAHAN BAKAR PADUAN UZr

Masrukan, Agoeng Kadarjono

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten
e-mail: masrukan2006@yahoo.com
(Diterima 12-3-2010, disetujui 5-5-2010)

ABSTRAK

PENGARUH PROSES *QUENCHING* TERHADAP LAJU KOROSI BAHAN BAKAR PADUAN UZr. Percobaan untuk mempelajari pengaruh proses *quenching* terhadap sifat korosi bahan bakar UZr telah dilakukan. Proses *quenching* akan mempengaruhi sifat korosi dari paduan UZr, yang ditunjukkan oleh perubahan berat sebelum dan sesudah paduan UZr tersebut diberikan perlakuan *quenching* dan korosi. Mula-mula dibuat paduan UZr dengan komposisi Zr masing-masing sebesar 2, 6, 10, 14 dan 55% menggunakan tungku peleburan busur listrik. Sebagian paduan UZr hasil peleburan diberi perlakuan *quenching* dan sebagian lagi langsung diuji korosi dalam media uap air pada temperatur 100 °C, tekanan 1 atmosfer selama 140 jam. Pengujian korosi dilakukan di dalam pemanas yang dilengkapi sistem refluks. Setelah uji korosi, sampel paduan UZr ditimbang untuk mengetahui perubahan berat akibat proses *quenching*. Dari hasil penimbangan berat sampel, diketahui bahwa hampir semua paduan UZr yang tidak mengalami perlakuan *quenching* mempunyai laju korosi yang lebih rendah dibandingkan paduan UZr yang diberi perlakuan *quenching*, kecuali pada 2% Zr. Pada sampel yang tidak mengalami perlakuan *quenching*, laju korosi menurun dengan peningkatan kandungan Zr. Pada komposisi 2% Zr, laju korosi mencapai 2,94 mg/jam, dan naik menjadi 0,206 mg/jam pada komposisi 6% Zr. Untuk sampel yang diberi perlakuan *quenching*, kecenderungan yang terjadi sama yakni laju korosi berkurang dengan pertambahan kandungan Zr. Pada komposisi 2% Zr, laju korosi sebesar 2,94 mg/jam, dan naik menjadi 0,375 mg/jam pada komposisi 6% Zr. Dari hasil uji untuk sampel yang tidak diberi perlakuan *quenching* dan yang diberi perlakuan *quenching*, terlihat bahwa sampel yang mengalami proses *quenching* mempunyai ketahanan korosi yang lebih baik.

KATA KUNCI: *quenching*, UZr, laju korosi

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF *QUENCHING* PROCESS ON THE CORROSION RATE OF UZr ALLOY FUEL. Experiments have been conducted to study the influence of *quenching* process on the corrosion properties of UZr fuel. *Quenching* process affects the corrosion properties of UZr alloy, as shown by the change in weight before and after the UZr alloy was corroded and quenched. Initially, alloys with Zr compositions of 2, 6, 10, 14 and 55% were prepared

using an electric arc furnace. Some of the UZr alloys from the melting process underwent quenching and others were directly tested for corrosion in water vapor medium at a temperature of 100 °C for 140 h. Corrosion testing was conducted in a heater equipped with a reflux. After the corrosion testing, the UZr alloy samples were weighed to determine the changes in weight due to the quenching process. From the weighing results, almost all UZr alloys that were not quenched showed a lower corrosion rate compared to those that were quenched, except for 2% Zr. For samples that were not quenched, the corrosion rate decreased with the increasing Zr content. For the composition of 2% Zr, the corrosion rate reached a rate of 2.94 mg/h, and increased to 0.206 mg/h at 6% Zr. For samples that underwent quenching, the tendency that occurred was similar, in which the corrosion rate decreased as the Zr content was increased. For the composition of 2% Zr, the corrosion rate was 2.94 mg/h, and went up to 0.375 mg/h at a Zr composition of 6% Zr. From the test results for samples that did not undergo quenching and those that underwent quenching, the former showed better corrosion resistance than the latter

FREE TERMS: quenching, UZr, corrosion rate

I. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) – BATAN merupakan pusat yang diberi wewenang untuk mengembangkan bahan bakar nuklir, baik untuk reaktor riset maupun reaktor daya. Pada saat ini Reaktor Serba Guna Siwabessy di Serpong menggunakan bahan bakar dari paduan uranium silisida (USi) dalam matriks aluminium dan dibungkus dengan paduan aluminium magnesium (Al-Mg). Pengembangan bahan baru terus dilakukan guna memperoleh bahan bakar baru untuk menggantikan bahan bakar yang saat ini masih digunakan. Penggantian bahan bakar paduan USi disebabkan proses menghasilkan limbah silisida yang sulit dipisahkan dari paduan uraniumnya^[1]. Pencarian bahan bakar baru diharapkan dapat menghasilkan bahan bakar yang mempunyai densitas cukup tinggi. Apabila densitas bahan bakar cukup tinggi, maka uranium yang dapat dimasukkan ke dalam bahan bakar per satuan volume menjadi lebih besar. Beberapa paduan uranium yang dapat dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar USi adalah paduan UMo, UMoSi, UZr dan UZrNb^[2].

Pada penelitian ini, dilakukan upaya untuk mengembangkan bahan bakar dari paduan uranium zirkonium (UZr). Pembuatan paduan UZr dilakukan dengan cara melebur logam U dengan Zr di dalam tungku peleburan busur listrik dan dalam media gas argon. Gas argon digunakan untuk mencegah terjadinya oksidasi uranium selama proses peleburan. Selain itu, dalam pemakaiannya di reaktor, bahan bakar tersebut akan mengalami kondisi dimana

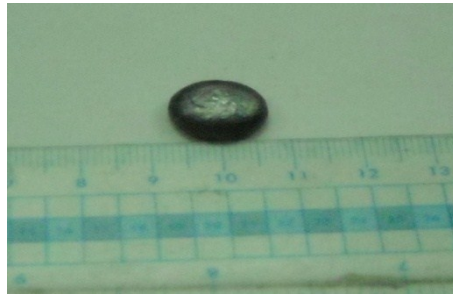
bahan bakar akan terkungkung oleh produk fisi, baik yang berupa padatan maupun dalam bentuk gas. Kondisi tersebut dapat memicu terjadinya korosi yang dapat mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar di dalam reaktor, seperti sifat mekanik, fisik maupun termal. Tinggi rendahnya laju korosi dipengaruhi oleh kondisi bahan bakar tersebut di dalam reaktor, seperti terjadinya pemanasan yang diikuti pendinginan cepat (*quenching*) atau pendinginan lambat (*annealing*). Masrukan dkk telah melakukan identifikasi fase-fase yang terjadi akibat perlakuan korosi, dimana perlakuan korosi menghasilkan berbagai macam produk korosi dengan terbentuknya senyawa atau fase, antara lain: αU , δU , γU , UO_2 , ZrH_2 dan ZrO_2 ^[3]. Untuk mengetahui pengaruh *quenching* terhadap laju korosi, pada paduan UZr yang telah dikenai perlakuan *quenching* dan korosi, dilakukan pengukuran selisih beratnya sebelum dan sesudah *quenching* dan korosi.

Dari percobaan ini diharapkan dapat diketahui gambaran pengaruh proses *quenching* terhadap laju korosi yang terjadi pada bahan bakar paduan UZr akibat kondisi bahan bakar pada saat digunakan di reaktor karena adanya gas-gas dan produk fisi.

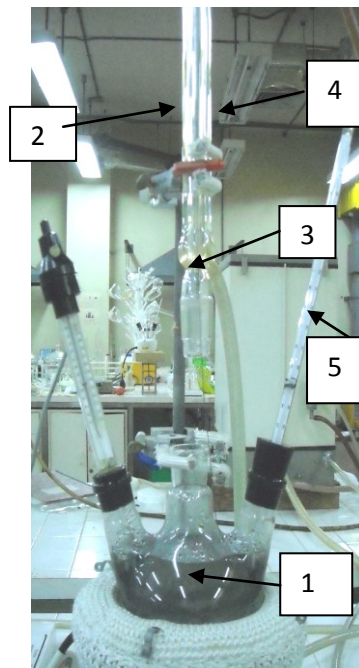
II. TATA KERJA

Pembuatan paduan UZr dilakukan dengan cara melebur logam U berbentuk lempengan dan Zr berbentuk serpihan dengan komposisi Zr berturut-turut sebesar 2, 6, 10, 14 dan 55%. Hasil peleburan berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter lebih kurang 12 mm dan ketebalan 5 mm, dimana sebagian diberi perlakuan *quenching* dan sebagian lainnya tidak. Proses *quenching* dilakukan dengan cara memanaskan sampel di dalam tungku pemanas pada temperatur 800 °C selama 4 jam kemudian dicelupkan ke dalam air. Untuk melaksanakan *quenching*, sampel UZr dimasukkan ke dalam ampul yang terbuat dari baja tahan karat (SS 314). Pemasukan sampel UZr dilakukan di dalam *glove box* yang dialiri gas argon untuk mencegah masuknya oksigen ke dalam ampul. Setelah dilakukan proses *quenching*, paduan UZr yang diberi maupun yang tidak diberi perlakuan *quenching* dikenai pengujian korosi. Pengujian korosi dilakukan dengan cara memanaskan sampel di dalam labu pemanas yang dilengkapi dengan sistem *refluks* pada temperatur 100 °C selama 140 jam.

Bentuk sampel dan peralatan uji korosi ditampilkan pada Gambar 1 dan 2. Sampel yang telah diuji korosi selanjutnya ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik untuk mengetahui selisih berat sampel sebelum dan sesudah korosi.



Gambar 1. Bentuk sampel paduan UZr.



Gambar 2. Peralatan uji korosi yang dilengkapi dengan sistem refluks.

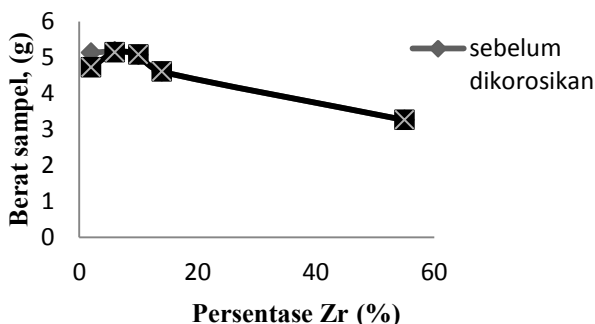
Keterangan : (1) Labu pemanas, (2) Tempat sampel, (3) Sampel,
(4) Sistem refluks, (5) Termometer

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan ditampilkan dalam bentuk gambar dan tabel. Pada Gambar 3, tampak kurva berat sampel sebelum dan sesudah uji korosi untuk sampel yang tidak dikenai perlakuan *quenching*, dengan data uji diberikan pada Tabel 1 di Lampiran. Pada Gambar 4, tampak kurva berat sampel sebelum dan

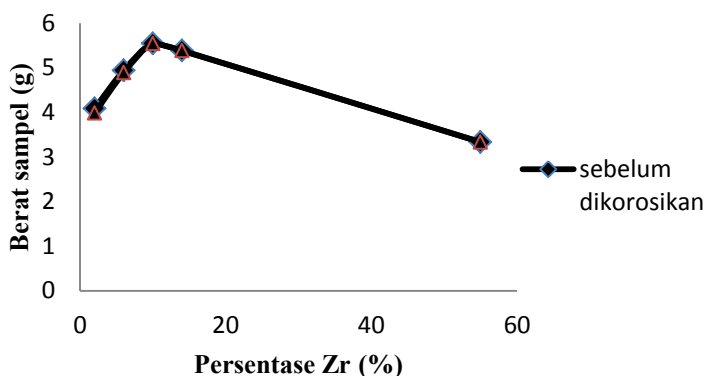
sesudah diuji korosi untuk sampel yang dikenai perlakuan *quenching*, dengan data uji diberikan pada Tabel 2 di Lampiran.

Dari Gambar 3 dan Tabel 1 di Lampiran untuk sampel yang tidak mengalami *quenching*, terlihat bahwa laju korosi berkurang apabila kandungan Zr bertambah. Pada kandungan Zr sebesar 2%, laju korosi sebesar 2,94 mg/jam dan akan naik menjadi 0,206 mg/jam apabila kandungan Zr menjadi sebesar 6%, yang ditandai dengan berkurangnya berat sampel. Pada kandungan Zr yang lebih besar lagi, paduan UZr yang terbentuk lebih tahan terhadap korosi, yang ditandai dengan terbentuknya lapisan oksida Zr di permukaan, dimana terbentuknya lapisan oksida tersebut akan menambah berat paduan UZr. Untuk kandungan Zr sebesar 10%, terjadi penambahan berat dari 0,0028 mg/jam menjadi 0,0164 mg/jam pada kandungan Zr sebesar 55%. Dari hasil percobaan tersebut dapat dikatakan bahwa pada kandungan Zr yang rendah, oksida Zr tidak terbentuk sehingga memudahkan terjadinya serangan korosi. Serangan korosi yang ada dapat berupa lubang atau berbentuk erosi, dimana bentuk-bentuk korosi tersebut akan mengurangi berat paduan UZr. Logam zirkonium sangat tahan terhadap korosi, tetapi pada temperatur beberapa ratus derajat Celsius mudah bereaksi dengan oksigen, nitrogen dan hidrogen^[4]. Reaksi dengan oksigen akan membentuk oksida, sedangkan reaksi dengan hidrogen dan nitrogen membentuk hidrida berupa Zr_xH_y (zirkonium hidrida) dan Zr_xN_y (zirkonium nitrida). Ketahanan korosi yang tinggi tersebut disebabkan oleh terbentuknya oksida secara alamiah dalam bentuk ZrO_2 yang tebal dan stabil pada bagian permukaan. Lapisan oksida tersebut terbaharui dan selalu tumbuh secara perlahan-lahan pada temperatur beberapa ratus derajat dan akan melekat kuat.



Gambar 3. Kurva hubungan antara persentase Zr terhadap berat sampel UZr sebelum dan sesudah korosi. Sampel tidak diberi perlakuan *quenching*.

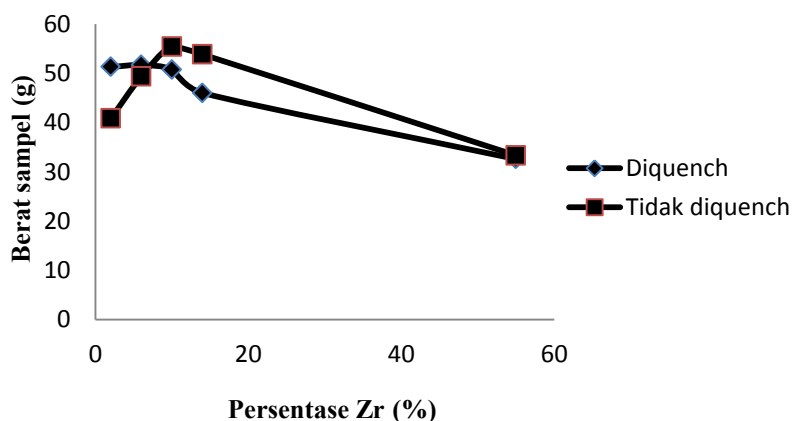
Pada Gambar 4 dan Tabel 2 di Lampiran untuk sampel yang mengalami *quenching*, terlihat adanya kecenderungan yang sama seperti pada sampel yang tidak mengalami *quenching* yakni sebelum dan sesudah korosi akan menunjukkan laju korosi berkurang apabila kandungan Zr bertambah. Hal ini dapat dilihat dari perubahan berat sampel UZr yang memberikan indikasi adanya serangan korosi. Untuk 2% Zr dan 10% Zr, masing-masing mempunyai laju korosi sebesar 0,72 mg/jam dan 0,0186 mg/jam. Serangan korosi dapat membentuk lubang atau erosi pada paduan UZr. Pada kandungan Zr yang lebih tinggi lagi yakni 14% Zr, tidak terjadi serangan korosi tetapi terjadi penambahan berat sampel. Laju penambahan berat sampel pada kandungan 14% Zr sebesar 0,017 86 mg/jam dan akan menjadi 0,004 28 mg/jam apabila kandungan Zr mencapai 55%. Bertambahnya berat sampel tersebut disebabkan oleh terbentuknya lapisan oksida Zr pada lapisan permukaan. Lapisan oksida pada permukaan akan menahan serangan korosi. Ketahanan korosi logam paduan zirkonium bergantung pada konsentrasi dan distribusi unsur-unsur pepadu dari unsur-unsur pengotor^[4]. Faktor tersebut bergantung pula pada cara pemrosesan dan perlakuan termomekanik yang merupakan bagian penting dari proses pembuatannya, sehingga sifat korosi sangat dipengaruhi oleh parameter perlakuan termomekanik yang salah satunya adalah laju *quenching*^[5]. Pada proses *quenching*, akan terjadi penggandaan dislokasi dan kerapatan atom bertambah. Akibatnya, tegangan internal menjadi tinggi dan mengakibatkan ketahanan korosi berkurang.



Gambar 4. Kurva hubungan antara persentase zirkonium dengan berat sampel UZr sebelum dan sesudah uji korosi. Sampel diberi perlakuan *quenching*.

Apabila dibandingkan laju korosi antara paduan UZr yang tidak diberi perlakuan *quenching* dengan yang diberi perlakuan *quenching*, seperti diberikan pada Gambar 5 dan Tabel 1 serta 2, terlihat bahwa hingga kandungan

Zr sebesar 10% paduan UZr yang tidak dikenai *quenching* mempunyai laju korosi yang lebih rendah dibandingkan yang dikenai *quenching*. Namun, setelah melampaui 6%, yakni mulai kandungan Zr sebesar 10%, paduan UZr yang diberi perlakuan *quenching* mempunyai laju korosi yang lebih besar dibandingkan yang tidak diberikan perlakuan *quenching*. Hal ini disebabkan proses *quenching* pada paduan UZr akan menyebabkan terjadinya tegangan pada batas butir ataupun fase, dimana tegangan yang tinggi akan menyebabkan kenaikan laju korosi. Keadaan selanjutnya, pada kandungan Zr yang lebih besar yakni dari 10% Zr hingga mencapai 55% Zr, paduan UZr yang dikenai perlakuan *quenching* mempunyai penambahan berat yang lebih besar dibandingkan paduan UZr yang tidak dikenai perlakuan *quenching*. Penambahan berat yang lebih besar tersebut disebabkan terbentuknya oksida zirkonium pada kadar Zr yang lebih besar sehingga menghasilkan oksida yang lebih besar pula.



Gambar 5. Kurva hubungan antara persentase zirkonium dengan berat sampel UZr sampel tidak diberi perlakuan *quenching* dan diberi perlakuan *quenching*.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa baik pada paduan UZr yang tidak dikenai perlakuan *quenching* maupun yang dikenai perlakuan *quenching* terlihat bahwa laju korosi berkurang apabila kandungan Zr bertambah. Pada 2% Zr, laju korosi sebesar 2,94 mg/jam dan menjadi 0,206 mg/jam apabila kandungan Zr menjadi 6%. Untuk sampel yang dikenai *quenching*, pada kandungan 2% Zr dan 10% Zr masing-masing mempunyai laju korosi sebesar 0,72 mg/jam dan 0,0186 mg/jam. Apabila dibandingkan antara yang tidak dikenai *quenching* dengan yang dikenai *quenching*, terlihat

hingga kandungan Zr sebesar 6%, paduan UZr yang tidak dikenai *quenching* mempunyai laju korosi yang lebih besar dibandingkan yang dikenai *quenching*. Namun, setelah melampaui 6%, yakni mulai kandungan Zr sebesar 10% paduan UZr yang diberi perlakuan *quenching* mempunyai laju korosi yang lebih besar dibandingkan yang tidak dikenai *quenching*.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. Masrukan, Slamet, P., Yatno, D.A.S., & Asminar. (2008). Pengembangan Paduan UZr sebagai Bahan Bakar Reaktor Riset. Prosiding Laporan Teknis, Serpong: PTBN – BATAN.
2. Kaufmann, A. R. (1962). Nuclear Reactor Fuel Elements. Metallurgy and Fabrication. New York : John Wiley & Sons Interscience Publishers,.
3. Masrukan, & Kadaryono, A. (2009). Pengaruh Penambahan Unsur Zr Terhadap Pembentukan Fase Pasca Perlakuan Korosi Pada Bahan Bakar Paduan UZr. Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, 5 (2).
4. ASTM. (1989). Metal Hand Book: Corrosion (9th ed). Ohio: ASTM.
5. Septe, E. (2005). Korosi Perusak yang Terabaikan. Jurusan Teknik Mesin Universitas Bung Hatta. URL http://www.bung_hatta.info/tulisan_235.ubh

LAMPIRAN

Tabel 1. Perubahan berat hasil uji korosi (tidak dikenai perlakuan *quenching*).

Sampel	Berat sampel sebelum korosi (g)	Berat sampel setelah korosi (g)	Selisih berat (mg)	Laju korosi (mg/jam)
U-2%Zr	5,1296	4,7181	-411,5	-2,94
U-6%Zr	5,1694	5,1406	-28,8	-0,206
U-10%Zr	5,0732	5,0736	+0,4	0,0028
U-14%Zr	4,6025	4,6040	+1,5	0,0107
U-55%Zr	3,2606	3,2629	+2,3	0,0164

Tabel 2. Perubahan berat hasil uji korosi (dikenai perlakuan *quenching*).

Sampel	Berat sampel sebelum korosi (g)	Berat sampel setelah korosi (g)	Selisih berat (mg)	Laju korosi (mg/jam)
U-2%Zr	4,0860	3,9855	-100,5	-0,72
U-6%Zr	4,9397	4,8872	-525	-0,375
U-10%Zr	5,5435	5,5409	-2,6	-0,0186
U-14%Zr	5,3841	5,3866	+ 2,5	+ 0,017 86
U-55%Zr	3,3340	3,3346	+ 0,6	+ 0,004 28