

PEMBAKUAN METODE UJI BAHAN STRUKTUR ELEMEN BAKAR REAKTOR DAYA PRA-IRADIASI: PENGUJIAN TARIK TRANSVERSAL DAN LONGITUDINAL

Rohmad Sigit, Jan Setiawan, Sri Ismarwanti, Guswardani,
Maman Kartaman Ajiriyanto
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

Potensi lepasan zat radioaktif akibat kegagalan integritas mekanik kelongsong bahan bakar nuklir harus menjadi perhatian utama. Untuk mengetahui pengaruh iradiasi terhadap integritas mekanik kelongsong, dilakukan pengujian pasca iradiasi di dalam hot cell. Preparasi sampel di dalam hot cell memiliki tantangan terkait *handling* menggunakan manipulator, sehingga diperlukan pengembangan metode pengujian khususnya untuk mewakili karakter daktilitas kelongsong yaitu pengujian tarik. Pengembangan metode uji tarik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian tarik transversal (*ring tensile test*) dan longitudinal. Preparasi sampel uji menggunakan metode yang mudah diadopsi untuk pengerjaan di dalam hot cell, yaitu pemotongan sampel berbentuk *ring* untuk uji tarik transversal dan sampel uji berbentuk *tube* untuk pengujian tarik longitudinal dengan menggunakan mesin potong kecepatan rendah. Pengujian tarik longitudinal menggunakan *plunger* resin dan logam. Hasil pengujian tarik transversal menunjukkan kesesuaian terhadap profil kurva uji tarik standar pada lebar *ring* 3,0 dan 3,5 mm. Hasil pengujian tarik longitudinal dengan *plunger* resin menunjukkan hasil patahan di area tengah sampel uji. Hasil yang sama juga didapatkan pada pengujian tarik longitudinal dengan *plunger plug* logam skala penuh sesuai ASTM E8/E8M dengan sedikit pengembangan pada bentuk ujung *plug*. Sementara itu, *plug* logam mini modifikasi menghasilkan distribusi tegangan tarik yang tidak homogen yang menyebabkan patahan tidak berada pada area tengah sampel uji. Kedua hasil pengembangan metode pengujian tarik baik transversal maupun longitudinal, menunjukkan bahwa kedua metode tersebut dapat diterapkan untuk pengujian pascairadiasi di dalam hot cell.

Kata kunci: Uji tarik transversal, uji tarik longitudinal, *ring*, *plunger*.

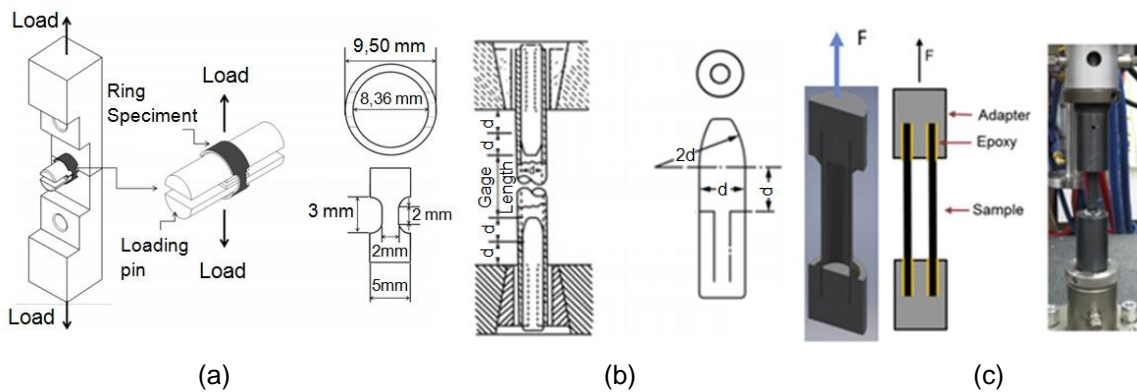
PENDAHULUAN

Integritas mekanik kelongsong bahan bakar nuklir selama operasi reaktor nuklir harus menjadi perhatian penting karena sangat terkait dengan potensi lepasan zat radioaktif ke lingkungan saat terjadi kegagalan mekanik pada kelongsong. Dalam rangka mengetahui integritas mekanik kelongsong bahan bakar nuklir selama iradiasi dilakukan pengujian pascairadiasi (*post irradiation examination-PIE*) di dalam hot cell. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) memiliki instalasi radiometalurgi (IRM) yang didesain untuk melaksanakan kegiatan pengujian dan pengembangan uji pra dan pasca iradiasi terhadap elemen bakar reaktor riset dan daya beserta komponen reaktor lainnya. IRM memiliki *hot cell* untuk mengakomodasi pengujian pasca iradiasi baik uji merusak maupun uji tak merusak. Salah satu pengujian merusak sebagai pendekatan perubahan karakter daktilitas bahan kelongsong adalah pengujian tarik. *Short pin* kelongsong tanpa bahan bakar yang terbuat dari *zircaloy-4* sebagai bahan kelongsong digunakan secara

umum untuk reaktor jenis *Pressurized Water Reactor* (PWR) telah diiradiasi di Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) dan telah siap untuk dilakukan pengujian pasca iradiasi di IRM.

Preparasi sampel uji tarik standar yang didapatkan dari kelongsong merupakan kendala tersendiri ketika dilakukan di dalam *hot cell* karena keterbatasan kemampuan *handling* dengan menggunakan manipulator dan alat bantu lainnya. Hal tersebut harus disiasati dengan pengembangan metode pengujian yang tidak memerlukan proses preparasi yang rumit. Beberapa metode pengujian tarik yang telah dikembangkan antara lain pengujian tarik transversal dengan sampel berbentuk *ring* (*ring tensile test*)^[1-4] dan pengujian tarik longitudinal dengan sampel berbentuk *tube* dengan *plunger* resin dan logam^[5] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengembangan metode pengujian tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan sampel *tubestainless steel* (SS), baik SS 304 maupun SS 316 dan *zircaloy* pra-iradiasi. Untuk preparasi sampel uji tarik baik untuk uji tarik transversal maupun longitudinal, pemotongan kelongsong dengan berbagai variasi dimensi dilakukan menggunakan mesin potong kecepatan rendah. Metode preparasi tersebut nantinya akan diadopsi penggunaannya di dalam hot cell instalasi radiometalurgi.



Gambar 1. Pengujian tarik transversal (*ring tensile test*) (a)^[4]; longitudinal dengan *plunger* berdasarkan ASTM E8/E8M (b); dan dengan menggunakan *plunger* resin^[5] (c).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan potongan kelongsong SS304, SS316 dan Zr-4 non iradiasi yang banyak digunakan sebagai bahan struktur baik di reaktor riset maupun reaktor daya. Dimensi sampel uji dan deskripsinya dituliskan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Dimensi sampel uji tarik transversal (*ring tensile test*)

Sampel Uji	Parameter (mm)		
	Diameter	Tebal	Lebar
SS304 (1)	12,75	1,00	2,50
SS304 (2)	12,75	1,00	3,00
SS304 (3)	12,75	1,00	3,50
SS304 (4)	30,00	1,00	3,00
Zr-4 (1)	13,25	0,45	3,50
Zr-4 (2)	13,25	0,45	3,00
Zr-4 (3)	13,25	0,45	3,00

Tabel 2. Dimensi sampel uji tarik longitudinal

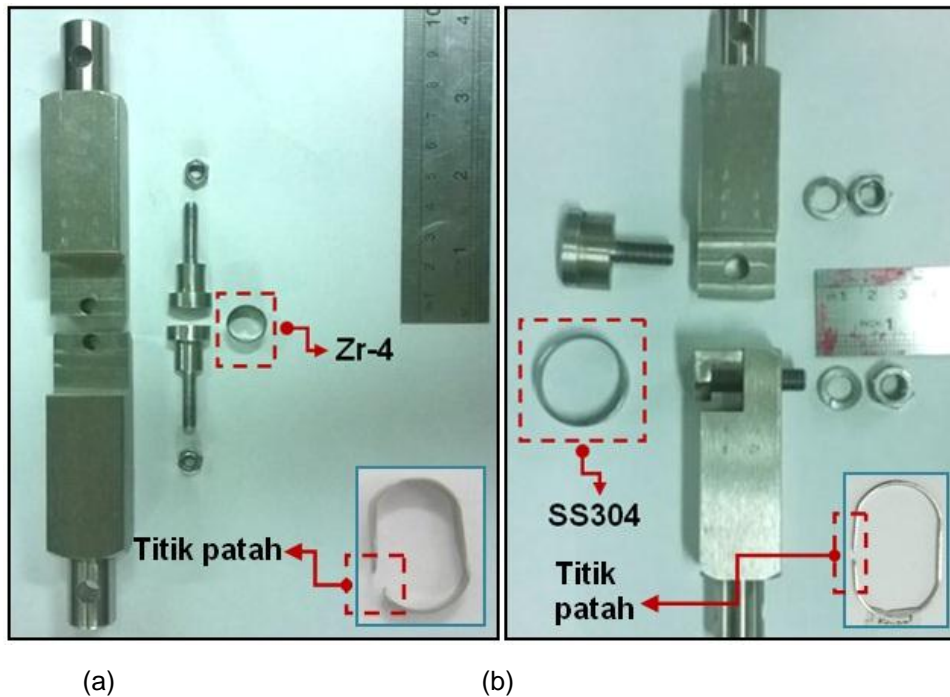
Sampel Uji	Parameter (mm)		
	Diameter	Tebal	Panjang Total
SS316	12,75	0,80	120,90
SS304	12,75	1,00	110,00

Pemotongan sampel menggunakan mesin potong Struers Minitom *diamond cutting* pada kecepatan rendah. Pengujian tarik transversal menggunakan mesin uji tarik Shimadzu AGS-X dengan beban 10 kN dan laju penarikan sebesar 1 mm/s pada temperatur kamar. Pengujian tarik longitudinal menggunakan mesin uji tarik Schenke Treble dengan kapasitas beban maksimum 63 kN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknik uji tarik transversal

Pengujian tarik transversal dilakukan dengan perlengkapan pengujian berupa dua pin setengah lingkaran yang terpasang pada *grip* standar mesin uji tarik sesuai ASTM 2290^[2,3]. Perlengkapan pengujian dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2. Area perpatahan pada sampel uji tidak tepat berada di tengah sampel. Hal ini menunjukkan beban tarik tidak tersebar merata pada bahan uji yang salah satu penyebabnya adalah karena adanya ketidaksimetrisan pada bahan uji.



Gambar 2. Perlengkapan pengujian tarik *ring* untuk Zr-4 (a) dan SS 304 (b) beserta area perpatahan hasil pengujian [6].

Hasil pengujian tarik transversal secara lengkap ditampilkan pada Tabel 3. Nilai *Ultimate Tensile Strength* (UTS) yang dihasilkan dari beberapa pengujian tarik transversal menunjukkan nilai yang relatif konsisten dan berada dalam rentang nilai UTS baik untuk SS 304 maupun Zr-4^[6-7]

Tabel 3. Hasil pengujian tarik transversal

Sampel Uji	UTS Hasil Pengujian (MPa)
SS304 (1)	595
SS304 (2)	632
SS304 (3)	546
SS304 (4)	689 [8]
Zr-4 (1)	514 [8]
Zr-4 (2)	478 [9]
Zr-4 (3)	450 [10]

Teknik uji tarik longitudinal

a) *Plunger Resin*

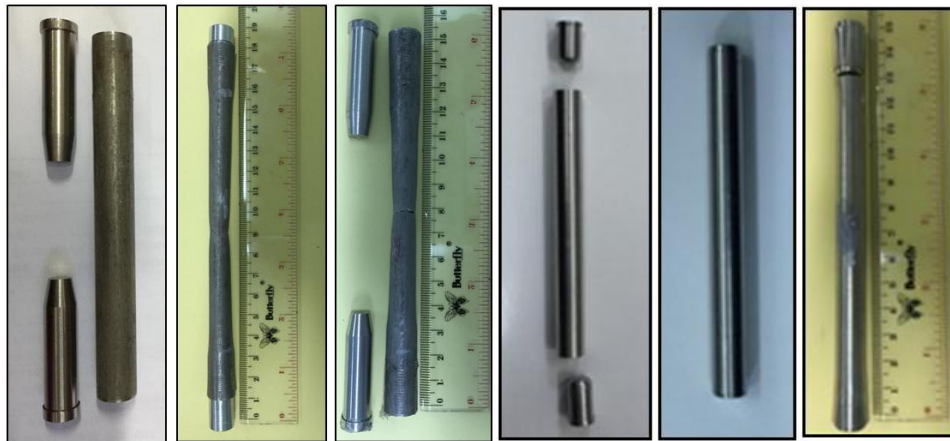
Pengujian tarik longitudinal menggunakan *tube* SS316 dengan panjang resin 20 mm di masing-masing sisi seperti yang terlihat pada Gambar 3. Pada sampel *tube* yang dicelup resin menghasilkan *maximum force* sebesar 22,049 kN, sedangkan pada sampel *tube* yang dituang resin menghasilkan *maximum force* sebesar 22,060 kN. Hasil penarikan menunjukkan titik patah berada pada area perpatahan, tepat di tengah spesimen uji. Hal ini menunjukkan bahwa secara metode, pengujian tarik ini dapat digunakan untuk uji pasca iradiasi. Kelemahan dari metode ini adalah penyiapan resin sebagai *plunger* memerlukan konsistensi untuk memastikan tidak terjadi deformasi pada bagian grip yang menyebabkan tidak meratanya distribusi beban. Selain itu, preparasi sampel uji hingga siap untuk dilakukan uji tarik memerlukan waktu yang relatif lebih lama.



Gambar 3. Pengujian tarik transversal sampel SS316 dengan *plunger* resin.

b) *Plunger pluglogam*

Metode pengujian tarik longitudinal kelongsong disimulasikan dengan menggunakan sampel uji SS304 yang dilakukan di *hot cell* 111. Pengujian tarik dilakukan dengan penggunaan *full plug* dan *plug* mini yang telah dimodifikasi seperti yang terlihat pada Gambar 4. Modifikasi dilakukan pada ujung *plug* untuk memberikan fungsi penahan untuk memperkecil peluang lolosnya *plug* ke dalam spesimen uji. Selain berfungsi sebagai penahan, modifikasi ini juga penting memberikan keleluasaan dalam proses *handling* saat menyisipkan *plug* ke dalam spesimen uji. Hasil yang lebih optimal didapatkan saat pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *full plug* termodifikasi dengan indikasi titik patah berada pada posisi tengah spesimen uji.



(a) (b)
Gambar 4. Pengujian tarik SS304 menggunakan *full plug* (a) dan *plug* mini termodifikasi (b).

KESIMPULAN

Pengembangan metode pengujian tarik transversal dan longitudinal untuk spesimen uji SS 304, SS 316 dan Zr-4 pra-iradiasi menunjukkan hasil yang mengindikasikan bahwa kedua metode pengujian tersebut dapat diterapkan dalam pengujian pasca iradiasi kelongsong bahan bakar nuklir. Pengujian tarik transversal (*ring tensile test*) menunjukkan hasil UTS yang konsisten terhadap material standar. Pengujian tarik longitudinal menunjukkan hasil yang optimal pada *plunger* resin dan *plunger plug* logam berskala penuh sesuai ASTM yang telah dimodifikasi. Dengan pertimbangan kemudahan dalam preparasi dan *handling* material, pengujian tarik longitudinal dengan *plunger plug* logam lebih mampu terap dalam pengujian tarik pasca iradiasi jika dibandingkan dengan *plunger* resin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Ahmad Paid dan bapak Purwanta yang telah banyak membantu dalam desain dan pembuatan *plug* untuk pengujian tarik longitudinal.

DAFTAR PUSTAKA

1. D. S. Kim, *et al*, "Tensile test techniques for a nuclear fuel cladding in a hot cell", *Key Engineering Materials*, vol. 345–346, pp. 1561–1564, 2007.

2. M. K. Samal, *et al.* "Estimation of transverse tensile behavior of Zircaloy pressure tubes using ring-tensile test and finite element analysis," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C:Journal of Mechanical Engineering Science, 2012.
3. C. P. Dick, Y. P. Korkolis, *Mechanics and full-field deformation study of the Ring Hoop Tension Test*, International Journal of Solids and Structures, vol. 51, no. 18, pp. 3042–3057, 2014.
4. H. J. Cha, *et.al.*, "Tensile hoop stress-, hydrogen content-and cooling rate-dependent hydride reorientation behaviors of Zr alloy cladding tubes", Journal of Nuclear Materials, vol. 464, pp. 53-60, 2015.
5. K. Shapovalov, *et al.*, "Strength of SiC f-SiC m composite tube under uniaxial and multiaxial loading," Journal of Nuclear Materials. 2018.
6. R. Singh, S. Goel, R. Verma, R. Jayaganthan, A. Kumar, "Mechanical Behaviour of 304 Austenitic Stainless Steel Processed by Room Temperature Rolling," IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 330,012017, 2018.
7. A. Pshenichnikov, J. Stuckert, and M. Walter, M. "Microstructure and mechanical properties of zircaloy-4 cladding hydrogenated at temperatures typical for loss-of-coolant accident (LOCA) conditions," Nuclear Engineering and Design, vol. 283, pp. 33-39, 2015.
8. J. Setiawan, R. Sigit, Sungkono, H. Suwarno, "Penguujian tarik transversal kelongsong bahan bakar nuklir," Seminar Material, Instrumentasi, Pembelajaran dan Aplikasinya 2016, Institut Teknologi Bandung.
9. R. Sigit, F. Al-Afghani, J. Setiawan, Sungkono, "Pengaruh hidrogen terhadap kekuatan tarik kelongsong bahan bakar nuklir berbasis paduan zirconium," Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir URANIA, vol. 23, no. 3, hal. 175-182, 2017.
10. R. Sigit, S. Ismarwanti, Guswardani, Y. D. A. Susanto, J. Setiawan, "Karakteristik mekanik kelongsong bahan bakar nuklir temperatur tinggi dalam atmosfer nitrogen," Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir URANIA, vol. 24, no. 2, hal. 85-91, 2018.