

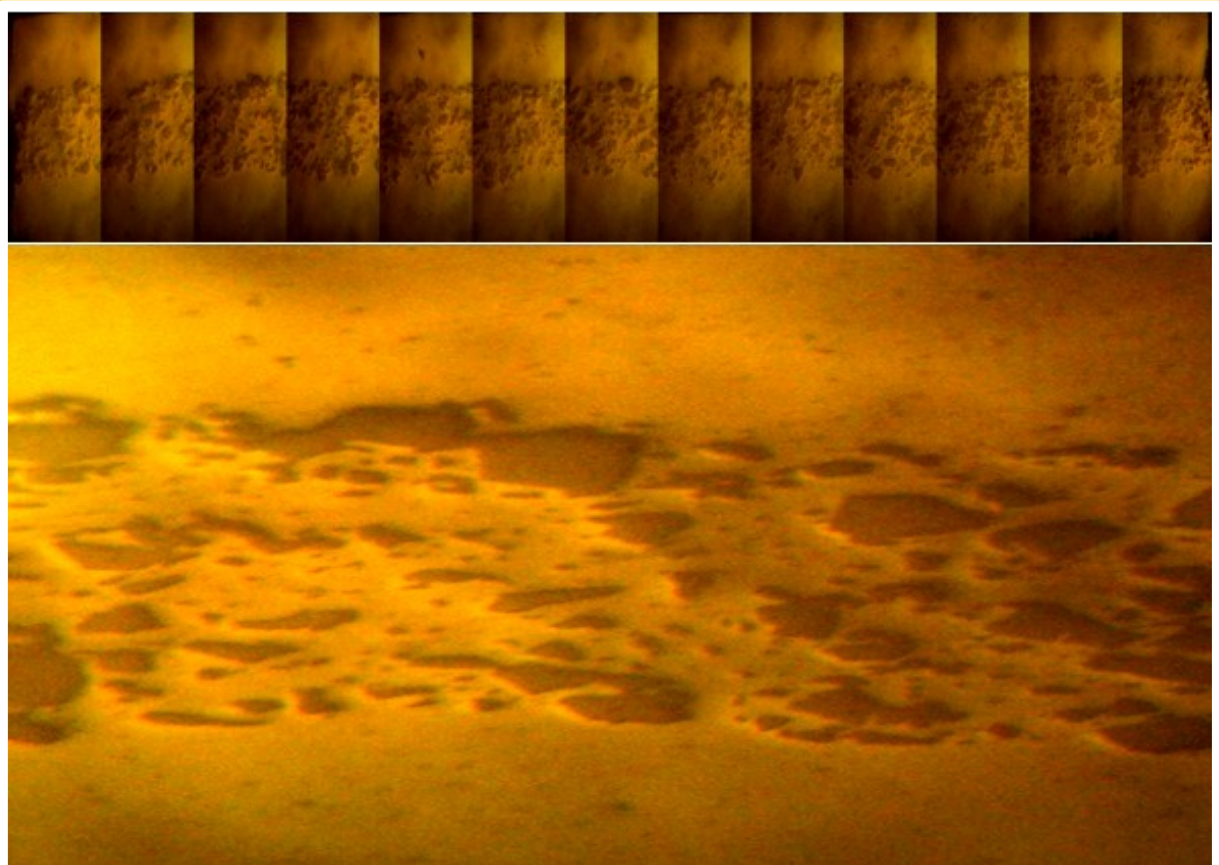
p ISSN 0852-4777; e ISSN 2528-0473  
Akreditasi No: 595/AU3/P2MI-LIPI/03/2015  
Berlaku s/d April 2018

# Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 24 No.1

Februari 2018



*Mikrostruktur Pelat Elemen Bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al*

**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSAT TEKNOLOGI BAHAN BAKAR NUKLIR**

Urania	Vol. 24	No. 1	Hal : 1-72	Serpong Februari 2018	p ISSN 0852-4777; e ISSN 2528-0473
--------	---------	-------	------------	--------------------------	------------------------------------

# URANIA

---

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

---

Vol. 24 No.1, Februari 2018

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, URANIA adalah wahana informasi tentang Daur Bahan Bakar Nuklir yang berisi hasil penelitian, pengembangan dan tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali pada tahun 1995 dengan frekuensi terbit sebanyak empat kali dalam satu tahun yaitu pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober. Sementara itu, mulai tahun 2011 Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir URANIA terbit tiga kali dalam satu tahun, yaitu pada bulan Februari, Juni dan Oktober.

**Penanggung Jawab**

Kepala PTBBN

**Penasehat**

Komisi Pembina Tenaga Fungsional

**Pemimpin Dewan Redaksi**

**Merangkap Penyunting Ahli**

Dr. Jan Setiawan (Material, BATAN)

**Pemimpin Redaksi Pelaksana**

**Merangkap Penyunting Ahli**

Ir. Aslina Br. Ginting (Teknik Kimia, BATAN)

**Penyunting Ahli**

Ir. M. Husna Al Hasa, M.T (Metalurgi, BATAN)

Ir. Masrukan, M.T (Teknik Material, BATAN)

Ir. Supardjo, M.T (Teknik Material, BATAN)

Ir. Futichah, M.T (Metalurgi, BATAN)

Ir. Tri Yulianto (Teknik Nuklir, BATAN)

Ir. Ety Mutiara, M. Eng (Teknik Kimia, BATAN)

Rohmad Sigit Eko Budi Prasetyo, S.T, M.Si (Material, BATAN)

**Penyunting Mitra Bestari**

Dr. Azwar Manaf, M. Met (Material, Universitas Indonesia)

Prof. Dr. Yanni Sudiyani (Biologi Lingkungan, LIPI)

Prof.Drs. Perdamean Sebayang, M.Sc (Fisika, LIPI)

Dr. Muhammad Subekti (Sistem Reaktor, BATAN)

Prof. Dr. Ir. Sigit (Teknik Kimia, STTN-BATAN)

**Pemeriksa Naskah**

Ir. Sarjono

Yanlinastuti, S.Si

**Sekretaris**

Dwi Agus Wrihatno, S.Kom

---

**Penerbit**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), BATAN

---

**Alamat Redaksi**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Kawasan Puspipstek Serpong 15314

Telp. 021-756-0915 Faks.021-756-0909

E-mail:urania@batan.go.id / batanurania@gmail.com

---

## PENGANTAR REDAKSI

Sidang Pembaca Yang Terhormat,

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT serta atas rahmat dan karuniaNya, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" volume 24 no.1 dapat hadir ke hadapan pembaca. Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir terbit secara periodik setiap empat bulan sekali mulai tahun 2011, yaitu pada periode Februari, Juni dan Oktober.

Topik pertama dalam jurnal ini menampilkan masalah teknologi bahan reaktor daya yang ditulis dengan judul Strategi Untuk Mendukung Bahan Bakar Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Pembangunan RDE bertujuan untuk mempercepat penguasaan teknologi nuklir maju sehingga Indonesia menjadi kampiun nuklir di regional ASEAN. Berkaitan dengan pemakaian bahan bakar tahap pertama untuk RDE, kebutuhan bahan bakar akan dimasukkan dalam kontrak pembangunan RDE. Makalah berikutnya yang masih berkaitan dengan reaktor daya ditulis dengan judul Mikrostruktur dan Komposisi Fasa Pelet Sinter  $UO_2$  Dengan Penambahan Dopan Logam Zirkonium. Kegiatan ini merupakan upaya untuk memperbaiki kualitas pelet  $UO_2$  melalui perolehan struktur mikro dan komposisi fasa tertentu dalam pelet sinter  $UO_2$ . Logam zirkonium yang ditambahkan diharapkan berada pada batas butir  $UO_2$  dan saling terhubung.

Topik kedua berkaitan dengan bidang reaktor riset yang ditulis dengan judul Karakterisasi Paduan AlMgSi Untuk Kelongsong Bahan Bakar  $U_3Si_2/Al$  Densitas Uranium  $5,2 \text{ gU/cm}^3$ . Meningkatnya densitas uranium dari  $2,96 \text{ gU/cm}^3$  menjadi  $5,2 \text{ gU/cm}^3$  pada bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  harus diikuti dengan penggunaan kelongsong yang kompatibel. Bahan bakar densitas tinggi mempunyai kekerasan yang tinggi, sehingga bila menggunakan paduan AlMg2 sebagai kelongsong dapat terjadi *dogbone* pada saat perolan dan *swelling* pada saat bahan bakar tersebut digunakan di reaktor. Oleh karena itu, perlu mencari pengganti bahan kelongsong untuk bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  densitas tinggi. Makalah berikutnya masih berkaitan dengan masalah bahan bakar reaktor riset yang ditulis dengan judul Analisis Metalografi Pelat Elemen Bakar  $U_3Si_2/Al$  Densitas  $2,96 \text{ gU/cm}^3$  Pasca Iradiasi. Tujuan analisis metalografi adalah untuk mengetahui perubahan mikrostruktur PEB  $U_3Si_2/Al$ . Hasil analisis mikrostruktur menunjukkan keberadaan partikel  $U_3Si_2$  dengan bentuk dan ukuran beragam, matriks Al dan kelongsong AlMg2 yang tersebar sepanjang PEB  $U_3Si_2/Al$ . Pengamatan mikrostruktur PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi belum menunjukkan hasil yang baik karena hanya dapat mengamati topografi adanya *meat*  $U_3Si_2/Al$  dan kelongsong AlMg2.

Topik ketiga menampilkan masalah pemodelan yang berkaitan dengan bejana pada sistem reaktor yang ditulis dengan judul Analisis Integritas Material Pada *Reactor Pressure Vessel* (RPV) atau bejana tekan reaktor. Komponen tersebut merupakan *pressure boundary* yang berfungsi untuk mengungkung material radioaktif. Adanya retak pada dinding dapat mempengaruhi integritas RPV tersebut. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis *fracture mechanics* menggunakan model probabilistik untuk evaluasi keandalan RPV.

Topik keempat dan juga merupakan makalah terakhir dalam jurnal ini menampilkan tulisan yang berjudul Perancangan Penyimpanan *Dry Cask* Untuk Limbah Bahan Bakar Reaktor Serba Guna di Serpong. Limbah Bahan Bakar Nuklir (SNF=*Spent Nuclear Fuel*) dari Reaktor Serba Guna di Serpong setelah 100 hari disimpan di kolam reaktor, kemudian dipindahkan ke instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas (ISFSF=*Interim Storage For Spent Fuel*). Saat ini terdapat sisa 245 elemen SNF di ISSF dimana 198 elemen SNF lainnya telah dikirim kembali ke Amerika Serikat. Penyimpanan *Dry Cask* memungkinkan SNF yang telah didinginkan di ISSF mengalami peluruhan radiasi dan panas sangat rendah.

Akhir kata, semoga jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" ini bermanfaat bagi masyarakat Indonesia umumnya dan khususnya bagi pengembangan IPTEK Daur Bahan Bakar Nuklir. Selamat membaca.

Februari, 2018  
DEWAN REDAKSI

# URANIA

---

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

---

Vol. 24 No. 1, Februari 2018

### DAFTAR ISI

Pengantar Redaksi	:	i
Daftar Isi	:	ii
<i>The Strategy to Support HTGR Fuels For The 10 MW Indonesia's Experimental Power Reactor (RDE)</i>	:	1-16
(Taswanda Taryo, Ridwan, Geni Rina Sunaryo, Meniek Rachmawati)		
Mikrostruktur dan Komposisi Fasa Pelet Sinter $UO_2$ Dengan Penambahan Dopan Logam Zirkonium	:	17-26
(Tri Yulianto, Etty Mutiara)		
Karakterisasi Paduan AlMgSi Untuk Kelongsong Bahan Bakar $U_3Si_2/Al$ Dengan Densitas Uranium $5,2 \text{ gU/cm}^3$	:	27-38
(Aslina Br. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Boybul)		
Analisis Metalografi Pelat Elemen Bakar $U_3Si_2/Al$ Densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ Pasca Iradiasi	:	39-50
(Maman Kartaman Ajiriyanto, Aslina Br. Ginting, Junaedi)		
Analisis <i>Probabilistic Fracture Mechanics</i> Pada Evaluasi Keandalan Bejana Tekan Reaktor Secara 3-D	:	51-60
(Entin Hartini, Roziq Himawan, Mike Susmikanti)		
<i>Design of Dry Cask Storage For Serpong Multi Purpose Reactor Spent Nuclear Fuel</i>	:	61-72
(Dyah Sulistyani Rahayu, Yuli Purwanto, Zainus Salimin)		

## ABSTRAK

Taswanda Taryo, Ridwan, Geni Rina Sunaryo, Meniek Rachmawati. Vol. 24 No. 1, hal. 1-16

**STRATEGI UNTUK Mendukung Bahan Bakar Reaktor Daya Eksperimental (RDE).** Reaktor Daya Eksperimental (RDE) 10 MW berbasis pada High Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR) dan program Reaktor Daya Eksperimental 10 MW (RDE) pertama kali disampaikan ke Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) tahun 2014. Program RDE sangat diharapkan memberikan dampak positif dalam menjadikan masyarakat Indonesia sejahtera, mandiri dan berdaulat. Pembangunan RDE dapat mempercepat penguasaan teknologi canggih nuklir maju sehingga Indonesia menjadi kampion di regional ASEAN dan RDE diharapkan beroperasi tahun 2022/2023. Berkaitan dengan pemakaian bahan bakar tahap pertama untuk RDE, kebutuhan bahan bakar akan dimasukkan dalam kontrak pembangunan RDE sehingga operasi RDE dijamin sejak pertama beroperasi tahun 2023 sampai 2027. Membangun pabrik bahan bakar RDE merupakan hal penting yang perlu dipertimbangkan mengingat RDE menjadi dasar untuk mengembangkan reaktor sejenis dan berdaya kecil-menengah (25 MWe-200/300 MWe) yang dapat dibangun di Indonesia bagian Timur. Untuk mengkaji kemungkinan pembangunan pabrik bahan bakar RDE, pertama, perkembangan litbang bahan bakar HTGR oleh negara maju, seperti, negara-negara Eropa, Amerika Serikat, Afrika Selatan, Jepang dan dibahas sehingga dapat disimpulkan negara mana yang dapat mendukung keperluan bahan bakar untuk pengoperasian RDE. Kemudian strategi nasional serta peta jalan dan sasaran untuk persiapan pembangunan pabrik bahan bakar RDE disampaikan secara rinci. Telah disimpulkan, negara vendor terbaik yang dapat mendukung pembangunan pabrik bahan bakar untuk keperluan pengoperasian RDE jangka panjang. Akhirnya, makalah ini dapat dijadikan acuan primer dalam perencanaan dan pembangunan pabrik bahan bakar RDE di Indonesia.

**Kata kunci:** RDE, Indonesia, HTGR, bahan bakar, strategi.

Tri Yulianto, Ety Mutiara. Vol. 24 No. 1, hal. 17-26

**MIKROSTRUKTUR DAN KOMPOSISI FASA PELET SINTER  $UO_2$  DENGAN PENAMBAHAN DOPAN LOGAM ZIRKONIUM.** Telah dilakukan karakterisasi pelet  $UO_2$  sebagai bahan bakar PWR dengan penambahan dopan logam zirkonium pada pelet  $UO_2$ . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan logam zirkonium terhadap mikrostruktur dan komposisi fasa pelet  $UO_2$  maupun stoikiometri (O/U) ratio. Logam zirkonium yang ditambahkan diharapkan terdistribusi merata dalam pelet  $UO_2$  sehingga dapat meningkatkan kualitas pelet  $UO_2$ . Pelet  $UO_2$  difabrikasi dengan cara kompaksi dan penyinteran pada variasi penambahan logam zirkonium sebesar 0,3%, 0,5% dan 0,9% berat. Pelet  $UO_2$  hasil kompaksi kemudian disinter pada temperatur 1700 °C dengan laju pemanasan 250 °C/jam selama 3 jam dalam media campuran gas hidrogen. Pelet  $UO_2$  hasil sinter dikarakterisasi meliputi pengamatan visual, pengukuran densitas, pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x dan analisis fasa dengan difraksi sinar-X (XRD). Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan dopan logam Zr sebesar 0,3%; 0,5% dan 0,9% berat tidak terdapat cacat maupun retak pada pelet  $UO_2$  hasil sinter. Pelet sinter mempunyai rentang densitas 91% - 93% TD dan memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar PWR. Sementara itu, hasil analisis mikrostruktur pelet  $UO_2$  dengan variasi persentase logam zirkonium diketahui bahwa keberadaan logam zirkonium tidak dapat dikonfirmasi. Sementara itu, hasil evaluasi data uji XRD menggunakan perangkat lunak *HighScore* melalui pencocokan kurva hasil uji dengan struktur dari *data base* diperoleh struktur dan komposisi fasa dalam pelet hasil sinter. Fasa yang terbentuk pada pelet sinter  $UO_2$  tanpa penambahan Zr dan dengan variasi penambahan Zr adalah senyawa  $UO_2$  dan  $UO_3$ . Fraksi senyawa  $UO_3$  dalam pelet sinter  $UO_2$  berbanding lurus dengan persentase penambahan zirkonium yang ditunjukkan oleh stoikiometrinya (O/U) berdasarkan fraksi fasa yang terbentuk.

**Kata kunci:** pelet  $UO_2$ , logam Zr, mikrostruktur, komposisi fasa.

Aslina Br. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Boybul. Vol. 24 No. 1, hal. 27-38

**KARAKTERISASI PADUAN  $AlMgSi$  UNTUK KELONGSONG BAHAN BAKAR  $U_3Si_2/Al$  DENGAN DENSITAS URANIUM 5,2  $gU/cm^3$ .** Meningkatnya densitas uranium dari 2,96  $gU/cm^3$  menjadi 5,2  $gU/cm^3$  bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  harus diikuti dengan penggunaan kelongsong yang kompatibel. Bahan bakar berdensitas tinggi mempunyai kekerasan yang tinggi, sehingga bila menggunakan paduan  $AlMg_2$  sebagai kelongsong dapat menyebabkan terjadi *dogbone* pada saat perolan. Selain fenomena *dogbone*, pada saat bahan bakar tersebut digunakan di reaktor dapat terjadi *swelling* karena meningkatnya hasil fisi maupun *burn up*. Oleh karena itu, perlu dicari pengganti bahan kelongsong untuk bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  densitas tinggi. Pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi paduan  $AlMgSi$  sebagai kandidat pengganti kelongsong  $AlMg_2$ . Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisis termal, kekerasan, mikrostruktur dan laju korosi. Analisis termal dilakukan menggunakan DTA (*Differential Thermal Analysis*) dan DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Analisis kekerasan menggunakan alat uji kekerasan mikro, mikrostruktur menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan analisis laju korosi dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 150 °C selama 77 jam di dalam *autoclave*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kelongsong  $AlMgSi$  maupun  $AlMg_2$  mempunyai kompatibilitas panas dengan bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  cukup stabil hingga temperatur 650 °C. Kelongsong  $AlMgSi$  mempunyai kekerasan sebesar 115 HVN dan kelongsong  $AlMg_2$  sebesar 70,1 HVN. Sementara itu, analisis mikrostruktur menunjukkan bahwa morfologi ikatan antarmuka (*interface bonding*) kelongsong  $AlMgSi$  lebih baik dari kelongsong  $AlMg_2$ , demikian halnya dengan laju korosi bahwa kelongsong  $AlMgSi$  mempunyai laju korosi lebih kecil dibanding kelongsong  $AlMg_2$ . Hasil karakterisasi termal, kekerasan, mikrostruktur dan laju korosi menunjukkan bahwa PEB  $U_3Si_2/Al$  densitas 5,2  $gU/cm^3$  menggunakan kelongsong  $AlMgSi$  lebih baik dibanding PEB  $U_3Si_2/Al$  densitas 5,2  $gU/cm^3$  menggunakan kelongsong  $AlMg_2$ .

**Kata kunci:**  $U_3Si_2/Al$ , densitas 5,2  $gU/cm^3$ , kelongsong  $AlMgSi$  dan  $AlMg_2$ .

Maman Kartaman Ajriyanto, Aslina Br. Ginting, Junaedi. Vol. 24 No. 1, hal. 39-50

**ANALISIS METALOGRAFI PELAT ELEMEN BAKAR  $U_3Si_2/Al$  DENSITAS  $2,96 \text{ gU/cm}^3$  PASCA IRADIASI.** Telah dilakukan analisis metalografi pelat elemen bakar (PEB)  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi di dalam *hotcell*. Tujuan analisis metalografi untuk mengetahui perubahan mikrostruktur PEB  $U_3Si_2/Al$  dan ketebalan kelongsong AlMg2 setelah mengalami iradiasi didalam reaktor hingga *burnup* 56%. PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi dipotong pada posisi *top*, *middle* dan *bottom* dengan ukuran masing-masing sekitar  $5 \times 5 \times 1,37 \text{ mm}$ . Preparasi metalografi dimulai dari pemotongan PEB menggunakan *cutting machine* dengan *low speed*, *mounting*, *grinding*, dan *polishing* didalam *hotcell* 104 – 105. Proses *mounting* dilakukan menggunakan resin dengan waktu >10 jam, proses *grinding* menggunakan kertas ampas hingga ukuran grit 2400 dan proses *polishing* dilakukan menggunakan pasta intan dari ukuran 3 sampai 1 mikron dengan kecepatan putar 150 rpm selama 5 menit. Pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop optik di *hotcell* 107 dengan perbesaran 200 kali. Hasil analisis mikrostruktur diperoleh partikel  $U_3Si_2$  dengan bentuk dan ukuran beragam, matriks Al dan kelongsong AlMg2 yang tersebar sepanjang PEB  $U_3Si_2/Al$ . Pengamatan mikrostruktur PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi belum menunjukkan hasil yang baik karena hanya dapat mengamati topografi *meat*  $U_3Si_2/Al$ , matriks Al dan kelongsong AlMg2. Hal ini disebabkan karena pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optik di dalam *hotcell* maksimal hanya dengan perbesaran 200 kali sehingga fenomena *interaction layer* dan *small gas bubble* tidak dapat diamati. Namun mikrostruktur PEB  $U_3Si_2/Al$  dengan *burn up* 56% dibandingkan dengan mikrostruktur bahan bakar  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi dengan *burn up* 60% yang merupakan hasil peneliti sebelumnya, hasilnya menunjukkan adanya interaksi antara *meat*  $U_3Si_2$  dengan matriks Al dan adanya lapisan atau *layer* dengan ketebalan sekitar 5 hingga 20 mikron. Sementara itu, ketebalan kelongsong AlMg2 diperoleh lebih besar dari 0,25 mm, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi tidak memberikan perubahan ketebalan kelongsong AlMg2 secara signifikan sehingga secara keseluruhan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi masih memiliki integritas dan kestabilan cukup baik.

**Kata kunci** : PEB  $U_3Si_2/Al$ , pasca iradiasi, mikrostruktur, ketebalan kelongsong.

Entin Hartini, Roziq Himawan, Mike Susmikanti. Vol. 24 No. 1, hal. 51-60

**ANALISIS PROBABILISTIC FRACTURE MECHANICS PADA EVALUASI KEANDALAN BEJANA TEKAN REAKTOR SECARA 3-D.** Analisis integritas material sangat diperlukan pada *Reactor Pressure Vessel* (RPV). Komponen tersebut merupakan *pressure boundary* yang berfungsi untuk mengungkung material radioaktif. Adanya retak pada dinding dapat mempengaruhi integritas RPV tersebut. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis *fracture mechanics* menggunakan model probabilistik untuk evaluasi kehandalan RPV. Model probabilistik digunakan untuk pendekatan karakter random dari kuantitas input seperti sifat mekanik material dan lingkungan fisik. Karakter random dari kuantitas input menggunakan teknik sampling berdasarkan *probability density function*. Material yang digunakan pada RPV adalah baja feritik (SA 533). Analisis *fracture mechanics* dilakukan berdasarkan metode elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak MSC MARC. Output dari MSC MARC adalah nilai J integral untuk mendapatkan nilai *stress intensity factor* (SIF) pada evaluasi keandalan bejana tekan reaktor 3D. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa SIF probabilistik lebih dulu mencapai nilai batas *fracture toughness* dibanding SIF deterministik. Nilai SIF yang dihasilkan dengan metode probabilistik adalah  $95,8 \text{ MPa m}^{0,5}$ , sedangkan dengan metode deterministik adalah  $91,8 \text{ MPa m}^{0,5}$ , ratio *crack* (a/c) semakin kecil akan dihasilkan nilai SIF yang semakin besar.

**Kata kunci** : *Probabilistic fracture mechanics*, bejana tekan, 3-D.

Dyah Sulistyani Rahayu, Yuli Purwanto, Zainus Salimin. Vol. 24 No. 1, hal. 61-72

**PERANCANGAN WADAH PENYIMPANAN KERING BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS REAKTOR SERBA GUNA SERPONG.** Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) dari Reaktor Serba Guna Serpong setelah 100 hari disimpan di kolam reaktor, kemudian dipindahkan ke instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas nuklir bekas (IPSB3). Pada saat ini ada 245 elemen BBNB yang tersisa dan 198 elemen telah diekspor kembali ke Amerika Serikat. Wadah penyimpanan kering dari BBNB yang telah didinginkan di IPSB3 mengalami peluruhan radiasi dan panas sangat rendah yaitu maksimum  $18,2989 \text{ watt}$  per elemen. Desain wadah penyimpanan kering untuk BBNB telah dilakukan dan pemilihan wadah logam, modul beton horisontal, dan kubah modular karena keunggulan teknis dan ekonomisnya. Struktur wadah yang dirancang terdiri dari tabung rak BBNB, liner baja dalam, perisai beton dan liner baja luar. Upaya menghindari korosi bimetalik, bahan konstruksi untuk kanister dan lapisan baja mengikuti material yang sama dengan material kelongsong bahan bakar yaitu AlMg2. Material liner baja luar terbuat dari tembaga untuk memudahkan perpindahan panas dari wadah ke atmosfer. Panas peluruhan total ditransfer dari elemen BBNB ke atmosfer oleh resistansi perpindahan panas serial dari dinding tabung, lapisan baja dalam, perisai beton, dan lapisan baja luar masing-masing. Kapasitas rak yang optimum dari kanister adalah 34 elemen bahan bakar dirancang dengan metode kemiripan geometrik basis susunan posisi BBNB  $7 \times 6$  untuk menghambat kekritisasi neutron secara spontan. Elemen BBNB disimpan secara vertikal pada tabung rak kanister. Ketebalan perisai dinding beton dihitung dengan *trial and error* sehingga memberikan temperatur udara  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  dan dosis radiasi pada permukaan dinding liner luar sebesar  $200 \text{ mrem/jam}$ . Elemen BBNB berasal dari rak penyimpanan basah yaitu rak no. 3, 8 dan 10. Nilai peluruhan ( $I_0$ ) dari rak no 3, 8 dan 10 masing-masing adalah 434,307; 446,344; dan 442,375 mrem/jam. Peluruhan panas total dari rak 3,8 dan 10 adalah 179,640; 335,2; dan 298,551 watt. Hasil *trial and error* menunjukkan bahwa untuk rak no 3, 8 dan 10 membutuhkan ketebalan beton perisai masing-masing sebesar 0,1912, 0,19954 dan 0,1940 m.

**Kata kunci**: peluruhan panas dan radiasi, bahan bakar nuklir bekas, wadah penyimpanan.

## ABSTRACT

Taswanda Taryo, Ridwan, Geni Rina Sunaryo, Meniek Rachmawati. Vol. 24 No. 1, pp. 1–16

**STRATEGY TO SUPPORT HTGR FUEL FOR THE 10 MW INDONESIA'S EXPERIMENTAL POWER REACTOR (RDE).**

The Indonesia's 10 MW experimental power reactor (RDE) is developed based on high temperature gas-cooled reactor (HTGR) and the program of the RDE was firstly introduced to the Agency for National Development Planning (BAPPENAS) at the beginning of 2014. The RDE program is expected to have positive impacts on community prosperity, self-reliance and sovereignty of Indonesia. The availability of RDE will be able to accelerate advanced nuclear power technology development and hence elevate Indonesia to be the nuclear champion in the ASEAN region. The RDE is expected to be operable in 2022/2023. In terms of fuel supply for the reactor, the first batch of RDE fuel will be inclusive in the RDE engineering, procurement and construction (RDE-EPC) contract for the assurance of the RDE reactor operation from 2023 to 2027. Consideration of RDE fuel plant construction is important as RDE can be the basis for the development of reactors of similar type with small-medium power (25 MWe–200/300 MWe), which are preferable for eastern part of Indonesia. To study the feasibility of the construction of RDE fuel plant, current state of the art of the R&D on HTGR fuel in some advanced countries such as European countries, the United States, South Africa and Japan will be discussed and overviewed to draw a conclusion about the prospective countries for supporting the fuel for long-term RDE operation. The strategy and roadmap for the preparation of the RDE fuel plant construction with the involvement of national stakeholders have been developed. The best possible vendor country to support HTGR fuel for long-term operation is finally accomplished. In the end, this paper can be assigned as a reference for the planning and construction of HTGR RDE fuel fabrication plant in Indonesia.

**Keywords:** RDE, Indonesia, HTGR, fuel, strategy.

Tri Yulianto, Ety Mutiara. Vol. 24 No. 1, pp.17–26

**MICROSTRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF SINTERED  $UO_2$  PELLET DOPED WITH ZIRCONIUM.**

Characterization of zirconium-doped  $UO_2$  pellet for PWR fuel has been done. The investigation aims to study the influence of zirconium doping on microstructure, phase composition and stoichiometric (O/U) ratio. Homogenous distribution of zirconium metal is expected in order to enhance  $UO_2$  pellet quality. The  $UO_2$  pellet was fabricated by compaction and sintering with varied zirconium addition of 0,3, 0,5 and 0,9 wt%. Sintering was done at 1700 °C with heating rate of 250 °C/hour for 3 hours in hydrogen medium. Characterization of the sintered pellet includes visual examination, density measurement, microstructure examination with optical microscope at 500x magnification and phase analysis by X-ray diffraction (XRD) method. Analysis results show that the addition of varied Zr of 0,3, 0,5 and 0,9 wt% did not cause defect or crack of the sintered  $UO_2$  pellet. Microstructure examination with optical microscope, however, could not visually confirm the existence of zirconium. The evaluation of XRD data was done with HighScore software by conforming peaks data of the test sample with peaks data of a reference database. The phase of  $UO_2$  pellet without zirconium addition was confirmed to be  $UO_2$  and  $UO_3$ . The phase of  $UO_2$  pellet with zirconium addition, on the other hand, shows that the  $UO_3$  fraction increases linearly with the percentage of zirconium added, which is indicated by the value of stoichiometric (O/U) ratio.

**Keywords:**  $UO_2$  pellet, Zr, PWR, microstructure, phase.

Aslina Br. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Boybul. Vol. 24 No. 1, pp. 27–38

**CHARACTERIZATION OF AlMgSi ALLOY FOR THE CLADDING OF  $U_3Si_2/Al$  FUEL WITH 5,2  $gU/cm^3$  DENSITY.** Increase in uranium density from 2,96  $gU/cm^3$  to 5,2  $gU/cm^3$  of  $U_3Si_2/Al$  fuel requires a compatible cladding. High density fuel possesses high hardness value, and the use of AlMg2 as cladding material may cause dogbone during rolling process. In addition to dogbone phenomena, swelling can also occur during the use of nuclear fuel in the reactor due to rising in fission products and burn up. For this reason, substitution of cladding material should be determined to suit the high density  $U_3Si_2/Al$  fuel. This research deals with the characterization of AlMgSi as a candidate for AlMg2 substitution. The characterization includes thermal analysis with DTA (Differential Thermal Analysis) dan DSC (Differential Scanning Calorimetry), hardness test with macrohardness tester, microstructure examination with SEM (Scanning Electron Microscope), and corrosion analysis by heating at 150 °C for 77 hours in an autoclave. Analysis results show that both AlMgSi and AlMg2 share stable heat compatibility with  $U_3Si_2/Al$  up to 650 °C. AlMgSi cladding has a hardness value of 115 HVN, higher than that of AlMg2, which is 70,1 HVN. Microstructure examination shows that AlMgSi has better morphology of interface bonding than AlMg2. Corrosion rate analysis also indicates that AlMgSi has lower corrosion rate. The results of thermal, hardness, microstructure and corrosion characterization reveal that the  $U_3Si_2/Al$  fuel of 5,2  $gU/cm^3$  suits better with AlMgSi than AlMg2.

**Keywords:**  $U_3Si_2/Al$ , density 5,2  $gU/cm^3$ , AlMgSi cladding, AlMg2.

Maman Kartaman Ajriyanto, Aslina Br. Ginting, Junaedi. Vol. 24, No. 1, pp. 39–50

**METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF IRRADIATED  $U_3Si_2/Al$  FUEL ELEMENT PLATE OF 2,96  $gU/cm^3$  DENSITY.**

Metallographic analysis of  $U_3Si_2/Al$  fuel element plate has been performed in hotcell. The purpose of metallographic analysis is to study changes in PEB  $U_3Si_2/Al$  microstructure and AlMg<sub>2</sub> cladding thickness after irradiation in reactor until burn up of 56%. The fuel element plate of irradiated  $U_3Si_2/Al$  was cut in top, middle and bottom positions with each size around 5x5x1,37mm. Metallographic preparation starts from sample cutting using cutting machine with low speed and sample mounting, grinding, and polishing in hotcell 104 – 105. Sample mounting was done by using resin for more than 10

hours followed by grinding with sand papers up to grit size of 2400 and polishing with diamond paste of size 3 to 1 micron at a rotational speed of 150 rpm for 5 minutes. Microstructure observation was performed with optical microscope in hotcell 107 at 200 times magnification. Microstructure examination reveals  $U_3Si_2$  particles with diverse forms and sizes, Al matrix and  $AlMg_2$  cladding were spread along the  $U_3Si_2/Al$  side. Microstructure observation of irradiated  $U_3Si_2/Al$  has not shown good result because only topography observation of  $U_3Si_2/Al$  meat, Al matrix and  $AlMg_2$  cladding can be done due to limited capability of the optical microscope in hotcell, where maximum magnification can be attained only at 200 times so that the phenomenon of interaction layer and small gas bubble can not be observed. However,  $U_3Si_2/Al$  microstructure of 56% burnup, if compared to the microstructure of  $U_3Si_2/Al$  fuel element plate of 60% burnup from previous researcher, shows interaction between  $U_3Si_2$  meat with Al matrix and the existence of layers with a thickness about 5 up to 20 microns. Meanwhile, the observed thickness of  $AlMg_2$  cladding is greater than 0.25 mm, which indicates that irradiation does not significantly change the thickness of  $AlMg_2$  cladding so that the overall irradiated  $U_3Si_2/Al$  still has good integrity and stability.

**Keywords:** PEB  $U_3Si_2/Al$ , post irradiation, microstructure, cladding thickness.

Entin Hartini, Roziq Himawan, Mike Susmikanti. Vol. 24 No. 1, pp. 51-60

**PROBABILISTIC FRACTURE MECHANICS ANALYSIS FOR THE EVALUATION OF REACTOR PRESSURE VESSEL RELIABILITY USING 3-D MODEL.** Material integrity analysis is required for the reactor pressure vessel (RPV). The component is the pressure boundary that serves to contain radioactive materials. The presence of cracks on the walls can affect the integrity of the RPV. The objective of this study is to analyze fracture mechanics using probabilistic models for the evaluation of RPV reliability. Probabilistic models are used as an analysis approach for random character of input quantities such as the mechanical properties of materials and the physical environment. The random character of input quantities was obtained by sampling technique based on probability density function. The material used in this study was ferritic steel (SA 533). Fracture mechanics analysis was performed by Finite Element Method (FEM) with MSC MARC software. The outputs of MSC MARC, which is of J integral values, were converted into stress intensity factor (SIF) for evaluating the reliability of RPV in 3D model. It is found that the calculation resulted from the SIF by probabilistic method reaches a limit value of fracture toughness earlier than the SIF by deterministic method. The SIF generated by probabilistic method is  $95,8 \text{ MPa m}^{0,5}$ , while the SIF generated by deterministic method is  $91,8 \text{ MPa m}^{0,5}$ , where lower ratio value of (a/c) will produce greater value of SIF.

**Keywords:** Probabilistic fracture mechanics, pressure vessels, 3-D.

Dyah Sulistyani Rahayu, Yuli Purwanto, Zainus Salimin. Vol. 24 No. 1, pp. 61-72

**DESIGN OF DRY CASK STORAGE FOR SERPONG MULTI PURPOSE REACTOR SPENT NUCLEAR FUEL.** The spent nuclear fuel (SNF) from Serpong Multipurpose Reactor, after 100 days storing in the reactor pond, is transferred to water pool interim storage for spent fuel (ISFSF). At present there are a remaining of 245 elements of SNF on the ISFSF, 198 element of which have been re-exported to the USA. The dry-cask storage allows the SNF, which has already been cooled in the ISFSF, to lower its radiation exposure and heat decay at a very low level. Design of the dry cask storage for SNF has been done. Dual purpose of unventilated vertical dry cask was selected among other choices of metal cask, horizontal concrete modules, and modular vaults by taking into account of technical and economical advantages. The designed structure of cask consists of SNF rack canister, inner steel liner, concrete shielding of cask, and outer steel liner. To avoid bimetallic corrosion, the construction material for canister and inner steel liner follows the same material construction of fuel cladding, i.e. the alloy of  $AlMg_2$ . The construction material of outer steel liner is copper to facilitate the heat transfer from the cask to the atmosphere. The total decay heat is transferred from SNF elements bundle to the atmosphere by a series of heat transfer resistance for canister wall, inner steel liner, concrete shielding, and outer steel liner respectively. The rack canister optimum capacity of 34 fuel elements was designed by geometric similarity method based on SNF position arrangement of 7 x 6 triangular pitch array of fuel elements for prohibiting criticality by spontaneous neutron. The SNF elements are stored vertically on the rack canister. The thickness of concrete wall shielding was calculated by trial and error to give air temperature of  $30^\circ\text{C}$  and radiation dose on the wall surface of outer liner of 200 mrem/h. The SNF elements bundles originate from the existing racks of wet storage, i.e. rack canister no 3, 8 and 10. The value of  $I_0$  from the rack no 3, 8 and 10 are 434.307; 446.344; and 442.375 mrem/h respectively. The total heat decay from rack canister no 3, 8 and 10 are 179.640 ; 335.2; and 298.551 watts. The result of the trial and error calculation indicates that the rack canister no 3, 8 and 10 need the thickness of concrete shielding of 0.1912, 0.1954 and 0.1940 m respectively.

**Keywords:** heat and radiation decay, spent fuel, storage cask.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Azwar Manaf, M.Met (Universitas Indonesia), mempunyai kepakaran dalam bidang material.
2. Prof. Dr. Yanni Sudiyani (LIPI), mempunyai kepakaran dalam bidang biologi lingkungan.
3. Prof. Drs. Perdamean Sebayang, M.Sc (LIPI), mempunyai kepakaran dalam bidang Fisika.
4. Dr. R. Muhammad Subekti (PTKRN, BATAN), mempunyai kepakaran dalam bidang sistem reaktor nuklir.
5. Prof. Dr. Ir. Sigit (STTN, BATAN), mempunyai kepakaran dalam bidang kimia.

Sebagai penyunting mitra bestari yang telah menyediakan waktu, pikiran serta saran-saran untuk mereview jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" Volume 24 No.1 (edisi Februari 2018).

Februari, 2018

Redaksi

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "**URANIA**"

# URANIA

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

### PEDOMAN PENULISAN NASKAH

Naskah berupa karya tulis ilmiah hasil penelitian dan pengembangan yang berkaitan dengan daur bahan bakar nuklir yang meliputi : proses, analisis, uji bahan, perekayasaan, pemodelan dan keselamatan. Naskah harus orisinal dan belum pernah diterbitkan. Ketentuan penulisan naskah karya tulis ilmiah adalah:

1. JUDUL, ditulis menggunakan jenis huruf arial 14, *bold* dengan spasi 1,5.
2. NAMA PENULIS, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10, *bold* spasi *exactly* 14.
3. ALAMAT/UNIT KERJA/ALAMAT EMAIL, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 spasi *exactly* 14.
4. ABSTRAK, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris maksimum 200 kata, berisi ringkasan latar belakang, tujuan, pelaksanaan, hasil dan simpulan. Di bawah abstrak dituliskan kata kunci.
5. PENDAHULUAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Pendahuluan memuat latar belakang dan permasalahan, status ilmiah saat ini, cara pendekatan penyelesaian masalah, hipotesis, tujuan, metoda dan hasil yang diharapkan.
6. TEORI, bila diperlukan ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14.
7. METODOLOGI/TATA KERJA, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Metodologi/Tata Kerja ditulis secara terinci yang memuat metoda, ruang lingkup, bahan dan peralatan yang digunakan serta cara kerja.
8. HASIL DAN PEMBAHASAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Hasil dan Pembahasan disusun secara rinci yang memuat data (tabel, gambar), bahasan hasil yang diperoleh dan kaitan dengan konsep dasar atau hipotesis, perbandingan dengan hasil penelitian lain dan implikasi hasil penelitian.
9. SIMPULAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 yang berisi simpulan dari hasil pembahasan.
10. UCAPAN TERIMA KASIH, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14.
11. DAFTAR PUSTAKA, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 ditulis sesuai urutan yang diacu dan menggunakan nomor urut dengan angka Arab. Penulisan daftar pustaka mengacu pada standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Acuan lengkap dapat diunduh di situs <http://www.ieee.org/>. Contoh penulisan daftar pustaka dari berbagai sumber seperti berikut:
  - a. **Buku:** R.E.E. Smallman, *Metalurgi Fisik Modern* (Edisi 4). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1991.
  - b. **Artikel Jurnal:** Sugondo dan A. Chaidir, "Pengaruh temperatur anil terhadap jenis dan ukuran presipitat fase kedua pada paduan Zr-1%Nb-1%Sn-1%Fe," *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol.5, no.1, hal. 21-29, 2009.
  - c. **Makalah Referensi:** H. Suwarno, A.A. Wisnu dan I. Andon, "The X-Ray diffraction analyses on the mechanical alloying of the Mg<sub>2</sub>Ni formation," dipresentasikan pada The International Conference on Solid State Ionics Proceeding, Jakarta, Agustus 2007, Editor: Penerbit, Tahun, halaman.
  - d. **Tesis/Disertasi:** J. Setiawan, "judul tesis/disertasi," Tesis/Disertasi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2010.
  - e. **Dokumen Internet:** S. L. Talleen. (1996, Apr.). The Intranet Architecture. Amdahl Corp., CA. [Online]. Available: <http://www.amdahl.com/intra/>.
12. LAMPIRAN, jika ada.

#### Ketentuan lain:

- Naskah diketik menggunakan pengolah kata *Microsoft Word* dan dicetak pada kertas ukuran A4 dengan *margin* atas, bawah dan kanan masing-masing 2,54 cm sedangkan *margin* kiri 3,17 cm. Jumlah halaman minimal 8 dan maksimal 15 termasuk gambar dan tabel.
- Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris.
- Naskah dikirim langsung ke redaksi melalui sistem OJS ([jurnal.batan.go.id/index.php/urania](http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania)).
- Penerbitan jurnal dilakukan 3 (tiga) kali dalam satu tahun, yakni pada bulan Februari, Juni dan Oktober.
- Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Urania tidak menerima naskah dengan penulis naskah tunggal.
- Menyerahkan **Pernyataan Etika** dan **Penyerahan Perjanjian Hak Cipta** sebelum artikel dapat dipublikasikan.