

p ISSN 0852 – 4777

e ISSN 2528 – 0473

Keputusan Menristek/Ka. BRIN No: 200/M/KPT/2020

Akreditasi berlaku sampai Vol. 28 No. 2 Tahun 2022

# Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 28 No. 1

Februari 2022



*Potensiostat – Uji Korosi Metode Polarisasi*

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL  
PUSAT RISET TEKNOLOGI DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR  
DAN LIMBAH RADIOAKTIF**

Urania	Vol. 28	No. 1	Hal: 1 – 56	Tangerang Selatan Februari 2022	p ISSN: 0852 – 4777 e ISSN: 2528 – 0473
--------	---------	-------	-------------	------------------------------------	--

# Urania

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

p ISSN 0852 – 4777; e ISSN 2528 – 0473  
Keputusan Menristek/Ka. BRIN No: 200/M/KPT/2020  
Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



### Penanggung Jawab

Direktur Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah

### Editor in Chief

Rohmad Sigit Eko Budi Prasetyo, S.T., M.Si (Badan Riset dan Inovasi Nasional)

### Associate Editor

Ir. M. Husna Al Hasa, M.T (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Masrukan, MT (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Aslina Br. Ginting (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Supardjo, M.T (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Sarjono, M.Sc (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Deni Mustika, S.Si., M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Sri Ismarwanti, M.T. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ganisa Kurniati Suryaman, S.T., M. Eng. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Gagad Rahmadi, S.T., M. Sc. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Juan Carlos Sihotang, S.T. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)

### Editorial Board

Prof. Dr. Ir. Budi Setiawan, M.Eng. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Prof. Dr. Ir. Djarot Sulistyو Wisnubroto, M.Eng. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Dede Sutarya (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Ety Mutiara, M.Eng (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Sucipta, M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Ir. Dadong Iskandar, M.Eng. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Ratiko, M.T. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Ir. Aisyah, M.T. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Hendra Adhi Pratama, M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Anis Rohanda, S.T., M.Si. (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Jaka Rachmadetin (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Toto Sudiro (Badan Riset dan Inovasi Nasional)  
Dr. Ir. Sigit, DEA. (Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia)  
Dr. Hishamuddin Husain (Malaysian Nuclear Agency)  
Dr. Mohd Idzat Idris (Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia)  
Dr. Hamdan Akbar Notonegoro, S.Si, M.Si (Universitas Sultan Ageng Tirtayasa)  
Dr. Eng. I Made Wicaksana Ekaputra, M.Eng (Universitas Sanata Dharma)  
Pipit Fitriani, PhD (Institut Teknologi Bandung)

### Penerbit

Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif (PRTDBBNLR)  
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

### Alamat Redaksi

PRTDBBNLR, BRIN  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd.20 15314  
HP. 081110646837  
E-mail: [urania@brin.go.id](mailto:urania@brin.go.id)

## PENGANTAR REDAKSI

Sidang Pembaca Yang Terhormat,

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT dan atas rahmat serta karunia-Nya, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" volume 28 No.1 dapat hadir ke hadapan pembaca.

Topik pertama dalam jurnal ini membahas ilmu bahan dan berkaitan dengan reaktor riset ditulis dengan judul *Effect of Al, Zr and Mo on Corrosion Resistance of  $Al_xCrFeNiMo$  and  $Al_xCrFeNiZr$  ( $x=1, 1.2$  and  $1.4$ ) as Nuclear Fuel Cladding Materials*. Paduan entropi tinggi  $Al_xCrFeNiM$  (with  $x = 1, 1.2$  and  $1.4$ ) disintesis menggunakan teknik metalurgi bubuk dengan proses sinter pada suhu 1000°C. Paduan ini didesain sebagai kelongsong bahan bakar untuk reaktor riset dengan densitas U yang tinggi seperti U-Mo. Makalah berikutnya masih berkaitan dengan ilmu bahan yang ditulis dengan judul *Efek Nitrocarburizing pada Material Low Carbon Steel Terhadap Ketahanan Korosi dan Kekerasan*. Material baja karbon rendah banyak digunakan pada fasilitas di Instalasi Radio Metalurgi (IRM), terutama untuk komponen struktur konveyor, rantai, gerigi dan sebagainya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas baja karbon rendah adalah dengan proses nitrokarburasi. Pada makalah berikutnya menampilkan tulisan dengan judul *Image Enhancement Citra Digital Short Pin PWR Fuel Berisi Pelet  $UO_2$  Alam Pasca Uji Radiografi Sinar-X Menggunakan Program Image*. Pengujian tidak merusak menggunakan radiografi sinar-X digital sangat penting dalam evaluasi unjuk kerja bahan dan bahan bakar nuklir. *Image enhancement* sangat dibutuhkan untuk analisis lanjutan terhadap citra hasil radiografi sinar-X digital yang cenderung memiliki resolusi lebih rendah. *Image enhancement* ini bertujuan untuk memberikan citra yang lebih mudah diinterpretasikan sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan untuk evaluasi unjuk kerja *short pin* PWR.

Topik kedua membahas masalah yang berkaitan dengan ilmu kimia dan reaktor daya yang ditulis dengan judul *Pengaruh Penambahan Larutan  $H_3BO_3$  dan LiOH Terhadap Perilaku Korosi Material Kelongsong Zircaloy-2 Dalam Media Air Bebas Mineral*. Pendingin primer pada reaktor tipe PHWR dikendalikan secara kimia dengan penambahan asam borat dan LiOH untuk mengantisipasi korosi pada kelongsong bahan bakar yang menggunakan material *zircaloy-2* (Zr-2) Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan larutan  $H_3BO_3$  dan LiOH terhadap jenis dan laju korosi material kelongsong bahan bakar Zr-2 dalam media air bebas mineral.

Topik ketiga membahas masalah modeling bahan bakar yang ditulis dengan judul *Neutronic Calculation for PWR MOX Fuel Pin Cells with WIMSD-5B Code*. Program komputer sel kisi reaktor termal WIMSD-5B digunakan di banyak laboratorium untuk penelitian perhitungan reaktor riset dan daya menggunakan pendekatan Wigner-Seitz untuk perhitungan *pin cell*. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan kode WIMSD-5B untuk menghitung faktor perkalian neutron dan koefisien Doppler untuk sel pin bahan bakar MOX. Perhitungan dilakukan menggunakan kode WIMSD-5B yang diperbarui dengan pustaka ENDF-BVIII.0 Makalah berikutnya masih berkaitan dengan modeling yang ditulis dengan judul *Effects of Fuel Density on Reactivity Coefficients and Kinetic Parameters of Pebble Bed Reactor*. Sebagian besar reaktor nuklir berbahan bakar HEU di dunia ditutup atau diubah menjadi reaktor yang memiliki bahan bakar LEU dengan pengayaan  $^{235}U$  di bawah 20%. Untuk maksud tersebut maka dikembangkan bahan bakar LEU densitas tinggi. Perubahan densitas tersebut akan mengubah sifat neutronik inti elmen bakar dan termohidraulik reaktor sehingga mempengaruhi respon transien reaktor. Makalah ini mempelajari pengaruh densitas bahan bakar terhadap koefisien reaktivitas dan parameter kinetik Reaktor Tenaga Eksperimental Indonesia melalui beberapa perhitungan dengan kode MCNP6 yang digabungkan dengan pustaka data nuklir penampang energi kontinu ENDF/B-VII.

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 menyimak.

Februari, 2022  
DEWAN REDAKSI

## DAFTAR ISI

	Halaman
Pengantar Redaksi	i
Daftar Isi	ii
<i>Effect of Al, Zr and Mo on Corrosion Resistance of <math>Al_xCrFeNiMo</math> and <math>Al_xCrFeNiZr</math> (<math>x=1, 1.2</math> and <math>1.4</math>) as Nuclear Fuel Cladding Materials</i>	1 - 10
(Teguh Firmansyah, Bonita Dilasari, Jan Setiawan, Djoko Hadi Prajitno)	
Efek <i>Nitrocarburizing</i> Pada Material <i>Low Carbon Steel</i> Terhadap Ketahanan Korosi dan Kekerasan	11 - 20
(Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Siti Shaleha)	
<i>Image Enhancement</i> Citra Digital <i>Short Pin PWR Fuel</i> Berisi Pelat $UO_2$ Alam Pasca Uji Radiografi Sinar-X Menggunakan Program <i>ImageJ</i>	21 - 28
(Refa Artika, Rohmad Sigit, Maman Kartaman Ajiriyanto, Tri Yulianto)	
Pengaruh Penambahan Larutan $H_3BO_3$ dan $LiOH$ Terhadap Perilaku Korosi Material Kelongsong <i>Zircaloy-2</i> dalam Media Air Bebas Mineral	29 - 36
(Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Anditania Sari Dwi Putri, Ely Nurlaily)	
<i>Neutronic Calculation for PWR MOX Fuel Pin Cells with WIMSD-5B Code</i>	37 - 44
(Santo Paulus Rajagukguk, Syaiful Bakhri, Tukiran Surbakti)	
<i>Effects of Fuel Density on Reactivity Coefficients and Kinetic Parameters of Pebble Bed Reactor</i>	45 - 56
(Suwoto, R. Andika Putra Dwijayanto, Wahid Luthfi, Zuhair)	

## ABSTRAK

Teguh Firmansyah, Bonita Dilasari, Jan Setiawan, Djoko Hadi Prajitno. Vol. 28 No. 1, hal. 1–10

**PENGARUH Al, Zr DAN Mo TERHADAP KETAHANAN KOROSI  $Al_xCrFeNiMo$  DAN  $Al_xCrFeNiZr$  ( $x=1, 1,2$  DAN  $1,4$ ) SEBAGAI MATERIAL KELONGSONG NUKLIR.** Paduan entropi tinggi  $Al_xCrFeNiM$  (with  $x = 1, 1.2$  and  $1.4$ ) disintesis menggunakan teknik metalurgi bubuk dengan proses sinter pada suhu  $1000^\circ C$ . Paduan ini didesain sebagai kelongsong bahan bakar untuk reaktor riset dengan densitas U yang tinggi seperti U-Mo. Salah satu sifat penting kelongsong bahan bakar nuklir adalah ketahanan korosi. Pada studi ini, beberapa sifat dari sampel HEA  $Al_xCrFeNiM$  seperti fasa, struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan korosi dalam larutan 3% berat NaCl pada temperatur kamar diselidiki. Hasil studi menunjukkan fasa sampel HEA  $Al_xCrFeNiM$  adalah FeNi, AlNi, dan Mo. Sampel HEA  $Al_xCrFeNiZr$  lebih kompleks jika dibandingkan dengan  $Al_xCrFeNiMo$ . Struktur mikro dari sampel HEA menunjukkan butiran halus dengan beberapa mikropori karena pemadatan yang tidak sempurna selama proses sintering. Nilai kekerasan  $Al_xCrFeNiMo$  cenderung turun seiring dengan peningkatan nilai x. Berbeda dengan  $Al_xCrFeNiZr$  nilai kekerasan meningkat seiring dengan peningkatan nilai x. Nilai kekerasan terendah diperoleh sampel  $Al_{1,4}CrFeNiMo$  sebesar 262,2 HV, dan nilai kekerasan tertinggi pada  $Al_{1,4}CrFeNiZr$  dengan nilai 756,7 HV. Laju korosi sampel  $Al_xCrFeNiMo$  tidak kecenderungan tertentu seiring dengan peningkatan nilai x, berbeda dengan  $Al_xCrFeNiZr$  yang menunjukkan penurunan laju korosi seiring dengan peningkatan nilai x. Nilai terendah untuk semua sampel HEA adalah 0,20 mmpy pada sampel  $Al_{1,4}CrFeNiZr$ . Hasil kekerasan dan korosi menunjukkan bahwa unsur Zr yang dikombinasikan dengan unsur Al tidak hanya mempengaruhi kekerasannya tetapi juga ketahanan korosinya.

**Kata kunci:** Kelongsong, paduan entropi tinggi, korosi

Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Siti Shaleha. Vol. 28 No. 1, hal. 11–20

**EFEK NITROCARBURIZING PADA MATERIAL LOW CARBON STEEL TERHADAP KETAHANAN KOROSI DAN KEKERASAN.** Penggunaan baja saat ini mengalami pertumbuhan yang cukup pesat. Material baja karbon rendah banyak digunakan pada fasilitas di Instalasi Radiometalurgi, BATAN, terutama untuk komponen struktur konveyor, rantai, gerigi dan sebagainya. Penggunaannya yang semakin masif sehingga berbagai macam perkembangan pada material baja dilakukan. Salah satunya adalah dengan meningkatkan kualitas baja agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas baja adalah dengan proses nitrokarburisasi. Penelitian ini berfokus pada pengaruh proses *nitrocarburizing* terhadap laju korosi. Proses *nitrocarburizing* dilakukan pada beberapa sampel dengan temperatur yang berbeda dan gas yang sama. Peningkatan temperatur pada proses *nitrocarburizing* menghasilkan permukaan spesimen yang lebih keras. Peningkatan kekerasan diperoleh berdasarkan perbedaan temperatur yang meningkat dari 192 HV untuk sampel sebelum *dinitrocarburizing* menjadi 793 HV untuk sampel *nitrocarburizing*  $450^\circ C$ . Selain itu ketahanan korosi meningkat dengan meningkatnya temperatur *nitrocarburizing*. Proses *nitrocarburizing* menyebabkan difusi atom-atom C dan N sehingga membentuk *compound layer*, *diffusion layer*, dan *transition layer* yang terdiri dari lapisan  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}N$ ,  $\gamma'\text{-Fe}_4N$ ,  $Fe_2(N, C)_{1-2}$  menjadikan lapisan permukaan material menjadi keras dan resistan terhadap korosi.

**Kata Kunci:** *Nitrocarburizing*, korosi, kekerasan, *low carbon steel*.

Refa Artika, Rohmad Sigit, Maman Kartaman Ajiriyanto, Tri Yulianto. Vol. 28 No. 1, hal. 21–28

**IMAGE ENHANCEMENT CITRA DIGITAL SHORT PIN PWR FUEL BERISI PELET  $UO_2$  ALAM PASCA UJI RADIOGRAFI SINAR-X MENGGUNAKAN PROGRAM IMAGEJ.** Pengujian tak merusak menggunakan radiografi sinar-X digital merupakan salah satu rangkaian penting dalam evaluasi unjuk kerja bahan dan bahan bakar nuklir. *Image enhancement* atau peningkatan kualitas citra sangat dibutuhkan untuk analisis lanjutan terhadap citra hasil radiografi sinar-X digital yang cenderung memiliki resolusi lebih rendah. Proses *image enhancement* pada citra radiografi sinar-X digital bertujuan untuk memberikan citra yang lebih mudah diinterpretasi sehingga data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi unjuk kerja bahan bakar setelah proses iradiasi. Pengujian menggunakan radiografi sinar-X digital dilakukan pada *short pin PWR fuel* berisi pelet  $UO_2$  dilakukan pada jarak 40 cm terhadap detektor dengan parameter tegangan dan arus sebesar 120 kV dan 1000  $\mu A$ . Selanjutnya *image enhancement* dilakukan terhadap citra digital menggunakan ImageJ meliputi proses penyesuaian terhadap kontras citra, *edge enhancement*, pengolahan histogram *gray value*, dan penyesuaian warna citra. Data uji disesuaikan dengan informasi yang harus dicapai dari pengujian radiografi sinar-X digital *short pin PWR fuel* berisi pelet  $UO_2$ . Informasi ini dapat berupa data dimensi, batas antar pelet, dan histogram yang menggambarkan adanya perbedaan material atau perbedaan ketebalan. Informasi ini selanjutnya digunakan sebagai input data dalam pemetaan konsep *image enhancement short pin PWR fuel* berisi pelet  $UO_2$ . Output citra yang dihasilkan dari proses *image enhancement* memiliki resolusi dan kualitas citra yang lebih baik untuk memudahkan dalam proses analisis dan interpretasi serta dapat dijadikan metode baku dalam melakukan *image enhancement* citra radiografi sinar-X digital *short pin PWR fuel* berisi pelet  $UO_2$  pasca iradiasi.

**Kata Kunci :** *Image enhancement*, radiografi sinar-X digital, short pin PWR, *ImageJ*, interpretasi.

Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Anditania Sari Dwi Putri. Vol. Vol. 28 No. 1, hal. 29–36

**PENGARUH PENAMBAHAN LARUTAN  $H_3BO_3$  DAN LiOH TERHADAP PERILAKU KOROSI MATERIAL KELONGSONG ZIRCALOY-2 DALAM MEDIA AIR BEBAS MINERAL.** Pendingin primer pada reaktor tipe PHWR dikendalikan secara kimia dengan penambahan asam borat dan LiOH untuk mengantisipasi korosi pada kelongsong bahan bakar yang menggunakan material *zircaloy-2* (Zr-2.) Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan larutan  $H_3BO_3$  dan LiOH terhadap jenis dan laju korosi material kelongsong bahan bakar Zr-2 dalam media air bebas mineral. Penambahan bahan  $H_3BO_3$  dan LiOH pada pendingin reaktor PHWR adalah untuk pengendalian secara kimia. Uji korosi dilakukan pada temperatur kamar untuk menghilangkan pengaruh temperatur tinggi dan tekanan pada proses elektrokimia. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan laju korosi material Zr-2 di dalam media air bebas mineral dengan penambahan  $H_3BO_3$  dan LiOH dengan variasi konsentrasi. Hasil pengamatan, laju korosi Zr-2 menggunakan metode Tafel pada dalam media air bebas mineral dengan penambahan  $H_3BO_3$  pada konsentrasi 10 ppm, 100 ppm, 500 ppm, 1000 ppm dan 2000 ppm diperoleh laju korosi masing masing  $17,29 \times 10^{-3}$  mpy,  $18,51 \times 10^{-3}$  mpy,  $20,82 \times 10^{-3}$  mpy,  $22,71 \times 10^{-3}$  mpy dan  $23,29 \times 10^{-3}$  mpy. Setelah air bebas mineral, kemudian ditambahkan  $H_3BO_3$  sebesar 2000 ppm dan LiOH dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan  $H_3BO_3$  dan LiOH diperoleh laju korosi semakin menurun secara berurutan yaitu  $22,71 \times 10^{-3}$  mpy,  $21,88 \times 10^{-3}$  mpy,  $21,41 \times 10^{-3}$  mpy,  $21,39 \times 10^{-3}$  mpy, dan penambahan LiOH 5 ppm menyebabkan laju korosi meningkat menjadi  $21,45 \times 10^{-3}$  mpy. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan LiOH dan  $H_3BO_3$  berpengaruh terhadap laju korosi material *zircaloy-2* dalam media air bebas mineral. Semakin tinggi konsentrasi  $H_3BO_3$  yang ditambahkan menyebabkan laju korosi semakin meningkat, sedangkan dengan penambahan LiOH menyebabkan laju korosi semakin menurun hingga konsentrasi 4 ppm Namun dengan penambahan LiOH pada konsentrasi 5 ppm menyebabkan laju korosi meningkat sehingga dapat disimpulkan bahwa konsentrasi optimum penambahan LiOH adalah 4 ppm.

**Kata kunci:** *zircaloy-2*, laju korosi,  $H_3BO_3$ , LiOH, kelongsong.

Santo Paulus Rajagukguk, Syaiful Bakhri, Tukiran Surbakti. Vol. 28 No. 1, hal. 37–44

**PERHITUNGAN NEUTRONIK PIN CELL BAHAN BAKAR MOX PWR DENGAN PROGRAM WIMSD-5B.** Program komputer sel kisi reaktor termal WIMSD-5B digunakan di banyak laboratorium untuk penelitian perhitungan reaktor riset dan reaktor daya. Program menggunakan pendekatan Wigner-Seitz untuk perhitungan pin sel. Aproksimasi telah diterapkan secara luas pada pin sel  $UO_2$  telah ditunjukkan hasil yang baik dalam penelitian sebelumnya namun dapat menghasilkan hal yang salah jika digunakan untuk pin sel pada bahan bakar MOX. Makalah ini menyelidiki penggunaan kode WIMSD-5B untuk menghitung faktor perkalian neutron dan koefisien Doppler untuk sel pin bahan bakar MOX. Perhitungan dilakukan menggunakan kode WIMSD-5B yang diperbarui dengan pustaka ENDF-BVIII.0. Kondisi batas hamburan luar digunakan untuk mengatasi efek dari pendekatan Wigner-Seitz yang menjadi kekurangan bahan bakar MOX. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar hasil yang diperoleh dengan menggunakan ENDF-BVIII.0 lebih baik dibandingkan dengan ENDF-BVII.1 dan hal ini sudah sesuai dengan harapan. Perbedaan nilai  $k_{inf}$  maksimum yang diperoleh dari pustaka ini terjadi pada fuel yang mempunyai pengkayaan terbesar. Pada sisi lain, penambahan batas hamburan luar meningkatkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan ENDF-BVIII.0 menyebabkan sedikit perbaikan untuk pustaka lain. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan pustaka yang sesuai dan penambahan batas luar hamburan, pendekatan Wigner Seitz untuk pin sel pin MOX di WIMSD-5B dapat menghasilkan yang cukup akurat.

**Kata kunci:** Aproksimasi Wigner-Seitz, WIMS-D5, bahan bakar MOX, reaktivitas Doppler.

Suwoto, R. Andika Putra Dwijayanto, Wahid Luthfi, Zuhair. Vol. 28 No. 1, hal. 44–56

**PENGARUH DENSITAS BAHAN BAKAR TERHADAP KOEFISIEN REAKTIVITAS DAN PARAMETER KINETIKA REAKTOR PEBBLE BED.** Beberapa dekade yang lalu sejumlah besar reaktor nuklir didesain untuk menggunakan HEU sebagai bahan bakar. Namun penggunaan HEU sedang tidak dianjurkan karena dapat digunakan sebagai bahan peledak nuklir yang membuat potensi proliferasinya. Sebagian besar reaktor nuklir berbahan bakar HEU di dunia ditutup atau diubah menjadi jenis lain yang memiliki bahan bakar LEU dengan pengayaan  $^{235}U$  di bawah 20%. Untuk memperpanjang masa pakai, bahan bakar LEU dengan densitas tinggi dikembangkan. Perubahan densitas bahan bakar dari rendah ke tinggi juga akan mengubah neutronika dan termohidraulika teras reaktor, sehingga mempengaruhi respon transien reaktor. Makalah ini mempelajari pengaruh densitas bahan bakar terhadap koefisien reaktivitas dan parameter kinetik reaktor pebble bed melalui beberapa perhitungan dengan program MCNP6 yang dikombinasikan dengan pustaka data nuklir tampang lintang energi kontinu ENDF/B-VII.1. Hasil perhitungan secara keseluruhan menunjukkan bahwa koefisien temperatur Doppler (DTC) meningkat dengan meningkatnya densitas bahan bakar, tetapi koefisien temperatur moderator (MTC) menurun karena pengerasan spektrum neutron. Parameter kinetik seperti fraksi neutron kasip efektif ( $\beta_{eff}$ ), waktu hidup neutron serempak ( $l$ ) dan waktu generasi neutron ( $\Lambda$ ) yang berkurang secara signifikan dengan meningkatnya densitas bahan bakar akan sangat mempengaruhi pengendalian dan keselamatan reaktor. Hasil dari pekerjaan ini menyimpulkan bahwa pemilihan densitas bahan bakar 9-15 g/cm<sup>3</sup> harus dipertimbangkan dengan hati-hati mengingat pengaruhnya terhadap pengendalian reaktor.

**Kata kunci:** Densitas bahan bakar, koefisien reaktivitas, parameter kinetika, MCNP6, ENDF/B-VII.1.

## ABSTRACT

Tegeh Firmansyah, Bonita Dilasari, Jan Setiawan, Djoko Hadi Prajitno. Vol. 28 No. 1, pp. 1–10

**EFFECT OF Al, Zr AND Mo ON CORROSION RESISTANCE OF  $Al_xCrFeNiMo$  AND  $Al_xCrFeNiZr$  ( $x=1, 1.2$  AND  $1.4$ ) AS FUEL CLADDING MATERIALS.** The high entropy alloy of  $Al_xCrFeNiM$  (with  $x = 1, 1.2$  and  $1.4$ ;  $M = Mo$  and  $Zr$ ) was successfully synthesized using powder metallurgy technique with sintering process at  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  in an inert atmosphere. These alloys were designated as fuel cladding for research reactor with high U-density fuel such as U-Mo. One of the critical in-service properties of nuclear fuel cladding is its corrosion behavior. In this study, some properties of the HEA of  $Al_xCrFeNiM$  such as the phases, microstructures, hardness, and corrosion resistance in 3 wt.% NaCl solution at room temperature were investigated. The results show that the phases in the HEA of  $Al_xCrFeNiMo$  are FeNi, AlNi and Mo. The HEA of  $Al_xCrFeNiZr$  has more complex phases compared to the  $Al_xCrFeNiMo$ . The microstructure of HEA samples show fine grains with some micropores that imperfect the solidification during the sintering process. The hardness value of the HEA of  $Al_xCrFeNiMo$  has a trend of decreasing as the  $x$  value increases. The opposite trend occurs to the HEA of  $Al_xCrFeNiZr$  that the hardness value increases with increasing  $x$  value. The lowest hardness value is  $Al_{1.4}CrFeNiMo$  at  $262.2\text{ HV}$ , and the highest hardness value of  $Al_{1.4}CrFeNiZr$  is at  $756.7\text{ HV}$ . The corrosion rate of the  $Al_xCrFeNiMo$  does not show a specific trend with increasing  $x$  value; however, the  $Al_xCrFeNiZr$  shows decreasing value with increasing  $x$  value. The lowest value for the all-HEA samples is  $0.20\text{ mmpy}$  for the  $Al_{1.4}CrFeNiZr$ . The results of hardness and corrosion tests show that the Zr element combined with the Al element affects not only its hardness but also its corrosion resistance.

**Keywords:** Fuel cladding, high entropy alloy, corrosion.

Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Siti Shaleha. Vol. 28 No. 1, pp. 11–20

**EFFECT OF NITROCARBURIZING OF LOW CARBON STEEL ON CORROSION RESISTANCE AND HARDNESS.** The use of steel is currently experiencing a fairly rapid growth. Low carbon steel is widely used in radiometallurgical installation, especially for structural components of conveyors, chains, gears and so on. Its use is increasingly massive so that various kinds of developments in steel materials have been carried out. One of them is to improve the quality of steel, so it can be used for a long time. One method that can be used to improve the quality of steel is nitrocarburizing process. This research focused on the effect of the nitrocarburizing process on corrosion rate. The nitrocarburizing process was carried out on several samples with different temperatures but the same gas. Increasing the temperature in the nitrocarburizing process resulted in harder specimen surface. The increase in hardness was obtained based on the temperature difference which increased from  $192\text{ HV}$  for the sample before dinitrocarburizing to  $793\text{ HV}$  for the  $450\text{ }^\circ\text{C}$  nitrocarburizing sample. In addition, corrosion resistance increases with increasing nitrocarburizing temperature. The nitrocarburizing process causes the diffusion of C and N atoms to form a compound layer, diffusion layer, and transition layer consisting of a layer of  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ ,  $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ ,  $\text{Fe}_2(\text{N}, \text{C})_{1-z}$ , making the surface layer of the material become hard and resistant to corrosion.

**Keywords:** Nitrocarburizing, corrosion, hardness, low carbon steel.

Refa Artika, Rohmad Sigit, Maman Kartaman Ajiriyanto, Tri Yulianto. Vol. 28 No. 1, pp. 21–28

**IMAGE ENHANCEMENT ON SHORT PWR FUEL PIN CONTAINING NATURAL  $UO_2$  POST X-RAY RADIOGRAPHIC TEST USING IMAGEJ PROGRAM.** Non-destructive test using digital X-ray radiography is one of the important series in performance evaluation of nuclear materials and fuels. Image enhancement or image quality improvement is needed for further analysis of digital X-ray radiography images which tend to have lower resolution. Image enhancement process on digital x-ray radiographic images needs to be carried out to provide images that are easier to interpret so that the resulting data can be used as a basis for evaluating performance after irradiation. The tests were performed at a distance of  $40\text{ cm}$  against the detector at voltage and current of  $120\text{ kV}$  and  $1000\text{ }\mu\text{A}$ . The image enhancement was later performed using ImageJ, which involves the process of aligning the image contrast, edge enhancement, processing histogram value, and adjusting image colors. The resulted data were customized according to the information to be obtained from the digital x-ray radiography test such as dimensional data, boundaries between pellet, and histogram illustrating material or thickness differences. Further, this information can be used as data input in mapping the concept of enhancement of image of short pin PWR fuel contains  $UO_2$  pellets. Output image produced from the enhancement process not only has a better resolution and quality to facilitate the process of analysis and interpretation but also can be used as a standard method to perform image enhancement of digital x-ray radiography images of short pin PWR fuel contains  $UO_2$  pellets after irradiation.

**Keywords :** Image enhancement, digital x-ray radiography, short pin PWR, ImageJ, interpretation.

Fajar Al Afghani, Erwan Hermawan, Anditania Sari Dwi Putri, Ely Nurlaily. Vol. 28 No. 1, pp. 29–36

**EFFECT OF  $H_3BO_3$  AND  $LiOH$  ON CORROSION BEHAVIOR OF ZIRCALOY-2 CLADDING IN DEMINERALIZED WATER.** The primary coolant of the PHWR type reactor is controlled chemically by the addition of boric acid and  $LiOH$  to anticipate corrosion of the cladding material of Zr-2. This study aimed to analyze the effect of  $H_3BO_3$  and  $LiOH$  solutions on the type and rate of of zircaloy-2 (Zr-2) corrosion in demineralized water. The corrosion test was carried out at room temperature to eliminate the influence of high temperature and pressure on the electrochemical process. In this study, the corrosion rate of Zr-2 was observed in a demineralized water solution with varying concentrations of  $H_3BO_3$  and  $LiOH$ . The observation was done using Tafel method, where the addition of  $H_3BO_3$  at concentrations of 10 ppm, 100 ppm, 500 ppm, 1000 ppm and 2000 ppm resulted in corrosion rate of  $17.29 \times 10^{-3}$  mpy,  $18.51 \times 10^{-3}$  mpy,  $20.82 \times 10^{-3}$  mpy,  $22.71 \times 10^{-3}$  mpy and  $23.29 \times 10^{-3}$  mpy, respectively. The addition of 2000 ppm of  $H_3BO_3$  and  $LiOH$  with varied concentrations of 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm results in decreasing of corrosion rate sequentially, namely  $22.71 \times 10^{-3}$  mpy,  $21.88 \times 10^{-3}$  mpy,  $21.41 \times 10^{-3}$  mpy,  $21.39 \times 10^{-3}$  mpy, whereas the addition of 5 ppm  $LiOH$  causes the corrosion rate to increase to  $21.45 \times 10^{-3}$  mpy. It can be concluded that the addition of  $LiOH$  and  $H_3BO_3$  affects the corrosion rate of zircaloy-2 in demineralized water. Higher concentration of  $H_3BO_3$  causes the corrosion rate to increase; meanwhile, the addition of  $LiOH$  causes the corrosion rate to decrease to a concentration of 4 ppm. However, the addition of  $LiOH$  at a concentration of 5 ppm causes the corrosion rate to increase.

**Keywords:** zircaloy-2, corrosion rate,  $H_3BO_3$ ,  $LiOH$ , cladding.

Santo Paulus Rajagukguk, Syaiful Bakhri, Tukiran Surbakti. Vol. 28 No. 1, pp. 37–44

**NEUTRONIC CALCULATION FOR PWR MOX FUEL PIN CELLS WITH WIMSD-5B CODE.** The WIMSD-5B thermal reactor lattice cell code is used in many laboratories for research reactor calculations and power reactors. The program uses the Wigner-Seitz approximation for cell pin calculations. The approximation has been widely applied to the pin of  $UO_2$  cells and has shown good results in previous studies but can produce incorrect results when used for pin cells in MOX fuels. This paper investigates the use of the WIMSD-5B code to calculate the neutron multiplication factor and depletion for MOX fuel pin cells. Calculations were performed using the WIMSD-5B code updated with the ENDF-BVIII.0 library. The outer scattering boundary condition was used to overcome the effect of the Wigner-Seitz approach on the lack of MOX fuel. Results of this study indicates that most of the results obtained using ENDF-BVIII.0 are better than ENDF-BVII.1, and this is in line with expectations. The difference in the maximum  $k_{inf}$  value obtained from this library occurs in the fuel that has the greatest enrichment. On the other hand, the addition of the outer scattering limit improves the results obtained using ENDF-BVIII.0, causing a slight improvement for other libraries. This shows that by using appropriate libraries and the addition of the scattering outer limit, the Wigner Seitz approximation for the MOX pin cell pins in WIMS-D5 can yield quite accurate results.

**Keywords:** Wigner-Seitz approximation, WIMS-D5 code, MOX fuel, Doppler reactivity.

Suwoto, R. Andika Putra Dwijayanto, Wahid Luthfi, Zuhair. Vol. 28 No. 1, pp. 45–56

**EFFECTS OF FUEL DENSITY ON REACTIVITY COEFFICIENTS AND KINETIC PARAMETERS OF PEBBLE BED REACTOR.** Few decades ago a large number of nuclear reactors were designed to use HEU as the fuel. But the use of HEU is being discouraged since it can be used as a nuclear explosive material which makes its proliferation potential. Most of the HEU-fueled nuclear reactors in the world are either closed or converted into other types that have LEU fuel with  $^{235}U$  enrichment below 20%. To extend lifetime, LEU fuel with high density is developed. The change in fuel density from low to high will also change core neutronics and thermal-hydraulics of the reactor, and as a result, it affects the transient response of the reactor. This paper studies the effects of fuel density on reactivity coefficients and kinetic parameters of pebble bed reactor through several calculations with MCNP6 code combine with ENDF/B-VII.1 continuous energy cross-section nuclear data library. The overall calculation results show that the Doppler temperature coefficient (DTC) increases with increasing fuel density, but the moderator temperature coefficient (MTC) decreases due to hardening of neutron spectrum. Kinetic parameters such as effective delayed neutron fraction ( $\beta_{eff}$ ), prompt neutron lifetime ( $\ell$ ) and neutron generation time ( $\Lambda$ ) which significantly reduced with increasing fuel density will strongly affect the reactor control and safety. The results of this work conclude that the selection of  $9\text{--}15 \text{ g/cm}^3$  fuel density should be considered carefully given that its effect on reactor controllability.

**Keywords:** Fuel density, reactivity coefficients, kinetic parameters, MCNP6, ENDF/B-VII.1.



# Urania

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

p ISSN 0852 – 4777; e ISSN 2528 – 0473  
Keputusan Menristek/Ka. BRIN No: 200/M/KPT/2020  
Akreditasi berlaku sampai Vol. 28 No. 2 Tahun 2022  
Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



### 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, perancangan, modeling dan kajian. Naskah harus orisinal dan belum pernah diterbitkan. Ketentuan penulisan naskah karya tulis ilmiah adalah sebagai berikut:

1. JUDUL, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 14, *bold* dengan spasi 1
2. NAMA PENULIS, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10, *bold* dengan spasi 1.
3. ALAMAT/UNIT KERJA/ALAMAT EMAIL, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1.
4. ABSTRAK, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1 dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris maksimum 250 kata, berisi ringkasan latar belakang, tujuan, pelaksanaan, hasil dan simpulan. Di bawah abstrak dituliskan minimal 3 kata kunci dan maksimal 5 kata kunci.
5. PENDAHULUAN, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1. 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 1.
7. METODOLOGI/ TATA KERJA, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1. Metodologi/Tata Kerja ditulis secara terinci yang memuat metoda, ruang lingkup, bahan dan peralatan yang digunakanserta cara kerja.
8. HASIL DAN PEMBAHASAN, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1. 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 1 yang berisi simpulan dari hasil pembahasan.
10. UCAPAN TERIMA KASIH, bila ada. ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1.
11. KONTRIBUTOR PENULIS, bila diperlukan. Ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1.
12. DAFTAR PUSTAKA, ditulis menggunakan jenis huruf Arial 10 dengan spasi 1 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/>. Gunakan aplikasi *reference manager* untuk proses sitasi dan penyusunan daftar Pustaka dalam artikel. 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 dffraction analyses on the mechanical alloying of the Mg2Ni formation," dipresentasikan pada The International Conference on Solid State Ionec 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/infra/>.
13. LAMPIRAN, jika ada.

#### Ketentuan lain:

- Naskah diketik menggunakan pengolah kata (seperti *Microsoft Word*) sesuai dengan *template* naskah dengan jumlah halaman maksimal sebanyak 15 sudah termasuk gambar dan tabel.
- Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris.
- Naskah dikirim secara daring melalui beranda jurnal ([jurnal.batan.go.id/index.php/urania](http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania)) paling lambat satu bulan sebelum penerbitan.
- Penerbitan jurnal dilakukan 3 (tiga) kali dalam satu tahun, yakni pada bulan Februari, Juni dan Oktober.
- Urania : Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir tidak menerima naskah dengan penulis naskah tunggal.
- Menyerahkan **Pernyataan Etika** dan **Penyerahan Perjanjian Hak Cipta** sebelum artikel dapat dipublikasikan.