

PEMERIKSAAN PASCA IRADIASI ELEMEN BAKAR TRIGA MARK II BANDUNG DI DALAM HOT-CELL

J.B. Hersubeno,
Sumantono Kasan, Moch.Faruq, Karsono L.

Pusat Penelitian Teknik Nuklir

ABSTRAK

PEMERIKSAAN PASCA IRADIASI ELEMEN BAKAR TRIGA MARK II BANDUNG DI DALAM HOT-CELL. Pemeriksaan pasca iradiasi terhadap elemen bakar reaktor adalah suatu hal yang penting sebagai salah satu parameter keselamatan reaktor. Telah dilakukan pemeriksaan pada elemen bakar TRIGA MARK II Bandung, terhadap elemen bakar bekas pakai dan yang sedang digunakan. Pada elemen bakar bekas pakai dilakukan pengamatan visual, analisis elemen radiometrik dari cuplikan permukaan. Terhadap elemen bakar yang sedang digunakan dilakukan analisis radiometrik secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis yang sama juga dilakukan terhadap cuplikan permukaan sumbat aluminium. Hasil analisis radiometrik dari unsur permukaan elemen bakar yang berwarna "reddish brown" mengandung unsur penyusun kelongsong. Demikian juga pada permukaan NSF. Tidak diketemukan radionuklida yang berasal dari produk fisi. Tampak gejala korosi pada permukaan elemen bakar baik yang bekas pakai maupun yang sedang digunakan. Karena itu perlu dilakukan pengamatan terhadap mekanisme dan laju korosi kelongsong elemen bakar.

ABSTRACT

POST IRRADIATION EXAMINATION OF BANDUNG TRIGA MARK II FUEL ELEMENTS IN HOT CELL. Post irradiation examination of reactor fuel elements is a post of the reactor safety precaution. Examinations have been made to Bandung Triga Mark II reactor fuel elements, which were already discharged as well as still being used. For the spent fuel elements, examinations done were visual and radiometric element analysis of the samples taken from the surface of the cladding material. For fuel elements which were steel being used the sample examinations were qualitative and quantitative radiometric analysis. Samples were also taken from the surface of the aluminium dummies. Radiometric analysis of the reddish brown sample revealed the composite elements of the cladding. The same result was also obtained for NSF. No fission product radionuclide was found. Corrosion phenomena were found for both kind of samples. Therefore mechanism and rate of corrosion of the cladding have to be studied further.

PENDAHULUAN

Reaktor Triga Mark II di PPTN mulai beroperasi untuk pertama kalinya pada bulan Oktober 1964. Pada waktu permulaan operasinya, reaktor mempunyai daya maksimum 250 kw, kemudian pada tahun 1971 teras reaktor dibongkar dan diganti dengan teras yang lebih besar sehingga mempunyai daya maksimum 1000 kw. dengan demikian Reaktor Triga Mark II telah memasuki usianya yang ke dua puluh, suatu kurun waktu yang cukup panjang. Jumlah jam operasi pertahun sejak Pelita I terus

meningkat, hal ini mendorong perlu diadakannya pemeriksaan pada beberapa elemen bakar Triga baik yang lama maupun yang baru.

Pada umumnya pemeriksaan Pasca Iradiasi atau yang lebih dikenal dengan PIE (Post Irradiation Examination), meliputi inspeksi visual, uji tak merusak, analisis gas hasil fisi, analisis burn-up, radio kimia, serta jam metalografis. Untuk tujuan tersebut, masalah penyiapan cuplikan, yang juga termasuk disini

cara pengambilannya memegang peranan yang sangat penting dalam menunjang keberhasilan pemeriksaan. Hal ini sangat berperan mengingat cuplikan berada dalam radiasi yang sangat tinggi.

Pada pemeriksaan yang dilakukan di PPTN, karena terbatasnya fasilitas operasi untuk radioaktivitas tinggi, maka jenis pemeriksaan dibatasi hanya pada inspeksi visual dengan mengambil gambar-gambar elemen bakar yang aktif dan pemeriksaan "Crud" secara radiometris dengan Gamma-Spektrometer dan analisis elementalnya dengan menggunakan Energy Dispersive-X-rays Spectrometer (EDS).

Data yang dihasilkan pada pemeriksaan ini, dapat dipergunakan untuk mengevaluasi keadaan elemen bakar terutama dari pengaruh proses korosi, yang berarti pula menyangkut masalah keselamatan operasi reaktor Triga Mark II di PPTN.

Pemeriksaan proses Iradiasi juga dilakukan terhadap NSF yang berada didalam teras reaktor.

TATA KERJA

Dalam bab ini diuraikan mengenai proses pengambilan cuplikan dari elemen bakar reaktor Triga Mark II, baik yang sudah berada diluar maupun yang berada di dalam reaktor, juga pengambilan cuplikan yang berasal dari NSF yang berada didalam teras reaktor.

Pengambilan cuplikan dan pemeriksaan visual elemen bakar TRIGA MARK II.

Pemeriksaan visual.

Operasi pelaksanaan inspeksi elemen bakar ini, mengikuti petunjuk pelaksanaan (JUKLAK) inspeksi elemen bakar yang ada di PPTN yang telah disetujui oleh SRC-PPTN.

Seluruh pelaksanaan inspeksi dilakukan di fasilitas "Hot cell" di lingkungan Laboratorium Produksi Isotop.

Pemeriksaan visual terutama ditujukan untuk elemen bakar yang telah beroperasi antara tahun 1971 sampai tahun 1982 (elemen bakar yang berada di "Bulk shielding").

Hasil pemeriksaan visual direkam dalam bentuk film/foto dengan menggunakan film FUJI Color HR-100 (High Resolution Film).

Pengambilan cuplikan dari permukaan elemen bakar untuk analisis Radiometrik dan Unsur.

Elemen bakar yang diperiksa meliputi elemen bakar yang telah beroperasi antara 1971 sampai

dengan tahun 1982 (dari "bulk Shielding"), dan elemen bakar yang masih dan sedang digunakan di teras reaktor TRIGA MARK II PPTN-BATAN yang telah digunakan sejak tahun 1977/1978, 1980/1981 dan tahun 1983. Posisi elemen bakar yang dicuplik ialah lingkaran C, D, E dan F.

Untuk melengkapi data, pengambilan dilakukan juga terhadap NSF yang dipasang sejak bulan September 1983 dan pengambilan cuplikan dilakukan untuk posisi NSF di lingkaran F dan G.

Cara pengambilan cuplikan yang terdapat di permukaan NSF dan elemen bakar dilakukan dengan cara menempelkan cello tape dua muka pada permukaannya. Sedangkan untuk elemen bakar yang ada di teras-teras reaktor, pengambilan cuplikan dilakukan setelah reaktor tidak beroperasi selama 2 - 3 hari. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan terhadap laju dosis radiasi pada permukaan elemen bakar ataupun NSF.

Pengukuran temperatur elemen bakar.

1. Elemen bakar di luar reaktor.

Elemen bakar yang diukur adalah elemen bakar lama. Pengukuran dilakukan di dalam hot cell dengan menggunakan termokopel dari Ellab Instrument yang dapat mengukur 16-46°C dengan kepekaan 0,05°C. Disini pengukuran dibatasi pada pengukuran temperatur kelongsong elemen bakar saja.

2. Elemen bakar di dalam reaktor.

Pengukuran dilakukan baik untuk mengetahui temperatur di dalam bahan bakar maupun temperatur kelongsong elemen bakar.

Dalam hal temperatur bahan bakar, yang diukur adalah temperatur maksimum diatas temperatur ruangan yang diukur dengan menggunakan IFE yang telah dikalibrasikan di LFN dan dibaca dengan KETHLEY. Temperatur dicatat sebagai fungsi daya.

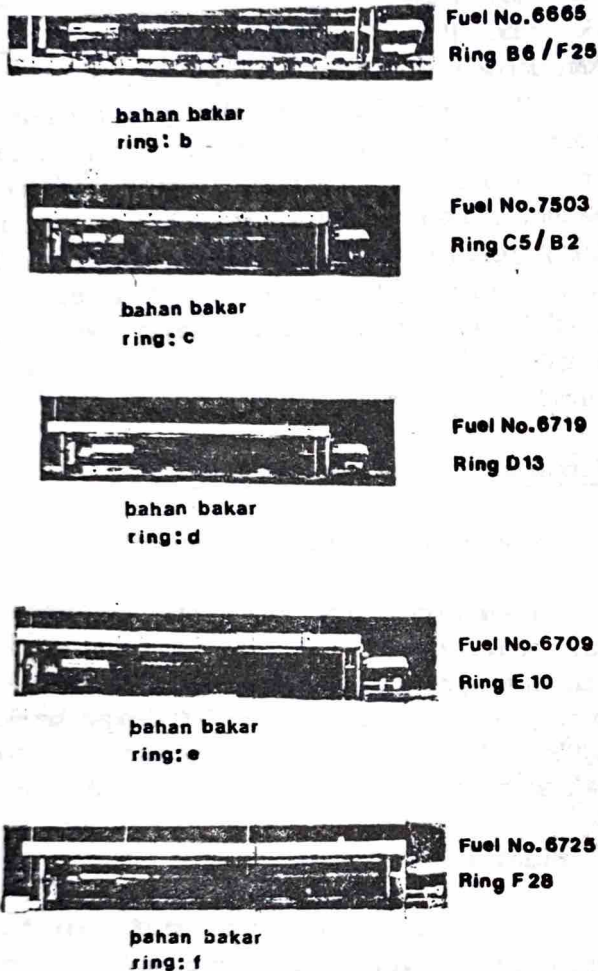
Temperatur elemen bakar diukur dengan menggunakan termokopel dan pengukuran dilakukan satu jam setelah reaktor "Shut down" pada operasi 700 kw untuk lingkaran B-3, C-5 dan D-7.

HASIL

1. Pemeriksaan Visual.

Dari pengamatan visual pada daerah aktif (active length) dari elemen bakar, terlihat jelas adanya warna "redish brown" dan berbentuk gelang-gelang (gb.1). Warna lain juga teramati pada bagian atas (tempat kaitan pancing), sedangkan dibagian bawah dari elemen bakar, tidak

teramati adanya perubahan warna kelongsong.



Gambar 1 : Foto elemen bakar dari tiap posisi ring

Karena terbatasnya fasilitas, maka belum dapat dihasilkan foto-foto yang baik. Keadaan lebih dipersulit lagi dengan sifat obyek foto yang memancarkan sinar radiasi tinggi.

2. Pemeriksaan cuplikan dari permukaan elemen bakar.

Cuplikan dianalisis secara radiometrik dengan menggunakan Spektrometer gamma dari TRACOR NORIHERN TN-1710 (4000 saluran) dengan Detektor Germanium Intrinsik, sedangkan untuk analisis usurnya dilakukan dengan menggunakan

spektrometer energi sinar X yang terdispersi (EDS) dari EDAX. Data analisis dapat dilihat pada tabel I.

Dari data tanggal keluar dari reaktor, umumnya elemen bakar sudah berumur lebih dari 2 tahun di dalam "bulk shielding", sehingga radionuklida yang terdeteksi dari cuplikan adalah nuklida-nuklida dengan umur paruh panjang seperti Mn-54 ($t_{1/2} = 312,5$ hari) dan Co-60 ($t_{1/2} = 527$ tahun). Sedangkan Cr-51 yang mempunyai waktu paruh 27,7 hari yang diharapkan muncul sebagai salah satu indikator adanya peristiwa korosi, tidak terdeteksi.

Pada tabel I terlihat bahwa dari pemeriksaan radiometrik sebagian besar hasil yang didapat ialah adanya Mn-54 dan Co-60. Bila ditinjau dari hasil reaksi inti yang mungkin terjadi, maka Mn-54 dan Co-60 diduga berasal unsur-unsur Fe dan Ni dari reaksi (n,p).

Hasil pengukuran dengan EDS menunjukkan adanya unsur-unsur Fe dan Ti, dan untuk beberapa cuplikan bahkan dijumpai adanya unsur Cr dan Ni. Adanya perbedaan pengamatan pada kandungan Cr dan Ni pada beberapa cuplikan, disebabkan oleh ketidak sempurnaan pada cara pengambilan cuplikan dengan cello tape (dibatasi oleh JUKLAK). Cara-cara pengambilan lainnya tidak mungkin dilakukan di "Hot Cell" yang dimiliki PPTN, mengingat konstruksinya/disainnya memang bukan ditujukan untuk maksud tersebut.

Dalam hal paduan logam baja tahan karat, Cr dan Ni akan ditemukan di dalam lapisan oksida paling dekat batas antar muka logam oksida, hal ini terutama dikontrol oleh kecepatan difusinya, Karena kecepatan difusi Fe lebih besar dari kecepatan difusi volumik Cr dan lebih besar pula dari kecepatan difusi volumik dari Ni, maka dapat pula dipahami bahwa kemungkinan menemukan unsur Fe dipermukaan lapisan oksida akan jauh lebih besar dari pada ditemukannya unsur-unsur Cr dan Ni.

Adanya unsur-unsur Si, Mg, Al dan Ca diduga berasal dari kotoran yang terdapat di dalam air dan terdeposisi pada permukaan elemen bakar. Diketemukannya unsur Ti, dugaan tersebut berasal dari lingkungan, hal ini diperkuat dengan hasil pemeriksaan cuplikan dari permukaan elemen bakar yang masih berada dalam teras (tabel II); yaitu dengan diketemukannya radionuklida Sc-46, Sc-47 dan Sc-48 yang masing-masing berasal dari Ti-46, Ti-47 dan Ti-48 sebagai hasil reaksi (n,p). Mengingat waktu paruh dari nuklida-nuklida tersebut adalah berturut-turut 83;3,35 dan 43,7 jam, maka pada elemen bakar lama radionuklida tersebut tidak terdeteksi.

Tabel I
HASIL ANALISIS KUALITATIF CRUD ELEMEN BAKAR DARI BULK SHIELDING

| No. U- rut. | Data Elemen Bakar | | | | | Hasil Analisis Kualitatif | | |
|----------------|-------------------|-------------------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| | Nomor Seri | Loka- si dalam teras | MWD | Masuk Reak- tor | Keluar Reak- tor | Radiometris (dengan MCA) | Elemental (dengan EDS) | |
| | | | | | | | Cellotape | Partikel |
| 1. | 6 6 5 9 | F-1 | 999,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | - | - |
| 2. | 6 6 6 6 | C-1 | 985,4980 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | - | - |
| 3. | 6 6 7 4 | C-11 | 988,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti; Cr; Mn Mg; Si; Al; P; S | - |
| 4. | 6 6 6 5 | B-6 | 988,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti; Cr; Ni Mg; Si; Ca; P; S | Fe; Ti; Cr; Mn Mg; Si; P; S; Ca |
| 5. | 7 5 0 6 | F-24 | 623,7105 | 29-11-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti; Cr; Mn Mg; Si; P; S; Ca | - |
| 6. | 7 5 0 3 | C-5 | 353,4712 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | - | - |
| 7. | 6 7 1 3 | E-22 | 871,3842 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S; Ca | Fe; Ti; Cr; Ni Mg; Al; Si; P; S |
| 8. | 6 7 1 6 | E-12 | 985,4980 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S; Ca | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S |
| 9. | 6 7 0 9 | E-10 | 999,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S; Ca | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S |
| 10. | 6 7 2 5 | F-28 | 713,6302 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S; Ca | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S |
| 11. | 6 6 6 4 | F-18 | 988,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S | Fe; Ti Mg; Al; Si; Ca; P; S |
| 12. | 6 7 1 9 | D-13 | 988,6442 | 4-12-71 | 30-4-82 | Mn-54; Co-60; Zn-65. | Fe; Al; Si; P; S | Fe; Ti Mg; Al; P; S; Ca |
| 13. | 6 6 9 2 | D-18 | 958,6434 | 2- 5-73 | 30-4-82 | Mn-54 ; Co-60 | - | Fe; Ti, Mn; Cr Mg; Al; Si; Ca; P; S |

3. Elemen bakar dari teras reaktor

Tabel II merupakan hasil analisis cuplikan permukaan elemen bakar yang ada di reaktor yang ditunjukkan secara kualitatif serta kuantitatif. Dari tabel III terlihat adanya perbedaan radio nuklida yang ditemukan antara cuplikan satu dengan lainnya, terutama dari kandungan radio nuklida-radionuklida dengan persentase keaktifan yang rendah seperti Sc-48, Zn-65, Mo-99, Tc-99m dan Pa 233.

4. NSF dari teras reaktor

Data radionuklida yang terdapat pada permukaan NSF di teras reaktor dapat dilihat pada tabel IV.

5. Data pengukuran temperatur elemen bakar

5.1. Elemen bakar di luar reaktor.

Data pengamatan temperatur elemen bakar dapat dilihat pada tabel V.

5.2. Elemen bakar di dalam teras reaktor

5.2.1. Temperatur bahan bakar

Temperatur bahan bakar reaktor diukur dengan menggunakan IFE dan temperatur yang ditunjukkan merupakan temperatur maksimum bahan bakar. Data temperatur dapat dilihat pada Tabel VI.

Tabel II

HASIL ANALISIS KUALITATIF CRUD ELEMEN BAKAR DARI TERAS REAKTOR

| No. U-rut | Data Elemen Bakar | | | | | Hasil Analisis Kualitatif | | |
|-----------|-------------------|--------------------|-----|---------------|----------------|---|--|----------|
| | Nomor Seri | Lokasi dalam teras | MWD | Masuk Reaktor | Keluar Reaktor | Radiometris (dengan MCA) | Elemental (dengan EDS) | |
| | | | | | | | Cellotape | Partikel |
| 1. | 9 5 6 2 | B-3 | | 11-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58; Co-60; So-47; So-48 W-187; Mo-99; Ta-182; Pa-233; Au-192; Sb-122; Sb-124 | Fe; Ti Al; Si; P; S | - - |
| 2. | 9 5 5 3 | B-5 | | 11-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Mo-99; Ta-182; Pa-233; Au-198; Sb-122; Sb-124; Zr-95 | Fe; Ti; Cr Mg; Al; Si | - - |
| 3. | 9 3 3 7 | C-5 | | 10-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Mo-99; Ta-182; Pa-233; Au-198; Sb-122; Sb-124 | Mg; Al; Si; P; S Al; Si; P; S | - - |
| 4. | 9 5 4 4 | C-9 | | 11-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-184; Mo-99; Ta-182; Pa-233; Au-198; Sb-122; Sb-124 | Fe; Ti; Cr; Ni Mg; Al; Si; Ca; P; S | - - |
| 5. | 8 7 5 0 | D-7 | | 11-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Pa-233; Au-198; Sb-122; Sb-124; | Fe; Ti Mg; Al; Si; P; S | - - |
| 6. | 8 7 4 4 | D-13 | | 29-1-82 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47 W-187; Mo-99; Au-198; Sb-122; Sb-124 | Fe Mg; Al; Si; S | - - |
| 7. | 7 8 6 3 | E-21 | | 24-6-78 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Pa-233; Au-198; Zn-65; Sb-122; Sb-124 | Fe; Ti Mg; Al; Si; Ca; P; S; Cl | - - |
| 8. | 9 3 3 5 | E-8 | | 11-2-83 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-60 So-46; So-47 W-187; Au-198; Sb-122; Sb-124; | S; Cl Fe | - - |
| 9. | 7 8 6 0 | F-14 | | 24-6-78 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Au-198; Sb-122; Sb-124 | Mg; Al; Si; P; S; Cl Fe; Ti | - - |
| 10. | 7 8 7 4 | F-24 | | 28-9-78 | - | Fe-59; Cr-51; Mn-54; Co-58 Co-60; So-46; So-47; So-48 W-187; Pa-233; Au-198; Sb-122; Sb-124; Zn-65 | Mg; Al; Si; P; S; Cl Fe; Ti | - - |
| 11. | 7 5 0 5 | Rak Utara No.2 | | - | - | Mn-54; Co-60; Co-57; So-46 Au-198; Sb-122; Sb-124; Zn-65 | Mg; Al; Si; Ca; P; S Fe; Ti | - - |
| 12. | N S F | G-30 | | - | - | Tidak terdeteksi Tidak terdeteksi | Mg; Al; Si; Ca; S; P Fe; Ti; Cr; Mn | - - |

TABEL III
RADIONUKLIDA PADA DEPOSIT ELEMEN BAKAR

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|--------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| No. EMN | 7855 | 7872 | 7862 | 8550 | 8545 | 8553 | 8554 | 8740 | 8741 | 9544 | 8745 | 9561 | 9558 | 9551 |
| Tanggal | 19-8- | 24-6- | 24-6- | 23-10 | 23-10 | 17-11 | 26-6 | 20-10 | 12-11 | 11-2 | 11-2 | 11-2 | 10-2 | 10-2 |
| Masuk | 1977 | 1978 | 1978 | 1978 | 1978 | 1980 | 1980 | 1981 | 1981 | 1983 | 1983 | 1983 | 1983 | 1983 |
| Posisi | E-15 | F-3 | F-18 | C-6 | C-12 | K-3 | D-3 | D-8 | D-17 | C-9 | D-12 | E-10 | E-22 | C-5 |
| % Aktivitas Radionuklida | | | | | | | | | | | | | | |
| Sc-46 | 6,63 | 9,69 | 9,44 | 9,00 | 9,90 | 8,47 | 10,99 | 8,91 | 8,64 | 6,29 | 3,16 | 7,51 | 4,68 | 4,71 |
| Sc-47 | 1,90 | 0,66 | 2,20 | 1,15 | 1,34 | 0,65 | 1,05 | 1,07 | 0,78 | 1,50 | 1,82 | 0,83 | 0,11 | 1,07 |
| Sc-48 | 0,16 | - | 0,16 | - | - | - | - | 0,21 | - | - | - | - | - | - |
| Cr-51 | 28,71 | 30,17 | 29,00 | 38,02 | 30,86 | 37,99 | 30,64 | 31,11 | 31,79 | 42,14 | 54,41 | 47,40 | 55,87 | 56,99 |
| Mn-54 | 6,53 | 12,85 | 11,80 | 8,62 | 12,67 | 8,29 | 11,79 | 9,20 | 8,82 | 4,39 | 2,20 | 4,69 | 3,57 | 3,32 |
| Fe-59 | 7,72 | 12,80 | 13,73 | 9,42 | 12,46 | 9,04 | 12,38 | 10,09 | 9,52 | 5,54 | 3,02 | 7,21 | 5,18 | 5,00 |
| Co-58 | 0,65 | - | 0,17 | 1,12 | 0,84 | 0,51 | 0,55 | 0,62 | 9,81 | 2,29 | 2,11 | 2,21 | 2,94 | 3,30 |
| Co-60 | 1,95 | 3,02 | 1,30 | 5,11 | 2,17 | 3,11 | 0,89 | 1,41 | 1,71 | 2,35 | 2,74 | 1,95 | 6,05 | 3,77 |
| Zn-65 | - | 0,30 | - | 0,15 | - | - | - | 0,28 | - | - | - | - | - | 0,29 |
| ^{99m} Tc | 0,10 | 0,66 | 0,24 | 0,09 | 0,11 | 0,02 | 0,15 | 0,20 | - | - | 0,16 | - | - | - |
| Sr-122 | 20,70 | 6,51 | 14,23 | 5,89 | 6,29 | 7,12 | 7,09 | 8,56 | 9,94 | 7,93 | 12,85 | 9,76 | 4,52 | 4,62 |
| Sr-124 | 16,68 | 20,43 | 11,25 | 17,27 | 16,74 | 19,05 | 20,97 | 23,61 | 23,35 | 19,88 | 9,38 | 15,03 | 12,84 | 13,44 |
| Ta-182 | 0,43 | 1,12 | 0,57 | 1,02 | 1,58 | 2,01 | 0,97 | 0,52 | 1,14 | 1,21 | 0,37 | 1,14 | 1,50 | 0,51 |
| W-187 | 5,10 | 2,01 | 4,99 | 2,17 | 2,24 | 2,77 | 2,14 | 2,99 | 2,39 | 3,72 | 6,19 | 2,97 | 1,20 | 1,54 |
| Au-198 | 2,10 | 0,44 | 0,86 | 0,49 | 0,63 | 0,46 | 0,54 | 0,67 | 0,62 | 1,74 | 2,14 | 0,51 | 1,04 | 0,96 |
| Pb-233 | 0,26 | - | - | 0,44 | 0,23 | 0,49 | 0,69 | 0,42 | 0,41 | 0,96 | 0,50 | 0,83 | 0,11 | 0,44 |
| DPS-Total | 56453 | 102626 | 188609 | 182758 | 192801 | 80342 | 102612 | 85640 | 96190 | 58082 | 35774 | 34230 | 29382 | 62758 |

TABEL IV
RADIONUKLIDA PADA DEPOSIT NSF

| No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Posisi | G-4 | G-5 | G-6 | G-8 | G-9 | G-13 | G-14 | G-15 | G-16 | G-17 | G-10 | G-20 | G-28 | G-36 | F-8 | F-23 |
| % Aktivitas Radionuklida | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sc-46 | 4,06 | 3,27 | 3,86 | 4,61 | 6,78 | 5,69 | 5,59 | 3,61 | 5,70 | 3,26 | 3,07 | 4,33 | 5,03 | 5,91 | 4,06 | 1,72 |
| Cr-51 | 83,55 | 83,57 | 85,36 | 85,35 | 78,39 | 82,69 | 79,79 | 84,61 | 86,53 | 83,55 | 79,70 | 85,25 | 80,83 | 76,97 | 79,84 | 76,65 |
| Mn-54 | 0,17 | - | - | 0,60 | 0,35 | 0,34 | 0,35 | - | 0,29 | 0,76 | 0,62 | - | - | 0,54 | - | 0,57 |
| Fe-59 | 4,16 | 2,92 | 2,75 | 3,93 | 3,91 | 5,20 | 4,10 | 3,33 | 3,39 | 3,01 | 3,14 | 4,33 | 5,03 | 4,28 | 4,79 | 2,60 |
| Co-58 | 0,45 | - | 0,31 | 0,52 | 0,27 | - | 0,10 | 0,78 | 0,46 | 0,38 | - | - | - | 0,22 | - | 0,92 |
| Co-60 | 1,89 | 2,22 | 1,79 | 2,35 | 2,15 | 2,83 | 2,38 | 2,74 | 1,76 | 4,60 | 3,14 | 3,51 | 4,17 | 2,55 | 1,35 | 4,36 |
| ^{99m} Tc | - | - | - | - | - | - | - | 0,14 | - | 0,08 | 1,09 | - | - | 0,24 | - | 0,88 |
| Sr-122 | 0,80 | 1,64 | 0,31 | 0,32 | 0,55 | - | - | 1,06 | 0,26 | 0,22 | 2,26 | 1,17 | - | 0,55 | 1,15 | 2,38 |
| Sr-124 | 0,14 | 1,28 | 0,42 | 0,38 | 0,23 | 0,85 | 0,27 | 0,73 | 0,34 | 0,40 | 1,51 | 1,17 | - | 0,95 | 1,18 | 2,38 |
| Ta-182 | 1,82 | - | 2,09 | - | 6,69 | - | 5,22 | - | - | - | - | - | - | 2,36 | - | - |
| W-187 | 2,31 | 3,62 | 0,52 | 1,23 | 0,37 | 1,78 | 0,57 | 2,43 | 0,93 | 1,75 | 4,31 | - | 4,83 | 2,72 | 5,60 | 3,57 |
| Au-198 | 0,63 | 1,46 | 2,57 | 0,69 | 0,29 | 0,61 | 0,65 | 0,99 | 0,31 | 1,64 | 2,38 | 1,75 | - | 2,60 | 1,79 | 1,10 |
| DPS-Total | 2857 | 1710 | 6135 | 7496 | 8549 | 4095 | 6293 | 4233 | 5785 | 7235 | 1593 | 854 | 1054 | 5417 | 2957 | 2270 |

5.2.2. Temperatur kelongsong elemen bakar

Hasil pengukuran yang dilakukan satu jam setelah reaktor "shut down" pada operasi 700 kw untuk elemen pada ring B-3, C-5 dan D-7 menunjukkan bahwa temperatur kelongsong sekitar 1-2oC lebih tinggi dari temperatur air tangki reaktor.

Tabel V
Data Temperatur Kelongsong
Elemen Bakar Reaktor

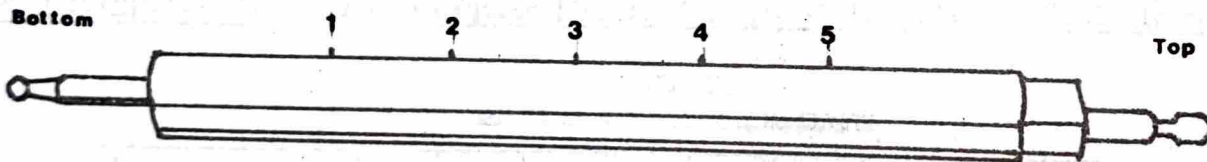
| Seri Elemen Bakar Triga Mark II | Temperatur o (C) | Temperatur Kelongsong pada posisi sesuai dengan Gambar 2 o (C) | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | 6713 (F-22) | 26,4 | 27,50 | 27,45 | 27,90 |
| 6664 (F-18) | 27,0 | 27,40 | 27,60 | 28,30 | 28,85 | 28,50 |

Terlihat dari data pada tabel V bahwa temperatur elemen bakar sedikit lebih tinggi sekitar 1oC dari temperatur ruangan.

Tabel VI

Data Temperatur Elemen Bakar

| Daya (Kw) | Temperatur Maksimum Elemen Bakar (oC) | | | | | |
|--------------|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Dengan NSF | | | Tanpa NSF | | |
| | Ring B-3 | Ring C-5 | Ring D-7 | Ring B-3 | Ring C-5 | Ring D-7 |
| 1000 | 331 | - | - | 384 | - | - |
| 900 | 322 | - | - | 362 | - | - |
| 800 | 300 | - | - | 332 | - | - |
| 700 | 274 | 258 | 212 | 308 | 290 | 250 |



Gambar 2
Posisi Pengukuran Temperatur Elemen Bakar (Shematik)

PEMBAHASAN

Hasil pemeriksaan visual elemen bakar "lama" seperti terlihat pada gambar 1, menunjukkan dengan jelas adanya warna "reddish brown" yang berbentuk gelang-gelang dipermukaannya. Disamping itu, warna lain juga dijumpai pada bagian atas elemen bakar, yang sedikit berbeda dari warna yang terdapat pada "active length". Bahkan dibagian bawah elemen bakar tidak terlihat adanya perubahan warna dari elemen bakar tersebut. Artinya bagian ini masih mempertahankan warna aslinya, yaitu warna dari bahan pembentuk elemen bakar itu sendiri, baja tahan karat jenis 304.

Hasil analisis Radionetrik dan unsur terdapat cuplikan berwarna "reddish brown" yang ter-

dapat dipermukaan elemen bakar "lama" maupun elemen bakar yang masih ada dan sedang beroperasi diteras reaktor, ternyata mengandung beberapa unsur utama pembentuk kelongsong elemen bakar seperti Cr, Ni dan Fe serta beberapa unsur lain yang mungkin berasal dari lingkungan luar elemen bakar itu sendiri maupun dari sebagian unsur yang memang ditambahkan ke dalam paduan baja tahan karat jenis 304 untuk maksud tujuan tertentu.

Dari pengamatan tersebut di atas, maka dapat dikatakan bahwa elemen bakar mengalami proses "kerusakan" atau lebih tepatnya elemen bakar mengalami proses "korosi".

Bila dilihat dari apa yang ditampilkan dari

gambar 1, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa proses korosi yang terjadi pada elemen bakar tidak bersifat menyeluruh sepanjang elemen bakar. Artinya pada elemen bakar itu sendiri terdapat daerah dimana daerah tersebut bersifat lebih anodik dibandingkan dengan daerah lainnya pada batang elemen yang sama. Daerah yang tidak menunjukkan adanya peristiwa korosi bertindak sebagai katoda, sedangkan daerah terkorosi merupakan anodanya.

Dari hasil penelitian lebih lanjut terhadap lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan NSF serta terhadap logam bahan pembuat NSF, analisis kimia ternyata memberikan hasil yang menyerupai dengan yang didapat secara test usap seperti tertera pada tabel. Dari pengamatan ini jelas bahwa unsur-unsur yang terdapat dipermukaan NSF bukan merupakan hasil deposisi produk korosi elemen bakar nuklir melainkan berasal dari bahan pembentuk NSF itu sendiri. Ini merupakan bukti bahwa Aluminium mengalami proses korosi meskipun sangat lambat dibandingkan dengan yang terjadi pada elemen bakar. Hal ini adalah suatu gejala yang wajar, mengingat tidak adanya sumber panas pada NSF. Adanya peristiwa korosi ini juga dapat diamati dari adanya perubahan warna yang terjadi pada permukaan NSF, yaitu lebih gelap.

KESIMPULAN

Penelitian ini masih bersifat pendahuluan bagi penelitian lebih lanjut untuk elemen bakar Pasca Irradiasi. Dari pengamatan tersebut dapat disimpulkan bahwa elemen bakar mengalami peristiwa korosi. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai mekanisme serta laju korosinya, perlu dilakukan percobaan yang lebih lanjut baik di dalam teras reaktor maupun dengan cara simulasi di luar reaktor.

Suatu hal yang sangat penting disini, bahwa bahwa dengan peralatan serta fasilitas yang ada pekerjaan pendahuluan untuk uji Pasca Irradiasi sudah dapat dilakukan di Pusat Penelitian Teknik Nuklir.

KEPUSTAKAAN

1. General Atomic., "Instruction Manual For Triga Reactors".
2. Mantel, C.L. Editor., "Engineering Materials Handbook"., 1st Ed. Mc. Gravo Teill NY., 1958.