

STUDI AWAL RADIONUKLIDA HASIL KOROSI PADA AIR PENDINGIN PRIMER RSG-GAS

Dyah Erlina Lestari, Pudjijanto MS., Subiharto, Setyo Budi

ABSTRAK

STUDI AWAL RADIONUKLIDA HASIL KOROSI PADA AIR PENDINGIN PRIMER RSG-GAS. Telah dilakukan analisis terhadap radionuklida pemancar γ yang terkandung di dalam air pendingin primer RSG-GAS. Cuplikan air pendingin diambil sebelum dan sesudah melewati resin penukar ion. Pencacahan dilakukan dengan unit spektrometer gamma latar rendah yang terdiri dari sebuah detektor gamma beresolusi tinggi HP-Ge Tennelec dan penganalisis tinggi pulsa MCA ADCAM 100 ORTEC. Dari hasil pencacahan dan analisis data secara kualitatif terindikasi, adanya radionuklida Na-24 dan Mn-56 yang diduga merupakan hasil aktivasi dari unsur produk korosi dan akan diteliti lebih lanjut. Secara kuantitatif konsentrasi aktivitas Mn-56 di bawah nilai perkiraan yang tertera dalam SAR, sedangkan untuk Na-24 bersesuaian.

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY OF RADIONUCLIDE CORROSION PRODUCTS IN PRIMARY COOLING WATER AT RSG-GAS. Analysis of radionuclides emitting gamma rays at the primary cooling water at RSG-GAS has been carried out. The water coolant samples was taken in the line before and after in the ion exchange resin system. Counting of the samples was performed using a low level background gamma spectrometer unit, including of high resolution of gamma detector HP-Ge Tennelec and Multichannel Analyzer (MCA) ADCAM 100 ORTEC. The result indicated Na-24 and Mn-56 radionuclides that may be as corrosion product and should studied deeply in the future. The expected activity concentration radionuclide for Mn-56 is lower than those written in the Safety Analysis Report (SAR), while for Na-24 is in agreement.

PENDAHULUAN

Sistem pendingin primer reaktor berfungsi untuk memindahkan panas yang timbul di teras reaktor pada kondisi operasi normal maupun kecelakaan. Sebagai medium pembawa panas, air dalam reaktor dapat mengalami perubahan suhu dan tekanan. Keadaan ini umumnya mengakibatkan air pendingin tersebut bersifat reaktif terhadap bahan kelongsong serta bahan struktur.

RSG GAS mempunyai elemen bakar dengan kelongsong AlMg₂ sedangkan material pada sistem pendingin primer terbuat dari *stainless steel*. Korosi merupakan peristiwa perusakan logam yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Hasil korosi biasanya berupa oksida logam.

Dalam hal aluminium dan *stainless steel*, oksida hasil korosi yang terbentuk melapisi bagian luar dari logam tersebut dan melindungi bagian dalamnya dari kerusakan lebih lanjut. Meskipun demikian, mengingat temperatur dan tekanan dalam reaktor yang cukup tinggi, sebagian dari hasil korosi tersebut akan larut dalam air pendingin dan mengalami proses aktivasi. Radionuklida yang terkandung dalam air pendingin reaktor terjadi sebagai akibat aktivasi pengotor di dalam air pendingin maupun hasil korosi dari bahan struktur teras dan komponen reaktor.

Sebagai tahap awal dari penelitian ini diamati radionuklida pemancar γ dalam air pendingin dengan menggunakan spektrometer γ .

TEORI

Korosi adalah peristiwa hilangnya elektron dari logam ke lingkungan (air dan O₂) serta membentuk produk korosi yang berupa oksida pada permukaan logam tersebut atau rusaknya logam sebagai akibat reaksi dengan lingkungan^[5].

Secara elektrokimia, proses korosi dapat dipandang menjadi dua proses yaitu :

Proses reaksi oksidasi pada sisi anodik dan

Proses reduksi pada sisi katodik.

Proses reaksi oksidasi dan reduksi ini berlangsung secara bersamaan dan tidak dapat berdiri sendiri.

Peristiwa korosi secara umum dapat digambarkan sebagai berikut :

Reaksi oksidasi



M = logam terkorosi

n = bilangan bulat 1, 2, 3, 4, dst.

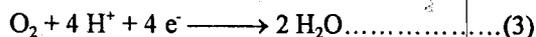
= elektron

Reaksi reduksi

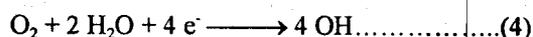
Pada prinsipnya, dalam reaksi reduksi ini merupakan interaksi dari reaksi oksidasi dengan substansi-substansi yang terdapat dalam media lingkungannya. Reaksi reduksi terdiri dari beberapa jenis reaksi yaitu :



Reduksi oksigen (lingkungan asam)



Reduksi oksigen (lingkungan basa atau netral)



Reduksi ion logam



Pengendapan logam



Pada proses korosi, jenis dan laju korosi tergantung pada kondisi media lingkungannya.

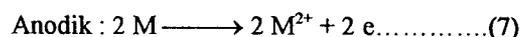
Pengaruh temperatur

Pada umumnya, laju korosi akan naik dengan kenaikan temperatur. Pola ketergantungan laju korosi pada temperatur bervariasi antara logam satu dan lainnya. Gambar 1 menggambarkan pengaruh temperatur terhadap laju korosi. Dari kurva A terlihat adanya kenaikan laju korosi secara eksponensial dengan kenaikan temperatur. Pada kurva B memperlihatkan bahwa peningkatan temperatur tidak menaikkan laju korosi hingga pada suatu temperatur kemudian laju korosi naik dengan cepat. Hal ini terjadi pada 18 Cr - 8 Ni *stainless steel* dalam asam nitrat di mana dengan adanya kenaikan temperatur dalam asam nitrat akan menaikkan daya oksidasi, sedangkan pada temperatur rendah atau sedang baja tahan karat tersebut berada pada daerah pasif menuju transpasif. Dengan naiknya daya oksidasi menyebabkan kenaikan laju korosi. Hal yang sama juga terjadi pada monel dan nikel seperti terlihat dalam Gambar 1.

Pengaruh Ph

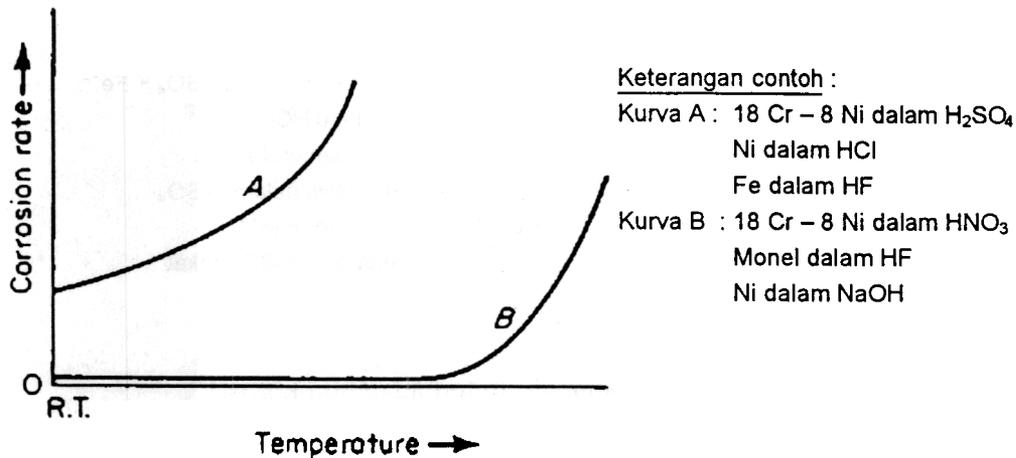
pH merupakan besaran yang menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Tingkat keasaman lingkungan akan berpengaruh terhadap jenis reaksi yang terjadi pada suatu proses korosi.

Pada lingkungan dengan tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), korosi akan berlangsung dengan reaksi evolusi hidrogen pada daerah katodiknya menurut reaksi berikut :

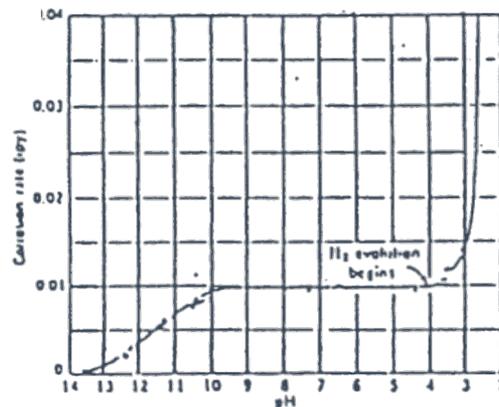




Pengaruh pH terhadap laju korosi baja di dalam air pada temperatur ruang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Pengaruh temperatur terhadap laju korosi^[7].



Gambar 2. Pengaruh pH terhadap laju korosi baja di dalam air pada temperatur ruang^[7].

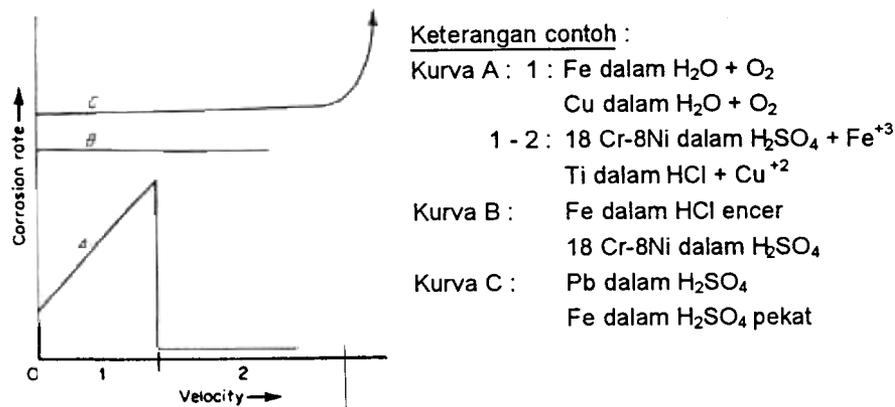
Dari Gambar 2 terlihat bahwa pada daerah pH 4~10 laju korosi tetap tidak mengalami kenaikan yang berarti. Hal ini disebabkan karena pada daerah ini di permukaan baja terbentuk oksida logam yang berfungsi sebagai pasivator.

Pada daerah pH < 4, lapisan oksida logam larut membentuk ion sehingga terjadi kenaikan laju korosi dan pada daerah pH > 10, terjadi pembentukan oksida logam yang semakin banyak sehingga baja akan terlindungi dari

korosi. Hal ini akan menyebabkan penurunan laju korosi.

Pengaruh kecepatan aliran

Pada umumnya laju korosi akan bertambah dengan adanya kenaikan kecepatan aliran air, sedangkan bentuk korosi yang terjadi biasanya merata. Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi⁽⁵⁾

Pada kurva B daerah 1 terlihat bahwa kecepatan aliran tidak berpengaruh pada laju korosi. Hal ini terjadi pada proses korosi yang dikontrol oleh polarisasi aktivasi.

Bila proses korosi di bawah pengaruh difusi katodik, maka kecepatan aliran akan meningkatkan laju korosi seperti pada kurva A daerah 1. Efek seperti ini terjadi apabila terdapat pengoksidasi (*oxidizer*) dalam jumlah kecil misalnya dengan adanya oksigen terlarut dalam larutan asam atau air.

Apabila prosesnya diawali dengan pengaruh difusi dan logamnya mudah terpasivasi, maka kejadiannya adalah kurva A daerah 1 dan 2. Material yang mudah terpasivasi seperti *stainless steel* dan titanium biasanya lebih tahan korosi apabila kecepatan aliran media korosifnya tinggi. Untuk logam-logam yang dapat membentuk lapisan tersebut secara mekanis sehingga laju korosi naik seperti pada kurva C disebut korosi erosi

Pengaruh garam terlarut

Garam-garam terlarut akan berpengaruh pada korosivitas air yang secara umum akan meningkatkan konduktivitas air tersebut

Pengaruh yang ditimbulkan oleh garam-garam terlarut terhadap laju korosi tergantung pada konsentrasi dan jenis ion. Sebagai contoh : Ion karbonat dan bikarbonat (*hardness*) dapat mengurangi laju korosi sedangkan ion klorida dan sulfat cenderung akan menaikkan laju korosi. Air pendingin dengan kesadahan yang tinggi akan turut membantu menghambat laju korosi, tetapi justru menimbulkan masalah pengendapan garam-garam karbonat yang mengakibatkan terbentuknya deposit pada permukaan baja sehingga dapat menghambat proses perpindahan panas pada sistem air pendingin. Adanya garam-garam klorida dan sulfat yang larut akan menyebabkan terdapatnya ion-ion klorida dan sulfat dalam air pendingin. Ion-ion klorida dan sulfat dalam ion-ion yang bersifat merintangikan efek lapis lindung pada logam terutama pada *stainless steel* dan aluminium, sehingga akan menaikkan laju korosi.

Sistem Pendingin Primer RSG-GAS

Sistem pendingin RSG didisain mampu memindahkan panas nominal 3000 kilowatt thermal. Untuk memenuhi kriteria keselamatan, parameter operasi sistem harus ditentukan secara

optimal dengan batas-batas toleransi keselamatan tertentu. Data-data disain dan sistem keselamatan pada sistem pendingin primer tertera Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data disain kondisi teras kerja penuh^[3].

| No. | Besaran fisis | Nominal | Minimal | Maksimal |
|-----|--|---------|---------|----------|
| 1. | Laju aliran pendingin primer, m ³ /jam | 3140 | 2915 | 3500 |
| 2. | Kecepatan pendingin primer, m/det. | 3,6 | - | - |
| 3. | Temperatur pendingin masuk ke teras, °C | 40,2 | - | 60 |
| 4. | Temperatur pendingin keluar dari teras, °C | 48,9 | - | 60 |
| 5. | Lamanya katup isolasi menutup, detik | 96 | 70 | 120 |

Sedangkan kondisi kualitas air pendingin primer yang diizinkan adalah tertera dalam Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Kualitas air pendingin primer RSG-GAS.

| No. | Besaran fisis | Kuantitas |
|-----|---|----------------------|
| 1. | PH (minimum) | 5,2 |
| 2. | Konduktivitas listrik, μS/cm | 8 |
| 3. | Konsentrasi Klorida, mol/m ³ | $1,4 \times 10^{-3}$ |
| 4. | Konsentrasi Sulfat, mol/m ³ | $5,5 \times 10^{-4}$ |
| 5. | Konsentrasi Aluminium, mol/m ³ | $3,7 \times 10^{-4}$ |
| 6. | Konsentrasi Tembaga, mol/m ³ | $3,2 \times 10^{-4}$ |

Pada sistem pendingin primer RSG-GAS, semua pipa yang berada di dalam kolam terbuat dari bahan ALMg₃ dan yang berada di luar kolam terbuat dari bahan *stainless steel* SA-312 TP 321. Komposisi dari bahan *stainless steel* SA-312 TP 321 (dalam % berat) adalah : C = 0,042; Si = 0,43; Mn = 1,57; P = 0,027; S = 0,017; Cr = 17,31; Mo = 0,24; Ni = 11,09 dan Ti = 0,50.

TATA KERJA

Alat yang digunakan

1. Unit spektrometer gamma latar rendah yang terdiri dari Penganalisis tinggi pulsa dengan detektor HP-Ge
2. Merinelli (wadah pencacah sampel) berukuran 1 liter.

Cara kerja

1. Kalibrasi energi dengan jalan pencacahan larutan standar campuran, kode EU-337 produk Amersham selama 10 menit.
2. Kalibrasi efisiensi detektor dengan jalan pencacahan larutan standar campuran kode EU-337 produk Amersham selama 2 jam. Dengan mengetahui nilai aktivitas dari radioisotop standar, dibuat kurva kalibrasi efisiensi detektor terhadap persen efisiensi dengan mempergunakan rumus :

$$\% \epsilon = \frac{\text{CPS}}{\text{DPS} \cdot Y_{\gamma}} \times 100 \% \quad (7)$$

Kurva kalibrasi detektor ditunjukkan pada Gambar 4 (terlampir).

3. Sampel air dicuplik di tempat yang berbeda pengambilan sampel yang tersedia (KBE01) pada lantai -6,50 m gedung reaktor.
4. Sampel air dicuplik di dua tempat yaitu sebelum melalui resin (KBE01 in) dan sesudah melewati resin (KBE01 out).
5. Sampel air ditampung dalam tabung merinelli berukuran satu liter dan dicacah selama 2 jam.
6. Setelah sampel air didinginkan selama 1 hari kemudian dicacah kembali selama 2 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencacahan air pendingin sebelum dan sesudah melewati resin dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Data hasil pencacahan air pendingin sebelum melewati resin.

| No. | Radio nuklida | Umur paroh, $T_{1/2}$ | Konsentrasi radioaktivitas, [Ci/m ³] | |
|-----|---------------|-----------------------|--|--------------------|
| | | | In 1 | In 2 |
| 1. | Te-132 | 78,2 jam | 2,89 ± 0,3228E-05 | 2,085 ± 0,1040E-05 |
| 2. | Ar-41 | 1,83 jam | 3,9041 ± 0,2012E-05 | 3,029 ± 0,1993E-05 |
| 3. | Ce-141 | 32,5 hari | 0,9531 ± 0,0763E-05 | 1,147 ± 0,1475E-05 |
| 4. | Na-24 | 15 jam | 2,332 ± 0,254E-03 | 2,358 ± 0,2368E-03 |
| 5. | Mn-56 | 2,8 jam | 1,201 ± 0,296E-05 | 1,254 ± 0,151E-05 |

Tabel 4. Data hasil pencacahan air pendingin sesudah melewati resin.

| No. | Radio nuklida | Umur paroh, $T_{1/2}$ | Konsentrasi radioaktivitas, [Ci/m ³] | |
|-----|---------------|-----------------------|--|--------------------|
| | | | Out 1 | Out 2 |
| 1. | Te-132 | 78,2 jam | 1,315 ± 0,2325E-05 | 1,286 ± 0, 224E-05 |
| 2. | Ar-41 | 1,83 jam | 3,885 ± 0,1889E-05 | 2,446 ± 0,177E-05 |
| 3. | Ce-141 | 32,5 hari | 1,859 ± 0, 3613E-06 | 1,396 ± 0,541E-06 |
| 4. | Na-24 | 15 jam | 2,772 ± 0,2615E-06 | 1,949 ± 0,1295E-06 |
| 5. | Mn-56 | 2,8 jam | Ttd | Ttd |

Keterangan :

- Ttd tak terdeteksi.
 In 1, 2 pengambilan cuplikan ke-1 dan 2 sebelum melewati resin.
 Out 1, 2 pengambilan cuplikan ke-1 dan 2 sesudah melewati resin.

Dengan melihat kedua tabel di atas, secara umum dapat dikatakan bahwa aktivitas dari masing-masing radionuklida masih di bawah nilai perkiraan menurut SAR^[2] kecuali untuk ²⁴Na. Dalam hal ²⁴Na, konsentrasinya sesuai

dengan yang diperkirakan dalam SAR, yaitu sekitar $2,3 \times 10^{-3}$ Ci/m³. Daftar nilai perkiraan aktivitas radionuklida dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6 (terlampir).

Tabel 5. Perkiraan konsentrasi aktivitas produk korosi pada air pendingin bagian bawah kolam dalam Ci/m³ ^[2].

| No. | Nuklida | Aktivitas |
|-----|---------|-----------|
| 1. | Na-24 | 2,4E-03 |
| 2. | Na-25 | 7,0E-09 |
| 3. | Al-28 | 1,5E-03 |
| 4. | Mg-27 | 5,0E-05 |
| 5. | Cr-51 | 1,6E-03 |
| 6. | Mn-54 | 6,8E-07 |
| 7. | Mn-56 | 1,5E-03 |
| 8. | Co-58 | 3,4E-06 |
| 9. | Co-60 | 5,7E-06 |
| 10. | Ni-65 | 1,4E-06 |
| 11. | Fe-59 | 6,3E-06 |

Tabel 6. Konsentrasi aktifitas radionuklida pada air pendingin primer dalam Ci/m³ ^[2].

| No. | Nuklida | Aktivitas | No. | Nuklida | Aktivitas |
|-----|-----------|-----------|-----|----------|-----------|
| 1. | Co-60 | 5,7E-06 | 19. | Rh-103 m | 1,6E-03 |
| 2. | Eu-155 | 5,3E-09 | 20. | Ru-103 | 6,1E-04 |
| 3. | Sm-151 | 1,6E-09 | 21. | Nb-95 | 2,1E-05 |
| 4. | Nd-147 | 2,2E-05 | 22. | Zr-95 | 1,1E-05 |
| 5. | Pr-144 | 3,4E-03 | 23. | Y-91 | 1,1E-05 |
| 6. | Ce-144 | 2,2E-06 | 24. | Y-90 | 2,3E-04 |
| 7. | Ba/La-140 | 5,5E-04 | 25. | Sr-90 | 6,5E-08 |
| 8. | Cs-137 | 6,5E-08 | 26. | Sr-89 | 1,1E-05 |
| 9. | Cs-134 | 3,6E-08 | 27. | Fe-59 | 6,3E-06 |
| 10. | Te-132 | 1,4E-04 | 28. | Ni-65 | 1,4E-05 |
| 11. | Te-131 m | 2,5E-04 | 29. | Co-58 | 3,4E-06 |
| 12. | Te-129 m | 4,5E-06 | 30. | Mn-56 | 1,5E-05 |
| 13. | Te-127 m | 1,8E-07 | 31. | Mn-54 | 6,8E-07 |
| 14. | Sb-125 | 2,4E-09 | 32. | Cr-51 | 1,0E-03 |
| 15. | Sn-125 | 1,5E-07 | 33. | Mg-27 | 5,0E-05 |
| 16. | Rh-106 m | 1,7E-04 | 34. | Al-28 | 1,5E-03 |
| 17. | Ru-106 | 1,3E-07 | 35. | Na-24 | 2,4E-03 |

Tabel 7. Hasil-hasil korosi radioaktif dalam air pendingin primer reaktor MUTSU (JAERI).

| No. | Radionuklida | Umur paroh | Konsentrasi, [Ci/m ³] | |
|-----|--------------|------------|-----------------------------------|-----------|
| | | | Terhitung | Terukur |
| 1 | Mn-54 | 312,5 hari | 2,70E-05 | 15,39E-06 |
| 2 | Mn-56 | 2,587 jam | 11,34E-04 | 21,87E-05 |
| 3 | Co-58 | 71,3 hari | 3,24E-03 | 22,14E-06 |
| 4 | Co-60 | 5,26 tahun | 2,97E-04 | 5,13E-06 |

Apabila dibandingkan antara air pendingin primer sebelum melalui resin dan sesudah melalui resin dapat dilihat bahwa aktivitas radionuklida sebelum melalui resin sedikit lebih tinggi dibanding dengan air pendingin setelah melewati resin, kecuali untuk ^{24}Na yang penurunannya sangat besar. Hal ini disebabkan karena sifat resin yang mampu menangkap ion-ion radioaktif yang melewatinya. Dengan melihat kedua tabel di atas, dan membandingkannya dengan tabel yang terdapat pada Tabel 5 s.d. 7 (terlampir), radionuklida yang diduga merupakan hasil aktivasi yang berasal dari hasil korosi adalah : ^{24}Na dan ^{56}Mn .

RSG-GAS mempunyai elemen bakar dengan kelongsong AlMg_2 , tetapi timbulnya ^{24}Na dalam air pendingin reaktor dapat terjadi dari

Aktivasi pengotor dalam air pendingin menurut reaksi $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$.

Aktivasi dari Aluminium menurut reaksi $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$.

Material pada sistem pendingin primer RSG-GAS terbuat dari *stainless steel*, tetapi ^{56}Mn yang timbul di samping berasal dari aktivasi pengotor dalam air pendingin menurut reaksi $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ juga berasal dari aktivasi Fe menurut reaksi $^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$. Dengan demikian analisis lebih lanjut masih diperlukan untuk dapat memilah hanya kontribusi dari produk korosi. Dalam laporan uji operasi daya di reaktor. MUTSU (JAERI, Jepang)^[6] disebutkan bahwa dari hasil analisis pada air pendingin primer di reaktor tersebut produk korosi yang timbul adalah : Mn-56, Mn-54, Co-58 dan Co-60 (Tabel

7). Oleh karena itu, untuk meyakinkan apakah ^{24}Na yang terbentuk, merupakan hasil aktivasi dari hasil korosi akan diteliti lebih lanjut dengan jalan menganalisis air demineralisasi yang digunakan sebagai pengisi air kolam dan membandingkannya dengan hasil analisis air pendingin primer reaktor, atau apabila dimungkinkan dapat dilakukan dengan cara mengamati unsur radioaktif produk korosi yang tidak terdapat pada kelompok hasil aktivasi pengotor air pendingin seperti ^{54}Mn , ^{58}Co dan

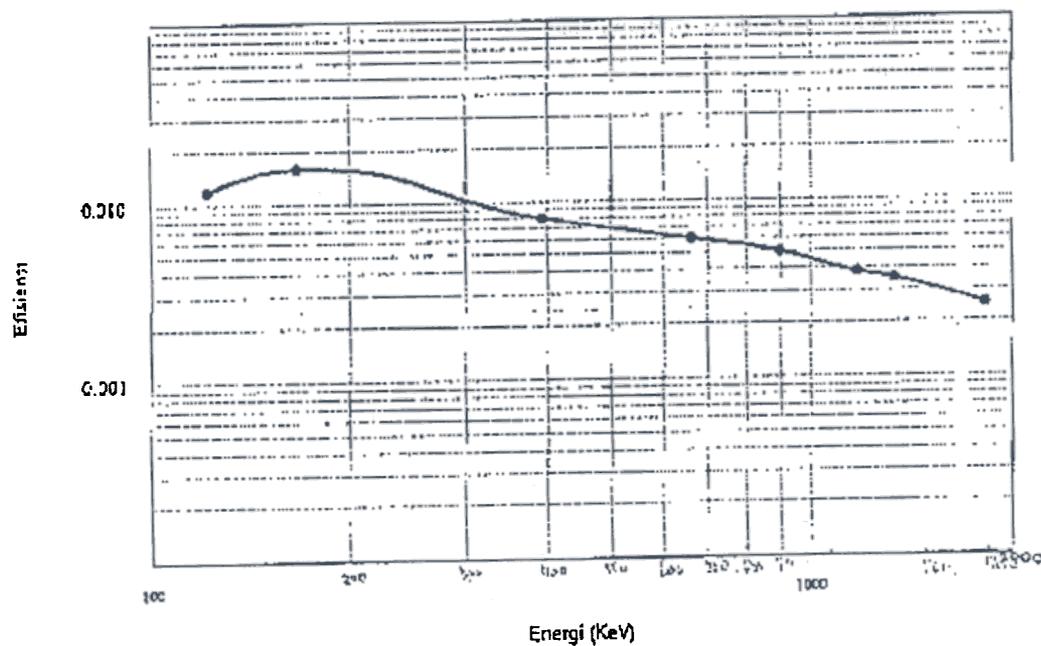
KESIMPULAN

Dari hasil pencacahan terhadap air pendingin primer diperoleh radionuklida yang diduga merupakan hasil aktivasi dari unsur produk korosi adalah ^{24}Na dan ^{56}Mn . Studi lebih lanjut diperlukan untuk dapat memilah antara sumbangan dari aktivasi produk korosi dan pengotor pendingin primer.

DAFTAR PUSTAKA

1. A. JOHN SIDIK, "Corrosion of Stainless Steel", John Willey & Sons Inc., New York, (1979).
2. BADAN TENAGA ATOM NASIONAL, "Safety Analysis Report for MPR-30", 7th revision, Jakarta, (1986).
3. INTERATOM, "Description and Componen Primary Cooling System", IA Bensberg, (1986).
4. KANTI K., MAHAJAN P.E., "Design of Process Equipment Selected Topics", Pressure Vessel Handbook Publishing Inc., (1979).

5. MARS G. FONTANA, "Corrosion Engineering", 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, (1986).
6. T. YOSHIJIMA, K. SUZUKI, S. MUKAI, T. TANAKA and M. OCHIAI, "Report on N.S. MUTSU Power-up Test", Departement of Nuclear Ship Engineering Mutsu Establishment, Japan Atomic Energy Research Institute Mutsu-shi, Aomori-ken, Received December 24, (1991).
7. UHLIQ H. H, "Corrosion and Corrosion Control", 2nd edition John Willey & Sons Inc, New York, (1971).
8. WISNU SUSETYO, "Spektrometri Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, (1988).



Gambar 4. Grafik kalibrasi efisiensi detektor dengan sumber campuran multi- γ standar sandi EU-337 dalam merineli 1 liter produk Amersham (1995).

PERTANYAAN

Penanya : Yus Rusdian Akhmad

Pertanyaan :

Apakah sudah dapat disimpulkan bahwa radionuklida Na-24 yang didapat merupakan hasil korosi, mengingat Na-24 juga terdapat dalam air sebagai kelumit ?

Jawaban :

Dalam penelitian ini belum dapat dipastikan karena rencana penelitian ini dilakukan selama 2 tahun, sedangkan untuk tahap sasaran tahun ini dibatasi hanya pada identifikasi radionuklida yang terkandung dalam air pendingin primer.

Dari hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan tabel radionuklida hasil korosi yang tercantum dalam SAR, ternyata kami dapatkan radionuklida Na-24 dan Mn-56, sehingga kami menduga bahwa kedua radionuklida tersebut merupakan aktivasi yang berasal dari hasil korosi. Tetapi untuk meyakinkan apakah Na-24 yang terbentuk benar-benar merupakan hasil korosi akan diteliti lebih lanjut, dengan jalan menganalisis air bebas mineral yang dipakai sebagai pengisi air kolam