

SISTEM PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS AIR TANGKI REAKTOR TRIGA 2000 DENGAN SPEKTROMETER GAMMA ON-LINE

Prasetyo Basuki dan Sudjatmi K.A

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri-BATAN, Jl. Tamansari no. 71, Bandung 40132
Email: basuki@batan-bdg.go.id

ABSTRAK

SISTEM PEMANTAUAN RADIOAKTIVITAS AIR TANGKI REAKTOR TRIGA 2000 DENGAN SPEKTROMETER GAMMA ON-LINE. Salah satu persyaratan dalam keselamatan radiasi pada beroperasinya sebuah reaktor penelitian adalah tidak adanya lepasan radionuklida hasil fisi ke air pendingin reaktor dan udara lingkungan. Deteksi dini terhadap lepasan radionuklida hasil fisi dari elemen bakar ke air pendingin dapat dilakukan dengan pemeriksaan radioaktivitas air pendingin primer. Air tangki reaktor dapat menjadi indikator penting dalam mendeteksi kadar radioaktivitas dari material hasil fisi, apabila terjadi kebocoran pada kelongsong elemen bakar. Untuk itu diperlukan sistem pengujian yang dapat mengukur tingkat radioaktivitas air ini secara langsung dan sederhana. Ide dari sistem pengujian secara langsung ini adalah dengan melewati aliran air tangki langsung pada detektor gamma yang terpasang di spektrometer gamma. Air tangki reaktor dialirkan pada suatu slang plastik menuju kotak marinelli yang terpasang tepat diatas detektor gamma. Posisi tangki yang lebih tinggi dari kotak marinelli memungkinkan air mengalir secara gravitasi dengan laju volume 5,1 liter/menit. Laju volume keluaran lebih kecil sebesar 2,2 liter/menit.

Kata kunci : reaktor penelitian, hasil fisi, gravitasi, laju volume, spektrometer gamma

ABSTRACT

RADIOACTIVITY MONITORING SYSTEM FOR TRIGA 2000 REACTOR WATER TANK WITH ON-LINE GAMMA SPECTROMETER. One of the requirements in radiological safety in the operating condition of research reactor are the absence of radionuclide from fission product released to reactor cooling water and environment. Early detection of fission product that released from fuel element can be done by monitoring radioactivity level on primary cooling water. Reactor cooling water can be used as an important indicator in detecting radioactivity level of material fission product, when the leakage occurs. Therefore, it needs to build a monitoring system for measuring radioactivity level of cooling water directly and simple. The idea of this system is counting radioactivity water flow from reactor tank to the marinelli cube that attached to the HPGe detector on gamma spectrometer. Cooling water from tank aimed on plastic pipe to the marinelli cube. Water flows in gravitational driven to the marinelli cube, with volume flow rate 5.1 liters/minute in the inlet and 2.2 liters/minute in output.

Key words : research reactor, fission product, gravitation, volume flow rate, gamma spectrometer

1. PENDAHULUAN

Salah satu persyaratan dalam keselamatan radiasi pada beroperasinya sebuah reaktor penelitian adalah tidak adanya lepasan hasil fisi

ke air pendingin reaktor maupun ke udara. Deteksi dini terhadap keluarnya hasil fisi dari elemen bakar ke air pendingin reaktor dapat dilakukan dengan pemantauan radioaktivitas air pendingin reaktor. Hasil fisi dapat keluar dari

elemen bakar ke dalam air pendingin karena adanya kebocoran pada kelongsong elemen bakar.

Seiring dengan bertambahnya umur reaktor penelitian, tentu saja terdapat penurunan kualitas dari komponen reaktor, salah satunya adalah kualitas kelongsong elemen bakar. Sebagian dari elemen bakar reaktor TRIGA 2000 yang digunakan saat ini sudah ada yang berusia di atas 30 tahun dengan nilai fraksi bakar (*burn-up*) yang juga tinggi yaitu mencapai lebih dari 45%. Berdasarkan usia dan fraksi bakar maka perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya kebocoran pada kelongsong elemen bakar. Hasil pendeteksian kebocoran kelongsong elemen bakar disamping dapat digunakan untuk melihat unjuk kerja elemen bakar juga sebagai antisipasi bahaya radiasi dari kemungkinan adanya lepasan gas hasil fisi ke air pendingin maupun udara.

Air tangki reaktor dapat menjadi indikator penting dalam mendeteksi lepasan radionuklida hasil fisi, apabila terjadi kebocoran pada kelongsong elemen bakar. Pada makalah ini akan dijelaskan suatu sistem pengujian tingkat radioaktivitas air tangki reaktor secara *online*. Sistem pengujian ini melibatkan spektrometer gamma yang akan mencacah radioaktivitas aliran air tangki secara langsung. Untuk dapat melakukan pengujian ini maka pada sistem dibuat suatu siklus air sederhana yang melewati spektrometer gamma. Siklus air ini dibuat sedemikian rupa yang menghubungkan tangki reaktor dengan spektrometer gamma. Radioaktivitas aliran air yang diuji akan mengalir secara gravitasi menuju kotak marinelli yang terpasang pada detektor gamma HPGe pada spektrometer gamma. Radioaktivitas air yang akan dicacah dilewatkan pada suatu tabung marinelli khusus yang memiliki lubang masukan dan keluaran, sehingga radioaktivitasnya dapat langsung dicacah dengan spektrometer gamma. Skema sistem secara sederhana ditunjukkan oleh Gambar 1.

2. DASAR TEORI

Hubungan antara kecepatan fluida, tekanan, dan ketinggian dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan *Bernoulli*. Apabila terdapat dua tempat penampungan fluida yang terhubung oleh suatu media alir (misal pipa) dimana satu diantaranya berada pada posisi lebih tinggi dari yang lainnya, maka secara gravitasi fluida yang berada diposisi

penampungan yang lebih tinggi akan cenderung untuk mengalir menuju daerah yang potensialnya lebih rendah. Besarnya laju alir dari fluida tersebut dapat dihitung dengan menggunakan formulasi matematis *Bernoulli*, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{konstan} \quad (1)$$

Besarnya laju aliran fluida dapat dikarakterisasi oleh suatu bilangan *Reynolds* yang dapat mengklasifikasikan jenis aliran yang terjadi. Bilangan Reynolds dapat didefinisikan dengan menggunakan Persamaan matematis (2) berikut:

$$Re = \rho \frac{dv}{\mu} = \rho \frac{dQ}{\mu A} \quad (2)$$

Dengan :

- Re : bilangan *reynolds*
- ρ : massa jenis fluida
- d : panjang karakteristik/diameter penampang aliran
- v : kecepatan aliran fluida
- μ : viskositas fluida
- Q : debit aliran
- A : luas penampang media alir

Pada sistem ini digunakan pipa plastik (slang) sebagai media alir untuk air. Pada suatu aliran fluida yang melalui media alir akan mengalami penurunan tekanan pada muka aliran sebagai akibat adanya gesekan muka aliran dengan permukaan media alir. Besarnya tekanan dinamik pada suatu sistem pipa, bergantung pada lima faktor sebagai berikut :

- a) laju alir
- b) diameter dalam pipa
- c) kekasaran permukaan dalam pipa
- d) panjang pipa
- e) perubahan arah (misal adanya elbow)

Penurunan tekanan ini disebut dengan *friction loss*. Semakin panjang media alir, maka *friction loss* akan semakin besar pula. Untuk media alir yang berbentuk tabung dengan diameter D dan panjang L, besarnya *friction loss* didefinisikan dengan Persamaan (3) dibawah ini.

$$f = \frac{1}{4} \left(\frac{D}{L} \right) \left(\frac{P_0 - P_L}{\frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^2} \right) \quad (3)$$

dengan :

- f : *friction loss*

- D : diameter penampang aliran
L : panjang media alir
 $P_0 - P_L$: beda tekanan di kedua ujung aliran
 ρ : massa jenis fluida
v : laju alir fluida

3. TATAKERJA

3.1. Sistem Sirkulasi Air Tangki

Sistem sirkulasi air tangki dibuat dalam suatu loop tertutup yang terdiri dari beberapa bagian:

1. Tangki reaktor, posisi dimana air akan dialirkan dalam sistem sirkulasi.
2. Tabung/kotak marinelli, bagian dimana air akan mengalami perlakuan pencacahan oleh detektor gamma. Bagian ini berupa wadah berbentuk kubus dengan dimensi panjang, lebar, dan tinggi masing-masing 28 cm, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kotak ini memiliki lubang inlet tempat air mengalir masuk dari tangki reaktor, dan sebuah lubang outlet yang akan mengalirkan air menuju bagian selanjutnya untuk kemudian akan dikembalikan menuju tangki reaktor.
3. Tong penampungan, berupa bejana air berbentuk silinder dengan diameter 50 cm dan tinggi 100 cm, berfungsi sebagai penampungan air sementara dari bagian marinelli untuk dialirkan kembali menuju tangki dengan menggunakan pompa. Bentuk tong ditunjukkan oleh Gambar 3. Slang yang terlihat pada bagian atas berfungsi sebagai saluran masukan, dan yang terlihat pada bagian bawah berfungsi

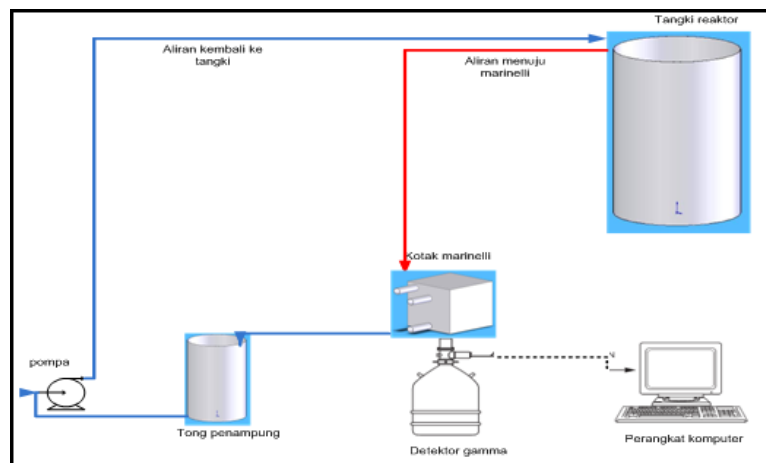
sebagai saluran keluaran, yang terhubung dengan sebuah pompa air.

4. Pompa air dihubungkan dengan saluran keluaran dari tong penampungan. Pompa ini berfungsi untuk mengalirkan air kembali ke tangki reaktor. Pada sistem pengujian ini digunakan pompa dengan kapasitas 1,2 HP \approx 882,6 watt. Mengingat laju aliran masukan yang cukup kecil dibandingkan dengan daya sedot pompa dalam mengalirkan air, maka pompa tidak selalu dinyalakan. Air dibiarkan dahulu memenuhi tong penampungan sampai pada ketinggian $\frac{3}{4}$ tinggi tong, selanjutnya pompa dinyalakan untuk mengembalikan air ke tangki reaktor.

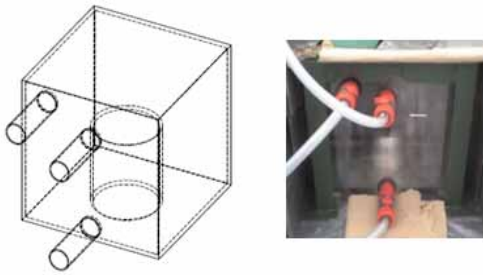
3.2. Aliran Air menuju kotak marinelli

Air mengalir dari tangki menuju kotak marinelli secara gravitasi. Hal ini dimungkinkan karena ketinggian tangki reaktor cukup memberikan beda potensial terhadap posisi kotak marinelli. Tinggi tangki reaktor 7 meter dan kotak marinelli ditempatkan pada ketinggian 80 cm dari lantai. Dengan merujuk pada teori dasar hukum kekekalan energi yang terwujud dalam persamaan matematis *Bernoulli*, maka air akan mengalir secara gravitasional dari tangki reaktor menuju kotak marinelli.

Air dialirkan melalui selang plastik dengan diameter $\frac{3}{8}$ inci. Debit aliran masuk menuju kotak marinelli terukur sebesar 5,1 liter/menit dengan bukaan kran maksimum. Pada bagian outlet debit aliran air lebih rendah daripada inlet. Untuk itu pada bagian pangkal lubang masukan dan keluaran dipasangkan kran untuk mengatur besarnya laju aliran air.



Gambar 1. Skema sistem pengujian



Gambar 2. Kotak Marinelli



Gambar 3. Tong Penampungan



Gambar 4. Pompa air

3.3. Kondisi air dalam marinelli

Kotak marinelli memiliki panjang 28 cm, lebar 28 cm, dan tinggi 28 cm. Namun ketinggian air yang masuk ke dalamnya dijaga

sampai ketinggian 16 cm. Ketinggian ini sudah cukup karena air sudah melingkupi seluruh badan detektor. Untuk menjaga agar ketinggian air tidak berubah maka diperlukan pengaturan bukaan kran masukan dan keluaran secara manual. Pada saat inilah proses pencacahan berlangsung.

3.4. Aliran keluaran dari marinelli

Air mengalir keluar dari marinelli menuju suatu bak penampungan, dengan debit aliran sebesar 2,2 liter/menit dengan bukaan kran maksimum. Bak penampungan dibuat sebagai suatu media penampungan air sementara, untuk selanjutnya akan dikembalikan menuju tangki reaktor. Ketinggian air dalam bak penampungan harus dijaga, sehingga pada saat penuh pompa dapat segera dinyalakan untuk mengembalikan air kembali ke tangki reaktor, sehingga ketinggian air tangki reaktor tetap berada pada posisi yang diizinkan.

3.5. Proses pengoperasian sistem

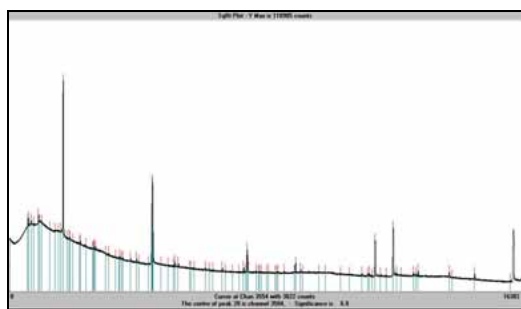
Adapun urutan langkah dalam mengoperasikan sistem ini, antara lain :

1. Mengarahkan ujung slang yang berada di dalam tangki reaktor ke arah lokasi yang akan diuji.
2. Membuka kran masukan air pada kotak marinelli. Untuk sementara kran keluaran dibiarkan tertutup dahulu untuk membiarkan air memenuhi ketinggian yang diinginkan. Apabila sudah tercapai maka kran keluaran dibuka. Biarkan air mengalir untuk beberapa menit, agar dicapai kondisi aliran yang cukup tunak, dan untuk memastikan volume aliran yang akan dicacah adalah berasal dari lokasi yang diinginkan.
3. Mengatur bukaan kran masukan sehingga volume air tetap stabil pada ketinggian yang diinginkan. Pada awal pengoperasian, sistem aliran air dibiarkan beberapa saat untuk memastikan bahwa radioaktivitas pada volume air yang akan dicacah berasal dari lokasi yang diinginkan pada tangki reaktor, bukan volume air sisa yang berada dalam saluran slang.
4. Diperlukan dua sampai tiga orang operator dalam mengoperasikan sistem pengujian ini. Pada bagian bak penampungan butuh perhatian lebih, untuk menjaga ketinggian air agar tidak terlalu penuh. Hal ini perlu dijaga karena untuk menjaga kestabilan ketinggian air pada tangki reaktor.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit aliran masuk sebesar 5,1 liter per menit. Dengan menggunakan hubungan matematis pada Persamaan (2), maka akan diperoleh bilangan *Reynolds* sebesar $11362,24266 \approx 11362$. Dengan memperhatikan bilangan *Reynolds* tersebut, maka laju aliran air masukan cukup tinggi dan dapat dikategorikan dalam jenis aliran turbulen. Artinya laju aliran masukan dengan menggunakan prinsip gravitasi sudah mencukupi tanpa harus ditambah pompa. Kemudian kembali dengan merujuk hubungan matematis pada Persamaan (3) dan memperhatikan bahwa $D \ll L$, dengan, $D = 3/8$ inch dan $L = 25,01$ meter, L adalah panjang selang aliran masukan untuk marinelli, kemudian kecepatan aliran yang terjadi pada ujung selang cukup besar, maka besarnya *friction loss* yang terjadi dapat diabaikan karena bernilai sangat kecil.

Kondisi aliran masukan tersebut dijaga selama proses pencacahan berlangsung. Ketinggian air dalam tabung marinelli dijaga pada ketinggian 17 cm. Hal ini sudah cukup membenamkan seluruh badan detektor, sehingga proses pencacahan dapat berlangsung dengan baik. Debit aliran air masukan lebih besar karena beda potensial antara tinggi tangki reaktor dengan dudukan detektor cukup besar. Namun debit keluaran lebih kecil karena beda potensial antara posisi dudukan detektor dan bak penampungan sementara tidak cukup besar, untuk itu diperlukan pengaturan bukaan kran masukan sehingga keseimbangan volume tetap terjaga selama proses pencacahan berlangsung. Untuk mengembalikan air ke tangki reaktor digunakan pompa air dengan kapasitas daya sebesar 1,2 HP atau setara dengan 882,6 watt.



Gambar 5. Spektrum gamma air tangki reaktor

Ketinggian air tangki tidak mengalami perubahan yang berarti akibat adanya sistem ini. Besarnya penurunan ketinggian air tangki total sama dengan volume air dalam marinelli

ditambah dengan volume air dalam selang plastik yang terhubung antara tangki reaktor dan kotak marinelli. Dari spektrometer gamma akan didapatkan hasil pencacahan yang berupa spektrum energi yang mengindikasikan ada tidaknya radionuklida yang terlarut dalam air tangki reaktor, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

5. KESIMPULAN

Telah dirancang dan dibuat sebuah sistem pemantauan radioaktivitas air tangki reaktor TRIGA 2000 secara *on-line* dengan menggunakan spektrometer gamma. Sistem bekerja dengan baik mencacah radioaktivitas air reaktor yang mengalir pada suatu tabung marinelli yang ditempatkan pada detektor gamma. Sistem pengujian bekerja dengan debit aliran masukan sebesar 5,1 liter/menit dan debit aliran keluaran sebesar 2,2 liter/menit. Dengan memperhatikan parameter diameter selang, panjang selang dan laju alir masukan, maka *friction loss* yang timbul dapat diabaikan. Sistem aliran dibiarkan tunak selama selang waktu pencacahan, dan dijaga pada ketinggian 17 cm dalam tabung marinelli. Sistem ini dapat dioperasikan pada kondisi reaktor mati maupun dalam kondisi reaktor beroperasi.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada seluruh personil operator reaktor yang banyak memberikan dukungan tenaga dalam perancangan dan pembuatan sistem ini secara menyeluruh sampai dengan pengoperasiannya.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. SUDJATMI, K.A., RASITO, PUTRANTO ILHAM Y., DEDI SUMARNA, Deteksi Kebocoran Kelongsong Elemen Bakar Reaktor TRIGA 2000 Dengan Metode Uji Cicip (Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN, Jakarta 2-3 Agustus 2006), Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta (2006) 851.
2. BIRD, R. BYRON, STEWART, WARREN E., LIGHTFOOT, EDWIN N., Transport Phenomena, 2nd Edition, John Willey & Sons, (2002) 52, 178.

3. **HUNTER IRRIGATION INNOVATOR**, Friction Loss Tables.
4. Available : <http://Hunterindustries.com>
5. **WHITE, FRANK M.** Fluid Mechanics Fourth Edition, University of Rhode Island, Mc-Graw Hill, (1998) 174