

# METODE PEMANTAUAN TAKARAN RADIASI DI LUAR PIPA UAP PLTN-BWR

Oleh :

Ir. Agus Budhie Wijatna<sup>\*)</sup>

## Intisari

Uap yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir tipe reaktor air mendidih (PLTN-BWR) bersifat radioaktif, sehingga meskipun PLTN tersebut telah dikungkung dengan tameng biologis (biological shield) masih diperlukan pemantauan tingkat radioaktivitas di luar permukaan pipa yang dilewati uap secara terus menerus.

Tulisan ini membahas suatu metode pengukuran takaran (dose) radiasi pada titik koordinat tertentu di luar pipa dengan menganggap aliran uap dalam pipa adalah mantap dan kekuatan sumber radiasi di seluruh permukaan pipa adalah uniform sehingga pipa tersebut dapat dianggap sebagai sumber radiasi external.

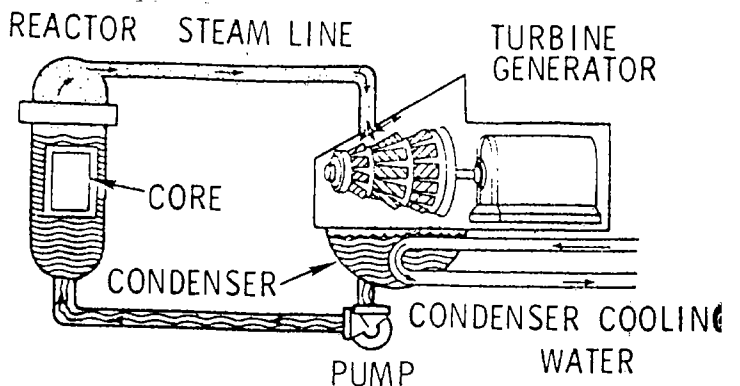
Dari uraian ini nampak bahwa laju takaran (dose rate) tertinggi terletak pada daerah yang tegak lurus terhadap tengah-tengah panjang pipa, karena itu dalam desain pintu masuk ruang kontrol tidak boleh diletakkan dalam daerah tersebut.

## Pendahuluan

Dewasa ini kebutuhan listrik di dunia kebanyakan dipenuhi dengan menggunakan siklus uap. Air dalam ketel uap (boiler) dipanaskan untuk menghasilkan uap dengan membakar bahan bakar fosil dan kemudian uap memutar sistem turbogenerator untuk menghasilkan listrik.

Siklus uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir mempunyai banyak persamaan dengan sistem pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Perbedaan yang paling mendasar adalah pada PLTN sumber bahang (heat source) berupa reaktor nuklir yang terletak di dalam pembangkit uap (steam generator) atau dapat pula di dalam bejana tekan reaktor (reactor pressure vessel), bahkan di dalam PLTN tipe reaktor air mendidih (BWR, Boiling Water Reactor), uap dihasilkan secara langsung dari bejana yang di dalamnya terdapat teras reaktor nuklir.

PLTN-BWR menggunakan prinsip siklus uap langsung seperti terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir PLTN-BWR (Knief, R.A., 1961)

Dalam siklus langsung ini, pendingin air mengalir melalui bahan bakar dalam teras dan mengambil sejumlah bahan untuk proses pendidihan; dengan demikian uap PLTN-BWR berasal dari bejana reaktor. Hal ini menyebabkan uap yang dihasilkan bersifat radioaktif, terutama unsur nitrogen-16 sebagai hasil reaksi  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$ , dengan umur paruh 7,2 detik dengan memancarkan radiasi foton gamma 6,1 Mev dan unsur Argon-41 sebagai hasil aktivasi

<sup>\*)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Nuklir, Fak. Teknik UGM.

$^{40}\text{A}(n, \gamma)^{41}\text{A}$  yang berumur paruh 1,8 jam dengan memancarkan radiasi foton gamma 1,29 MeV. mengingkat umur paruhnya yang pendek, maka unsur-unsur tersebut hanya berbahaya pada saat reaktor beroperasi. Oleh karena itu meskipun PLTN-BWR telah dikungkung dengan tameng biologis masih diperlukan pemantauan tingkat paparan radiasi pada semua sistem yang dilewati oleh uap, hasil dari pemantauan ini di samping bermanfaat untuk tujuan proteksi radiasi juga bermanfaat untuk studi yang menyangkut aspek-aspek keselamatan reaktor.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk tujuan pemantauan tersebut adalah dengan mengasumsikan aliran uap dalam pipa adalah mantap (steady state) dan kekuatan sumber radiasi dipermukaan pipa yang ditinjau dianggap uniform dan konstan, sehingga dengan asumsi-asumsi tersebut pipa yang dialiri uap radioaktif dapat diperlakukan sebagai radiasi external. Dengan demikian tingkat radiasi pada koordinat tertentu di luar permukaan pipa hanya merupakan fungsi waktu, jarak dan tameng; dalam tulisan ini tidak ditinjau adanya tameng diantara pipa dengan koordinat titik yang diamati dan waktu pengamatannya konstan, oleh karena itu takaran radiasi pada koordinat titik tersebut hanya merupakan fungsi jarak saja. Akan ditinjau beberapa koordinat titik yang berjarak sama terhadap permukaan pipa kemudian ditentukan koordinat titik yang paling tinggi penerimaan takaran radiasinya.

### Pembahasan dan Contoh Perhitungan

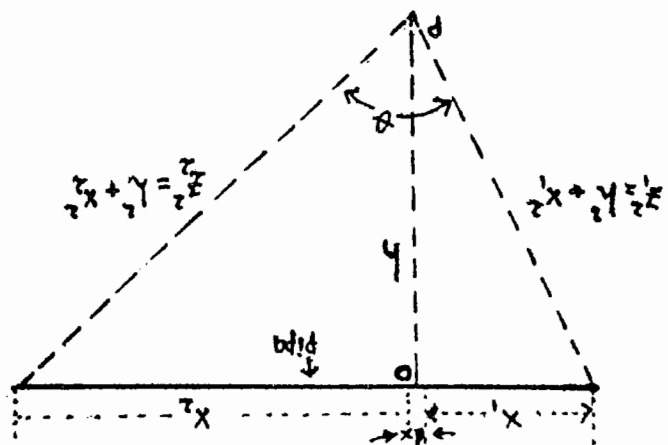
#### Pembahasan

Jika ditinjau pipa uap sepanjang X dan konsentrasi linear aktivitas dari sumber radiasi adalah  $C_i$  curie persatuan panjang pipa seperti pada Gambar 2 maka laju takaran di koordinat titik P yang berjarak h dari permukaan pipa sepanjang dx adalah (Anderson dkk, 1969) :

$$dD_p = \frac{r \cdot C_i \cdot dx}{x^2 + h^2} \dots \dots \dots (1)$$

sehingga untuk laju dosis total pada koordinat titik P adalah :

$$D_p = rC_i \int_{-x_1}^{x_0} \frac{dx}{x^2 + h^2} + rC_i \int_0^{x_0} \frac{dx}{x^2 + h^2} \quad (2)$$



Gambar 2. Paparan sumber radiasi bentuk pipa

$$= \frac{rC_i}{h} \left( \text{arc tg } \frac{x_1}{h} + \text{arc tg } \frac{x_2}{h} \right) \dots \dots (3)$$

Dari Persamaan (3) di atas nampak bahwa untuk mengetahui laju dosis pada suatu titik koordinat tertentu yang diamati, perlu dihitung lebih dahulu kekuatan sumber radiasi pada permukaan sumber atau laju dosis pada jarak tertentu, yaitu dengan menggunakan persamaan 4 (Anderson dkk, 1969).

$$r = 1,49 \times 10^{-5} \sum_i (2 f_i \times E_i \times \mu_i) \frac{\text{Roentgen} \cdot \text{meter}^2}{\text{Ci jam}} \dots \dots (4)$$

- Yang mana  $f_i$  = fraksi foton ke i per disintegrasi foton/dis)
- $E_i$  = energi foton ke i (MeV)
- $\mu_i$  = koefisien absorpsi linear foton ke i di udara ( $\text{cm}^{-1}$ ).

Karena untuk energi kuantum antara 60 keV s/d 2 MeV harga koefisien absorpsi linear,  $\mu_i$  sekitar  $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$  maka persamaan 4 dapat disederhanakan menjadi :

$$r = 0,48 \sum (f_i \cdot E_i) \frac{\text{Roentgen meter}^2}{\text{Ci jam}} \dots \dots (5)$$

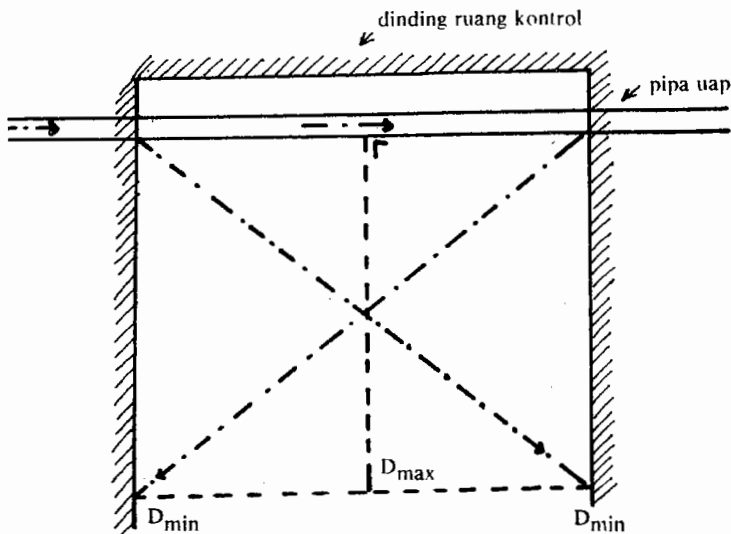
karena r,  $C_i$  dan h mempunyai harga yang konstan, maka :

$$D_p = \text{fungsi} \left( \underbrace{\text{arc tg } \frac{x_1}{h}}_{y_1} + \underbrace{\text{arc tg } \frac{x_2}{h}}_{y_2} \right) \quad (6)$$

Berdasarkan peubah yang terdapat dalam Persamaan (6), akan dihitung titik koordinat mana yang paling tinggi laju takarannya jika jarak titik koordinat terhadap permukaan pipa uap ( $h$ ) dibuat sama.

### Contoh Perhitungan

Ditinjau ruang pemantauan pipa uap seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Ruang kontrol laju dosis pipa uap PLTN—BWR

Panjang pipa yang diamati,  $x = 200$  cm jarak pipa uap ke dinding pintu masuk,  $h = 300$  cm. Berdasarkan data-data di atas dan dengan menggunakan persamaan 6 diperoleh tabel sebagai berikut :

$x_1$ (cm)	$x_2$ (cm)	$y_1$	$y_2$	$y$
0	200	0	0,588	0,588
25	175	0,08	0,528	0,536
50	150	0,165	0,464	0,629
75	125	0,245	0,395	0,640
100	100	0,322	0,322	0,644
125	75	0,395	0,245	0,640
150	50	0,464	0,165	0,629
175	25	0,528	0,08	0,536
200	0	0,588	0	0,588

Dari tabel di atas nampak bahwa nilai terbesar dari  $y$  terletak pada titik koordinat yang tegak lurus terhadap tengah-tengah pipa yang diamati.

### Kesimpulan

Dalam desain ruang kontrol atau ruang pemantauan laju dosis radiasi, pintu masuk ke dalam ruang tersebut tidak boleh diletakkan tepat tegak lurus terhadap tengah-tengah pipa uap, karena laju dosis pada posisi tersebut adalah tertinggi.

### Daftar Pustaka

1. Anderson, E.E., 1969, *Introduction to health physics* Pergamon Press Ltd, Great Britain, hal. 162 — 164; 280 — 284.
2. Connolly, T.J., 1976, *Foundations of Nuclear Engineering*, John Wiley & Sons, New York, hal. 166 — 169.
3. Knief, R.A., 1981, *Theory and Practice of Commercial Nuclear Power*, McGraw-Hill Book Company, New York, hal. 303 — 304.
4. Martin, A., 1979, *Introduction to Radiation Protection*, Chapman and Hall, hal. 143 — 149.