

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teoritis

1. Neutron

Neutron adalah zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Atom tersusun dari proton, neutron dan elektron. Proton dan neutron sebagai penyusun inti atom, sedangkan elektron bergerak mengelilingi inti atom. Neutron dalam inti seperti sinar gamma dapat menembus suatu bahan dengan mudah. Interaksi neutron dengan inti atom berbeda dengan interaksi partikel radioaktif.

Neutron merupakan zarah elementer penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Energi diam sebuah neutron m_n hampir sama dengan massa sebuah proton, yaitu sebesar $1,67492 \times 10^{-24}$ gram atau $939,6 \text{ MeV}/c^2$ (Wisnu Susetyo, 1988:5). Neutron dilambangkan dengan ${}_0^1n$, sedangkan cacah neutron dalam inti atom biasa dilambangkan dalam huruf N .

Neutron bukan partikel yang mantap di luar inti. Neutron bebas meluruh secara radioaktif menjadi sebuah proton, sebuah elektron dan sebuah antineutrino dengan umur rata-rata 15,5 menit. Neutron memiliki energi diam $937,57 \text{ MeV}$ dan momen magnetik (μ_N) sebesar $-1,9135$ (Yusman Wiyatmo, 2009:21)

a. Interaksi Neutron dengan Materi

Inti atom terdiri dari sejumlah proton dan neutron. Proton merupakan pembentuk partikel inti bermuatan positif, neutron tidak bermuatan listrik, bebas dari pengaruh medan listrik coulomb dan medan magnet. Dengan sifat ini

menyebabkan interaksi neutron dengan materi dapat terjadi terhadap inti atom. Apabila sebuah neutron bergerak mendekati suatu inti atom dan memasuki daerah medan pengaruhnya maka ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi. Kemungkinan pertama, neutron akan menumbuk inti dan sesudah tumbukan neutron dibelokkan arahnya dari arah semula dengan membentuk sudut θ dan inti atom akan terpental, peristiwa seperti ini disebut reaksi hamburan (*scattering*). Kemungkinan kedua, neutron masuk ke dalam inti atom dan tidak lagi merupakan badan yang berdiri sendiri, peristiwa ini disebut reaksi tangkapan (*capture*). Bila reaksi tangkapan neutron ini disertai dengan pancaran radiasi γ maka dapat digolongkan dalam reaksi (n, γ) . Inti atom baru terbentuk sebagai akibat tangkapan neutron ini dapat bersifat mantap dan tidak mengalami perubahan lagi, dapat pula bersifat tidak mantap dan akan mengalami proses peluruhan radioaktif. Dalam kedua hal reaksi (n, γ) di atas, reaksinya tetap disebut reaksi tangkapan atau reaksi absorpsi radioaktif.

1) Reaksi Hamburan (*scattering*)

Reaksi hamburan adalah sebuah proses yang hasil akhirnya hanyalah merupakan pemindahan energi dari satu partikel (inti) ke partikel lainnya. Reaksi hamburan sangat berguna untuk moderasi (perlambatan) terhadap neutron cepat. Jika neutron mencapai energi thermal maka tampang lintang fisi menjadi lebih luas.

Reaksi hamburan ada dua jenis yaitu :

a) Hamburan lenting sempurna (*elastis*)

Pada proses hamburan lenting sempurna (*elastis*) adalah proses tumbukan antara neutron dengan inti atom yang sedemikian sehingga

tidak terjadi perubahan energi gerak dari neutron dan inti atom sebelum dan sesudah reaksi tumbukan.

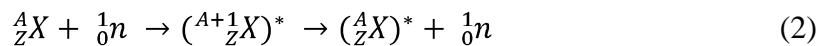
Contoh reaksi :



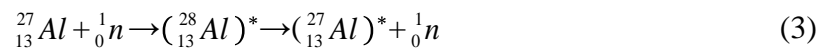
b) Reaksi hamburan tak lenting (*inelastis*)

Pada reaksi ini neutron menyerahkan sebagian tenaga kinetiknya kepada inti atom materi, sehingga inti atom menjadi tereksitasi. Inti atom yang tereksitasi menjadi tidak stabil dan akan kembali menjadi stabil dengan memancarkan radiasi gamma (Suratman, 2001:9).

Proses hamburan inelastis :



Contoh reaksi :



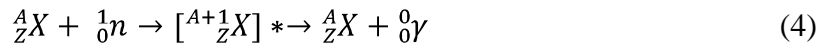
2) Reaksi Tangkapan

Selain dihamburkan neutron juga memiliki reaksi bentuk lain yang memungkinkan untuk neutron dapat diserap atau ditangkap oleh suatu inti atom :

a) Pemancaran sinar gamma

Reaksi pemancaran sinar gamma termasuk ke dalam tangkapan radiatif. Tangkapan radiatif adalah semua reaksi yang ditimbulkan oleh tangkapan neutron dan tidak mengalami pembelahan (Pratoyo,1978:5). Pada reaksi pemancaran sinar gamma, neutron ditangkap oleh inti dan menyebabkan inti kelebihan energi. Kelebihan energi kemudian dipancarkan dalam bentuk sinar gamma γ sehingga inti kembali normal

atau *ground state*. Proses pemancaran sinar gamma pada tangkapan elektron ditunjukkan sebagai berikut (Samuel Glasstone, 1963:39):



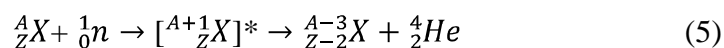
b) Reaksi Fisi

Beberapa proses fisi terjadi secara spontan. Biasanya fisi dihasilkan hanya jika sejumlah energi yang cukup diberikan kepada inti melalui tangkapan neutron lambat, atau penembakan dengan neutron, proton, deuteron atau sinar gamma. Pada proses reaksi fisi, neutron ditangkap oleh inti atom sehingga menghasilkan inti atom majemuk yang bersifat sangat tidak stabil. Dalam waktu singkat ini atom majemuk ini akan membelah menghasilkan 2 belahan utama dan melahirkan 2 sampai 3 neutron baru disertai beberapa partikel dan timbulnya tenaga (Yusman Wiyatmo, 2006:236)

c) Pelontaran partikel bermuatan $(n, \alpha), (n, p)$

Reaksi neutron lambat disertai oleh pemancaran partikel bermuatan seperti alpha dan proton. Pada reaksi ini agar dapat keluar dari inti, partikel bermuatan harus mempunyai energi yang cukup untuk mengatasi rintangan potensial. Sebagian energi diperoleh dari neutron yang ditangkap.

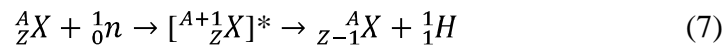
Proses pemancaran partikel bermuatan (n, α) tampak pada persamaan (4) sebagai berikut :



Contoh reaksi :



Sedang reaksi (n,p) dapat ditulis menjadi :



Contoh reaksi :



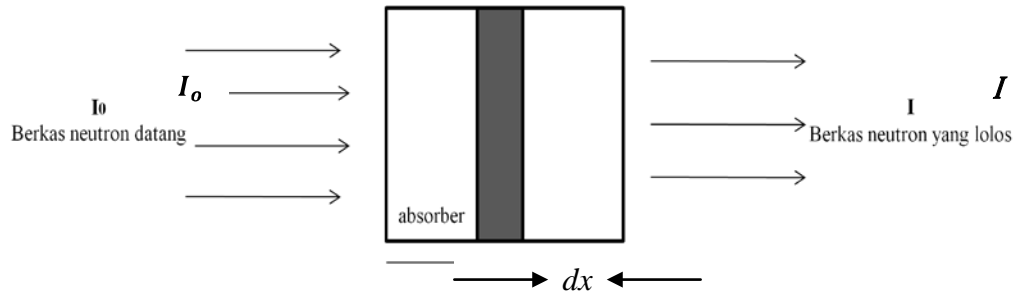
2. Tampang Lintang

Tampang lintang dari satu inti bahan terhadap neutron merupakan suatu ukuran kebolehjadian terjadinya interaksi antara inti bahan tersebut dengan neutron yang datang. Tampang lintang dari satu inti disebut sebagai tampang lintang mikroskopik sedangkan tampang lintang total dari suatu bahan disebut tampang lintang makroskopik ($\Sigma_{act} = N\sigma_{act}$) (Syarif,2006:6).

Interaksi neutron dengan bahan dinyatakan dalam besaran fisis tampang lintang (*cross section*). Tampang lintang digunakan sebagai cara untuk menggambarkan interaksi neutron dengan partikel inti dalam materi. Misal suatu target memiliki luas penampang A dan tebal x yang mengandung n atom persatuan volume, dikenai berkas neutron fluks (ϕ). Interaksi yang terjadi sebanding dengan fluks neutron, rapat atom, luas target dan ketebalan target. Pada saat neutron menembus bahan, neutron akan mengalami hamburan dan serapan dengan dengan tiga prinsip mekanisme seperti hamburan elastis, hamburan tak elastis dan penyerapan neutron.

Dalam menilai kemampuan bahan perisai menyerap neutron biasanya digunakan koefisien serapan atomik atau penampang interaksi mikro (tampang lintang mikroskopis) σ , yang menunjukkan kemungkinan setiap atom bahan

penyerap berinteraksi dengan neutron. Untuk tenaga neutron yang berbeda maka akan mempunyai tampang serapan yang berbeda pula. Satuan tampang lintang neutron adalah barn, 1 barn sama dengan 10^{-24} cm^2 . Pada gambar 1 berikut ini dapat dilihat gambar penyerapan neutron dalam material dengan ketebalan x .



Gambar 1 Penyerapan Neutron dalam Material dengan Ketebalan x .

Dalam perhitungan teoritis Δx dipilih sedemikian hingga $nA \Delta x = 1$, dengan demikian fluks zarah dapat dituliskan :

$$\frac{I}{A} = n_a v_a \quad (9)$$

Dengan n_a dan v_a secara berurutan menyatakan jumlah zarah proyektil persatuan volume, dan kecepatan relatif zarah proyektil dengan inti target.

Jika tampang lintang inti diketahui maka dapat ditentukan yield N dari hasil reaksi, yakni :

$$N = n \sigma \Delta x l \quad (10)$$

Di sini diasumsikan bahwa ketebalan lempeng sangat tipis sehingga tidak terjadi kehabisan berkas. Jika lempeng cukup tebal, maka asumsi tersebut tidak berlaku, karena setiap reaksi menghabiskan satu berkas zarah. Untuk ketebalan bahan dx , diperoleh :

$$dN = - dl = n \sigma \Delta d l \quad (11)$$

Dengan mengintegrasikan ke seluruh ketebalan lempeng t, diperoleh :

$$I_t = I_0 e^{-n\sigma t} \quad (12)$$

Kuantitas $n \sigma$ dikenal sebagai koefisien pelemahan (*atenuasi*) berkas. Rasio I_t/I_0 dikenal sebagai transmisi keping.

Laju interaksi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R = \sigma \Phi n A \Delta x \quad (13)$$

Dengan σ menyatakanampang lintang target, Φ adalah fluks neutron, n adalah banyaknya inti per cm^3 , A massa atom dan Δx jarak yang ditempuh neutron. Tampang lintang mikroskopis tersebut didefinisikan sebagai laju reaksi per atom dalam target persatuan berkas neutron yang datang.

Tampang lintang total merupakan gabungan atau jumlah tampang lintang berbagai jenis interaksi yang terjadi antara neutron dengan inti atom. Secara matematis dapat ditulis:

$$\sigma_t = \sigma_i + \sigma_{in} + \sigma_f + \sigma_\gamma + \sigma_\alpha + \sigma_p \quad (14)$$

$$\sigma_a = \sigma_f + \sigma_\gamma + \sigma_\alpha + \sigma_p \quad (15)$$

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_i + \sigma_{in} \quad (16)$$

Dengan σ_t menyatakanampang lintang interaksi total, σ_i adalah tampang lintang hamburan elastis, σ_{in} tampang lintang hamburan inelastis, σ_γ tampang lintang reaksi (n, γ), σ_α tampang lintang reaksi (n, α), σ_p tampang

lintang reaksi (n,p), σ_a tampang lintang reaksi serapan dan σ_f tampang lintang reaksi fisi.

Jika luas tampang lintang mikroskopis berlaku untuk penampang satu inti atom, maka Σ adalah parameter yang berhubungan dengan luas penampang semua inti atom yang ada pada satuan volume materi. Oleh karena itu Σ didefinisikan sebagai tampang lintang makroskopis yang besarnya:

$$\begin{aligned}\Sigma &= N\sigma_i \\ &= \frac{\rho}{A} N_A \sigma_1\end{aligned}\tag{17}$$

Dengan ρ menyatakan kerapatan massa materi (gram/cm³), A adalah massa atom, N adalah rapat atom yang dapat dihitung dari rapat jenis bahannya dan N_A bilangan Avogadro yaitu $6,023 \times 10^{23}$ (atom/mol)

Dalam perhitungan secara teori maupun eksperimen tampang lintang untuk reaktor nuklir sangat kompleks sehingga untuk memudahkan dalam perhitungan dapat digunakan tabel. Besarnya tampang lintang mikroskopis selalu berubah terhadap besarnya tenaga neutron dan temperatur. Harga tampang lintang mikroskopis bernilai relatif besar pada tenaga neutron thermal (lambat) dan bernilai relatif kecil pada tenaga neutron cepat.

3. Metode Pengukuran Fluks

Fluks neutron adalah banyaknya neutron yang lewat pada tiap satuan luas per sekon. Secara matematis dapat ditulis (Teuku Alfa,2005:19)

$$\phi = n v\tag{18}$$

Dengan ϕ menyatakan fluks neutron ($n \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$), n adalah banyaknya neutron (n/cm^3), v kecepatan neutron (cm/s).

ϕ_{τ} Fluks neutron total yaitu fluks neutron yang terdeteksi oleh keping emas (Au) yang tidak terbungkus oleh Cadmium, ϕ_C fluks neutron cepat yaitu fluks neutron yang terdeteksi oleh keping emas (Au) yang dibungkus oleh Cadmium dan ϕ_{th} fluks neutron thermal.

$$\phi_{th} = \phi_{\tau} - \phi_C \quad (19)$$

Pada penelitian ini pengukuran fluks neutron thermal di fasilitas iradiasi pusat teras dilakukan untuk mengetahui seberapa besar fluks neutron thermal dan bagaimana karakteristik distribusi fluks neutron thermal fasilitas pusat teras. Pada penelitian ini pengukuran fluks neutron dengan metode aktivasi.

a. Metode Aktivasi

Pengukuran fluks neutron dengan metode aktivasi detektor keping dilakukan dengan cara meletakkan materi tertentu di dalam medan neutron sehingga akan terjadi reaksi antara inti atom dengan neutron. Dari reaksi tersebut akan terjadi inti dalam keadaan tereksitasi yang bersifat radioaktif dan memancarkan zarah α , β, γ atau β dan γ , α dan γ secara serentak. Pada setiap materi mempunyaiampang lintang dan tenaga ambang yang berbeda, sehingga paparan zarah yang ditimbulkan dari masing-masing inti yang beraksi dengan neutron menjadi berbeda-beda. Oleh karena itu hasil paparan zarah radioaktif yang dipancarkan akan sebanding dengan kerapatan fluks neutron dan tampang lintang dari masing-masing materi.

Kecepatan reaksi R suatu materi yang diaktivasi dalam medan neutron dengan fluks neutron sebesar ϕ adalah:

$$R = N\sigma_{act} \phi V \quad (20)$$

Dengan N menyatakan jumlah inti atom tiap satuan volume, σ_{act} adalahampang lintang aktivasi mikroskopis materi (cm^2), ϕ fluks neutron ($\text{n cm}^{-2} \text{s}^{-1}$), dan V volume materi teraktivasi (cm^3).

Pada saat terbentuk isotop radioaktif hasil reaksi juga terjadi peluruhan sebesar λN secara bersamaan, untuk N adalah banyaknya atom isotop radioaktif dan λ adalah konstanta peluruhannya. Jadi laju perubahan jumlah isotop radioaktif adalah:

$$\frac{dN}{dt} = N_0\sigma_{act}\phi V - \lambda N \quad (21)$$

Apabila persamaan (21) diintegrasikan untuk selang waktu irradiasi t_1 akan didapat isotop radioaktif sebesar:

$$N_1 = N_0\sigma_{act}\phi V \left[\frac{1 - e^{-\lambda t_1}}{\lambda} \right] \quad (22)$$

Aktivitasnya adalah:

$$\lambda N_1 = \Sigma_{act}\phi V (1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (23)$$

$\Sigma_{act} = N_0\sigma_{act}$ = tampang lintang aktivasi makroskopis

Untuk lama waktu irradiasi t_1 sampai tak terhingga, didapat λN_1 dalam keadaan jenuh dengan aktivitas sebesar:

$$As = k \sum_{act} \phi V \quad (24)$$

dengan k adalah konstanta

Pada saat berakhirnya waktu irradiasi t_2 besarnya aktivitas adalah:

$$A = As(1 - e^{-\lambda t_1}) \quad (25)$$

Bila pencacahan dilakukan pada saat t_2 , maka ada peluruhan selama waktu tunggu $(t_2 - t_1)$ dan aktivitasnya pada saat t_2 adalah:

$$\begin{aligned} A_2 &= A_1(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \\ &= As(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)}) \end{aligned} \quad (26)$$

oleh karena itu,

$$As = \frac{A_2}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2-t_1)})} \quad (27)$$

Kemudian jumlah cacah radiasi yang dipancarkan bila dilakukan pencacahan selama selang waktu $(t_3 - t_2)$, dengan aktivasi selama t_1 dan waktu tunggu selama $(t_2 - t_1)$ adalah:

$$C = \int_0^{t_3-t_1} A dt \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
&= As(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2 - t_1)}) \int_0^{t_3 - t_2} e^{-\lambda t} dt \\
&= \frac{As}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2 - t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3 - t_2)})
\end{aligned}$$

$$As = \frac{\lambda C}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2 - t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3 - t_2)})} \quad (29)$$

Bila persamaan (24) disubstitusikan ke persamaan (29) akan didapat:

$$k\Sigma_{act}\phi V = \frac{\lambda C}{(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2 - t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3 - t_2)})}$$

$$\phi = \frac{\lambda C}{kV\Sigma_{act}(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda(t_2 - t_1)})(1 - e^{-\lambda(t_3 - t_2)})} \quad (30)$$

$$\phi = \frac{\lambda C\rho}{kBc\Sigma_{act}(1 - e^{-\lambda t_1})(e^{-\lambda t_2 - t_1})(1 - e^{-\lambda t_3 - t_2})} \quad (31)$$

Dengan C menyatakan jumlah cacah, λ adalah konstanta peluruhan (s^{-1}), ϕ fluks neutron ($n \text{ cm}^{-2} s^{-1}$), V volume materi (cm^3), Σ_{act} tampang lintang aktivasi makroskopis (cm^{-1}), k konstanta (efisiensi detektor), t_1 lama waktu irradiasi (s), $(t_2 - t_1)$ lama waktu tunggu sebelum dicacah (s) dan $(t_3 - t_2)$ lama waktu pencacahan (s). Persamaan (29) disubstitusikan ke persamaan (31) didapat:

$$\phi = \frac{As}{k\Sigma_{act}V}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{As}{kN\sigma_{act}V} \\
&= \frac{As}{k\frac{\rho}{A}N\sigma_{act}V} \\
&= \frac{AsA}{kN_A\sigma_{act}Bc} \tag{32}
\end{aligned}$$

Dengan N menyatakan jumlah inti atom tiap satuan volume ($\rho/A N_A$), N_A adalah bilangan Avogadro ($6,023 \times 10^{23}$ atom/mol), A nomor massa, ρ kerapatan massa cuplikan (gram cm^{-3}), B_c massa cuplikan (gram), V volume cuplikan (cm^3), σ_{act} tampang lintang aktivasi mikroskopis (cm^2), As aktivasi cuplikan (cps), Φ fluks neutron ($\text{n cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) dan k konstanta (efisiensi detektor). Bila didefinisikan:

$t_1 = t_i$ (lama waktu irradiasi) yaitu waktu pada saat mulai irradiasi sampai selesai irradiasi.

$(t_2 - t_1) = t_d$ (lama waktu tunggu) yaitu waktu pada saat selesai irradiasi sampai pada saat akan mulai pencacahan.

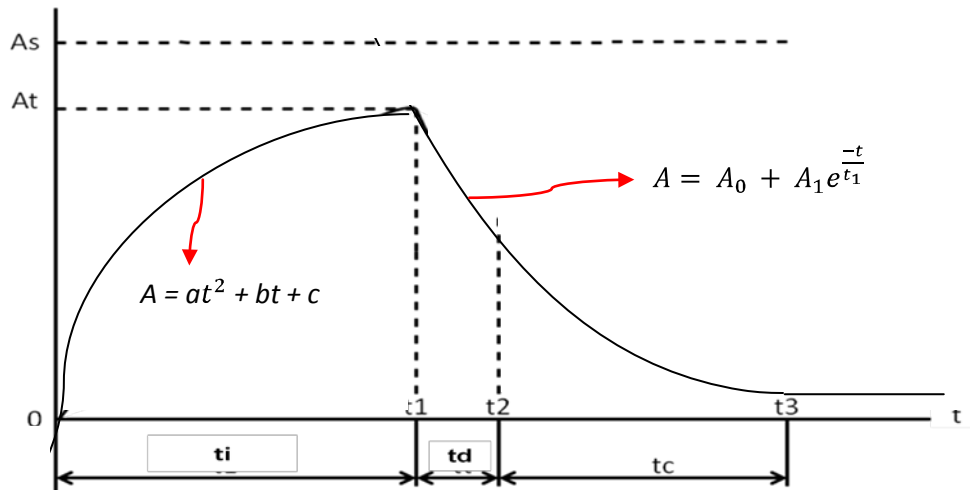
$(t_3 - t_2) = t_c$ (lama waktu cacah) yaitu waktu pada saat mulai mencacahan sampai selesai pencacahan.

Persamaan fluks neutron merupakan fungsi variabel terhadap waktu, sehingga rambatan ralatnya adalah sebagai berikut:

$$\Delta\phi = \left| \frac{\partial\phi}{\partial B_c} \right| \Delta B_c + \left| \frac{\partial\phi}{\partial t_i} \right| \Delta t_i + \left| \frac{\partial\phi}{\partial t_d} \right| \Delta t_d + \left| \frac{\partial\phi}{\partial t_c} \right| \Delta t_c \quad (33)$$

Dengan $\Delta B_c = \Delta t_i = \Delta t_d = \Delta t_c = \frac{1}{2}$ nst karena merupakan pengukuran tunggal.

Grafik aktivitas peluruhan sebagai fungsi waktu secara singkat yang disajikan pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Aktivitas Peluruhan sebagai Fungsi Waktu

Pada Gambar 2. merupakan grafik aktifitas peluruhan sebagai fungsi waktu dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut dari $0 - t_1 = t_i$ merupakan lama waktu irradiasi, aktivasi akan naik sampai dengan titik jenuh yaitu At . $t_1 - t_2 = t_d$ merupakan lama waktu tunggu, dari titik jenuh At aktivasi akan meluruh sampai dengan t_2 . $t_2 - t_3 = t_c$ merupakan lama

waktu pencacahan, dari t_2 akan meluruh sampai dengan t_3 dan selanjutnya aktivasi akan stabil.

b. Nilai Banding Cadmium

Untuk mendapatkan fluks neutron thermal dilakukan irradiasi dengan foil terbungkus cadmium dengan ketebalan 1 mm. Cadmium akan menyerap semua neutron dengan tenaga di bawah 0,4 eV dan melewatkan neutron dengan tenaga di atas 0,4 eV. Dengan demikian diperoleh perbandingan antara aktivitas dari foil tanpa terbungkus cadmium yang dikenal sebagai nilai banding cadmium

$$CR = \frac{As}{As_{ed}} \quad (34)$$

Fluks neutron thermal dapat ditentukan dari hubungan:

$$\phi = c(As - As_{ed}) \quad (35)$$

$$\phi = c As \left[\frac{CR-1}{CR} \right] \quad (36)$$

Dengan As menyatakan aktivitas tanpa terbungkus cadmium, dan As_{ed} adalah aktivitas terbungkus cadmium. Sedangkan konstanta korelasi c di dalamnya sudah dimasukkan efisiensi alat cacah, tampang lintang serta berat cuplikan.

c. Sistem Pencacah

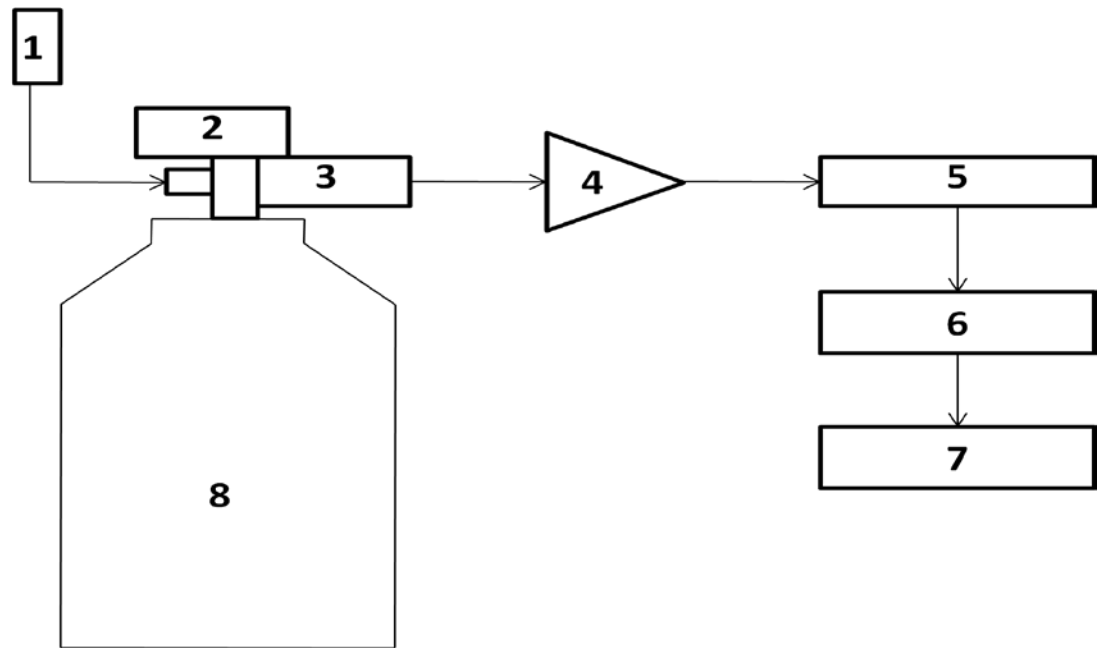
Suatu gejala radioktivitas tidak dapat langsung diamati dengan panca indra manusia. Oleh karena itu untuk dapat melakukan pengukuran radioaktivitas maka diperlukan suatu detektor yang dapat berinteraksi secara efisien dengan sinar radioaktif yang diselidiki. Ada bermacam-macam detektor radiasi dapat dibagi menurut 3 golongan yaitu :

- 1) Detektor isian gas
- 2) Detektor sintilasi
- 3) Detektor semikonduktor

Pada bab ini ditekankan pada detektor yang digunakan untuk pengukuran fluks neutron, yaitu detektor semikonduktor. Apabila sinar gamma mengenai detektor semikonduktor maka terjadi interaksi yang membentuk pasangan elektron-*hole*, pada daerah intrinsik dalam detektor. Oleh karena pengaruh medan listrik yang dikenakan, elektron akan bergerak menuju lapisan-*n* dan *hole* akan bergerak menuju lapisan - *p*. Pada ujung-ujung elektroda, elektron dan *hole* akan mengakibatkan perubahan beda potensial yang menimbulkan pulsa. Tinggi pulsa akan sebanding dengan tenaga gamma yang berinteraksi dengan detektor. Sinyal pulsa yang dihasilkan langsung diterima oleh penguat awal yang peka terhadap muatan.

Karena kesenjangan energi dalam Kristal Germanium sangat kecil ($E = 0,7 \text{ eV}$) maka untuk mengatasi arus bocor balik, detektor HPGe (*High Pure Germanium*) harus dioperasikan pada suhu yang sangat rendah. Apabila hal ini tidak dilakukan, arus akan bocor maka akan menimbulkan derau yang akan merusak daya pisah (*resolusi*) detektor. Nitrogen cair yang mempunyai suhu 77K (-196°C) adalah medium pendingin yang biasa dipakai untuk mendinginkan detektor HPGe. Oleh sebab itu detektor HPGe biasanya ditempatkan dalam suatu wadah hampa yang dimasukkan dalam dawar nitrogen cair. Sistem ini disebut sebagai “*cryostat*”. Sedangkan

perangkat sistem pencacah dapat dilihat pada Gambar 3. di bawah ini:



Gambar 3. Perangkat Sistem Pencacah

Keterangan:

1 = HV	3 = Pre amp	5 = ADC	7 = Printer
2 = Detektor HPGe	4 = Amplifier	6 = Komputer	8 = Cryostat

4. Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir adalah alat tempat terjadinya reaksi berantai yang berhubungan dengan fisi nuklir yang terkendali. Reaktor nuklir sesuai dengan tujuannya dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Reaktor riset adalah reaktor nuklir yang digunakan untuk berbagai penelitian di bidang aplikasi teknik nuklir, dalam hal ini reaksi nuklir (pembelahan) dipakai sebagai sumber neutron dan pada umumnya daya reaktor rendah sebesar 100 kW–30 MW

2. Reaktor daya adalah reaktor nuklir pembangkit tenaga listrik dengan daya reaktor yang tinggi umumnya diatas 1000 MW. Reaktor tersebut digunakan sebagai pembangkit tenaga panas, hasilnya kemudian diambil oleh sistem pendingin primer dan digunakan untuk pendidihan sistem pendingin primer dan digunakan untuk pendidihan sistem pendingin sekunder sehingga dihasilkan uap. Dengan tekanan tinggi, uap tersebut digunakan untuk memutar turbin generator untuk menghasilkan tenaga listrik.

Terjadinya neutron dalam reaktor nuklir adanya reaksi berantai antara neutron dengan bahan bakar reaktor yaitu Uranium. Dalam reaksi fisi berantai dengan bahan Uranium ,peranan neutron lambat (thermal) sangat besar. Neutron cepat yang dihasilkan langsung dari pembelahan Uranium harus diubah menjadi neutron lambat atau neutron thermal agar reaksi fisi dapat berlangsung secara terus-menerus. Oleh karena itu, jejak neutron pada reaktor setelah keluar dari inti bahan dapat belah dimoderasi oleh bahan pelambat (moderator) yang berada disekitar inti bahan dapat belah. Adanya proses perlambatan neutron tersebut mengakibatkan perubahan distribusi energi neutron (Susetyo, 1988:160) yaitu neutron cepat, neutron epithermal dan neutron thermal.

- a. Kelompok neutron cepat

Neutron cepat berada pada daerah tenaga antara 10 keV sampai dengan 20 MeV, dan merupakan neutron hasil belahan dengan tenaga rata-rata sekitar 2 MeV. Neutron cepat belum mengalami moderasi, sehingga dalam pergerakannya mengalami beberapa kali tumbukan dengan atom-atom moderator untuk mencapai keseimbangan termis.

b. Kelompok neutron epithermal

Neutron epithermal atau neutron resonansi yaitu neutron yang telah mengalami moderasi keseimbangan thermal dan mempunyai energi di atas 0,2 eV sampai dengan 10 keV. Sebagian neutron ini berada pada daerah perlambatan yang terletak antara daerah neutron cepat dan daerah neutron thermal. Neutron epithermal bermanfaat pada proses analisa aktivasi neutron

c. Kelompok neutron thermal

Neutron thermal adalah neutron yang berada dalam keadaan keseimbangan thermal terhadap mediumnya dan mempunyai energi di bawah 0,2 eV. Dalam interaksinya dengan materi, neutron thermal dapat menghasilkan berbagai macam jenis reaksi.

Kecepatan neutron ditentukan oleh tenaga neutron dan kecepatan neutron ini menentukan kecepatan reaksi sebagai proses reaksi fisi.

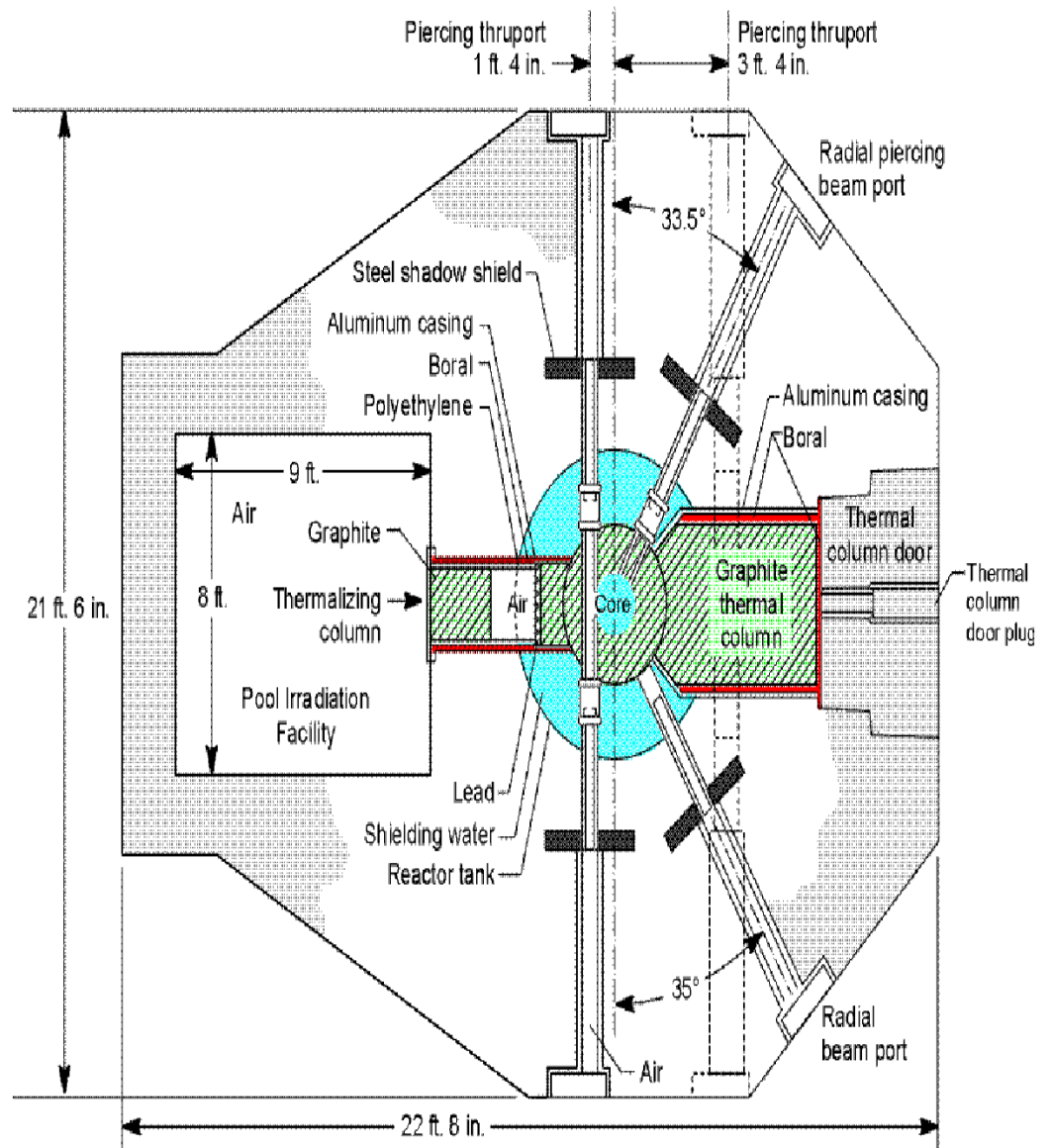
5. Reaktor Kartini

Reaktor Kartini merupakan reaktor riset TRIGA MARK II (*Training Research and Isotope Production General Atomic*) terletak di Yogyakarta yang telah dioperasikan sejak Maret 1979 dengan daya maksimum 100kW. Dalam keadaan rutin, Reaktor Kartini dioperasikan rata-rata selama enam jam perhari dalam jam kerja, dapat pula dioperasikan lebih lama tergantung permohonan. Fenomena yang terjadi dalam teras reaktor pada saat operasi daya adalah adanya reaksi fisi antara neutron dengan bahan bakar U-235 sedemikian sehingga melahirkan (2 s/d 3) neutron baru dan disertai timbulnya energi (panas) rata-rata

sebesar 180 MeV dan radiasi baik alpha, beta maupun gamma serentak. Sebagai reaktor riset, Reaktor Kartini telah dimanfaatkan untuk pelayanan radiasi atau irradiasi neutron, pendidikan dan pelatihan serta penelitian dalam bidang teknologi nuklir.

a. Teras Reaktor

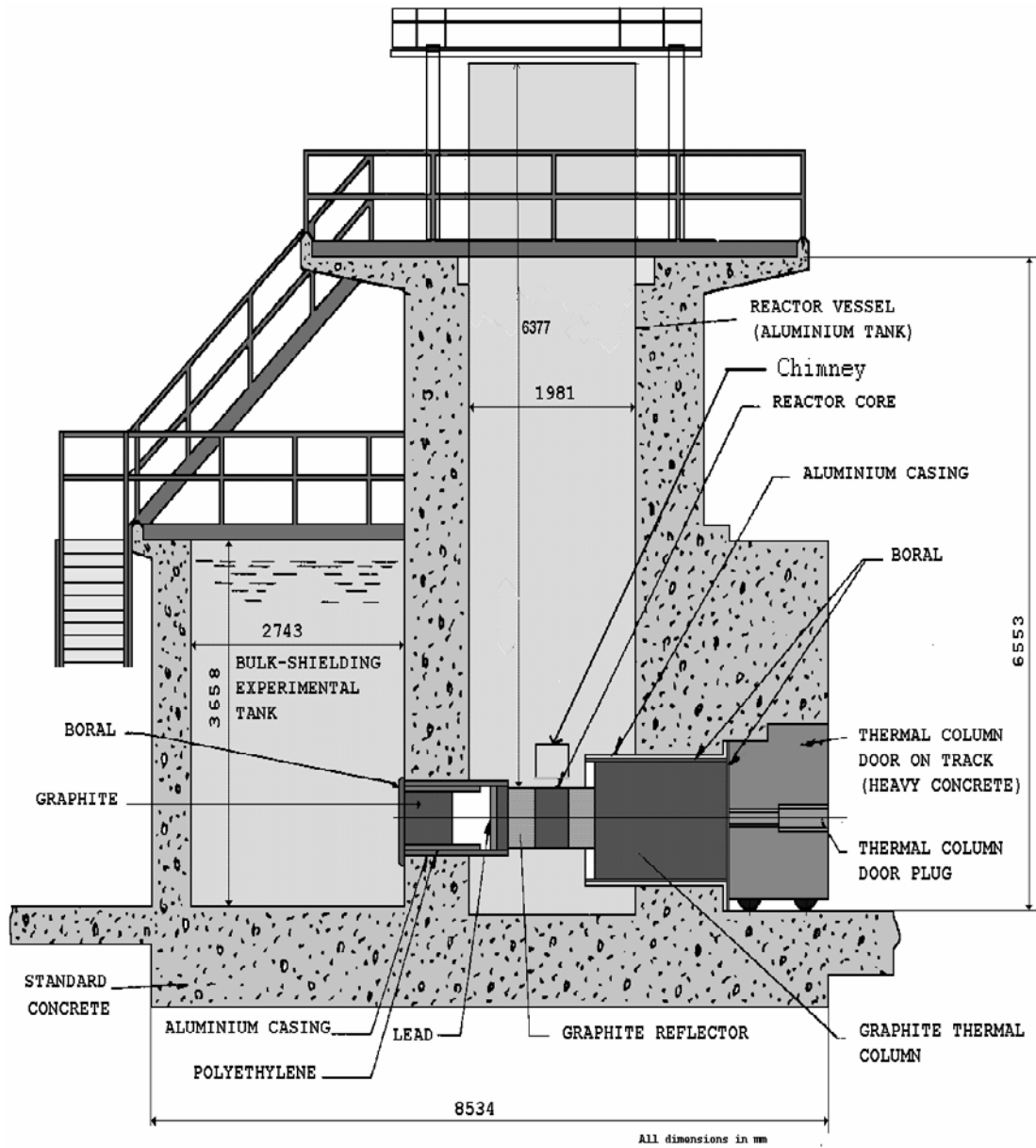
Teras reaktor adalah tempat berlangsungnya reaksi pembelahan bahan bakar nuklir. Teras reaktor ditempatkan didalam sumur reaktor yang terbuat dari beton sebagai perisai radiasi. Teras reaktor berbentuk silinder terdiri dari kisi-kisi terdapat dudukan elemen–elemen bahan bakar dan batang-batang kendali. Teras reaktor dikelilingi oleh grafit yang berfungsi memantulkan neutron (reflektor), susunan teras reflektor ini mempunyai diameter 1,09 m dan tinggi 0,58 m ditempatkan pada suatu dudukan/bangku reflektor. Teras dan reflektor berada didalam tangki reaktor yang berisi air. Bagian terbawah dari reflektor berada pada ketinggian 0,61 m dari dasar tangki. Sedangkan ketinggian air dari bagian atas reflektor adalah 4,9 m, berfungsi sebagai pendingin juga sebagai perisai radiasi kearah vertikal. Pada Gambar 4. dan Gambar 5. secara berturut-turut disajikan gambar Reaktor Kartini arah horizontal dan arah vertikal.



GC89 0137

Gambar4. Reaktor Kartini Arah Horizontal

(<http://www.rcp.ijs.si/ric/description-a.html>)



VERTICAL SECTION REACTOR TRIGA-MARK-II

Gambar 5. Reaktor Kartini Arah Vertikal (<http://www.rcp.ijs.si/ric/description-a.html>)

b. Moderator

Moderator merupakan bahan yang mempunyai fungsi sebagai pelambat neutron.

Moderator yang dipakai adalah air ringan dan Zirkonium Hidrida (ZrH).

c. Reflektor

Reflektor berupa sebuah ring silinder dari grafit dipasang menyelubungi teras reaktor yang berada seakan-akan di dalam kaleng alumunium, dimaksudkan untuk menjaga agar tidak ada kontak langsung antara air dengan grafit, berfungsi sebagai reflektor neutron. Pada reflektor ini terdapat lekukan atau sumur berbentuk ring digunakan sebagai fasilitas irradiasi dalam teras. Lekukan ini juga dibatasi oleh logam alumunium, merupakan satu kesatuan dari reflektor dirancang untuk menempatkan perangkat irradiasi rak putar. Dimensi reflektor ini mempunyai diameter dalam 45,7 m dengan ketebalan 30,5 cm dan tinggi 55,9 cm. Reflektor ini mempunyai beberapa bagian untuk menempatkan fasilitas irradiasi, yaitu:

1. Sebuah lubang melingkar diseluruh permukaan atas reflektor, digunakan untuk penempatan rak putar (*Lazy Suzan*) dengan lebar radial 10,2 cm dan kedalaman 25,5 cm.
2. Sebuah lubang menembus reflektor sampai ke permukaan bagian dalam secara radial dari samping digunakan untuk memasang sebuah tabung berukuran diameter 16,8 cm dan tebal 0,71 cm.

d. Tabung Berkas Neutron (beamport)

Pada Reaktor Kartini terdapat 4 *beamport* yaitu: *beamport* arah tangensial (1 buah) dan *beamport* arah radial (3 buah). Beberapa fungsi dari *beamport* yaitu menyediakan berkas neutron dan gamma untuk keperluan eksperimen dan untuk fasilitas irradiasi bahan-bahan berukuran besar.

e. Kisi Reaktor

Lempeng kisi reaktor bagian atas terbuat dari aluminium berdiameter 49,5 cm dan tebal 19 mm, jarak lubang-lubang kisi dibuat sedemikian presisinya untuk digunakan sebagai lubang tempat bahan bakar.

f. Batang Kendali

Batang kendali digunakan untuk mengoperasikan reaktor/*start-up*, mengatur tingkat daya reaktor dan mematikan reaktor. Ujung atas dari batang kendali ini dihubungkan dengan alat penggerak/motor batang kendali di atas tangki reaktor.

g. Tangki Reaktor

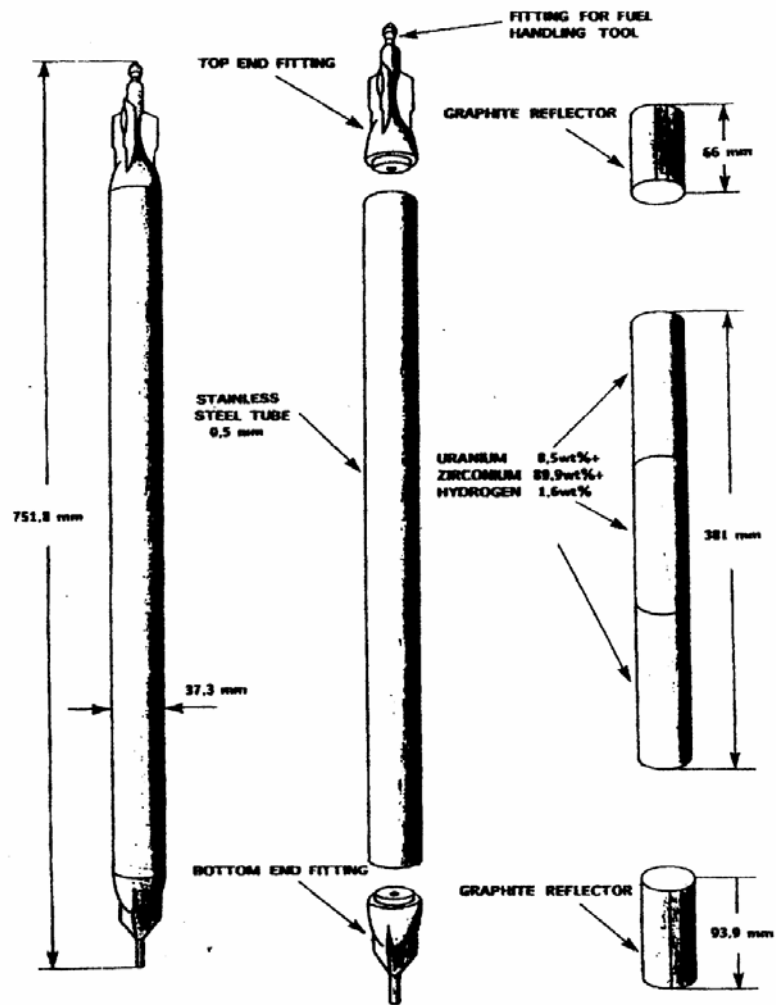
Terbuat dari aluminium tebal 6 mm, diameter 2 m. Tangki digunakan sebagai pemisah antara air (sebagai pelambat neutron dan pendingin reaktor) dengan beton perisai radiasi. Pada tangki ini diletakkan teras reaktor beserta perlengkapannya.

h. Kolom Thermal

Pada Reaktor Kartini terdapat dua kolom thermal yang berisi grafit. Fungsi dari kolom thermal ini adalah untuk eksperimen irradiasi dari sampel yang khusus memerlukan radiasi neutron thermal.

i. Bahan Bakar

Reaktor Kartini menggunakan bahan bakar TRIGA, U-ZrH tipe 104 dan tipe 204 buatan *General Atomic*. Elemen bahan bakar merupakan campuran homogen bahan bakar uranium dan moderator zirkonium hibrida (U-ZrH), berbentuk padat dan setiap elemen rata-rata mengandung Uranium ^{235}U 8% berat dengan pengkayaan 20%. Di dalam bahan bakar normal terkandung 36-38 gram ^{235}U , dengan berat total 3 kg setiap elemen. Disamping itu Reaktor Kartini mempunyai elemen bahan bakar tiruan (*dummy*). Bentuk dan ukuran sama dengan elemen bahan bakar dan tersusun dari grafit. Fungsi dari elemen bahan tiruan ini adalah untuk menaikkan efisiensi neutron dalam teras (berfungsi sebagai reflektor). Selanjutnya pada Gambar 6. dan Gambar 7. berikut secara berturut-turut disajikan elemen bahan bakar Reaktor Kartini dan konfigurasi bahan bakar Reaktor Kartini.



Gambar 6. Elemen Bahan Bakar (<http://www.rcp.ijs.si/ric/description-a.html>)

a. Rak Putar (*Lazy Susan*)

Fasilitas irradiasi *Lazy Susan* adalah sebuah fasilitas irradiasi yang mengelilingi teras reaktor terletak di bagian luar reflektor. Fasilitas ini mempunyai 40 lubang tempat radiasi, dapat digunakan secara bersama-sama dan dapat diputar. Tiap lubang (tabung) mempunyai ukuran diameter dalam 55,8 cm dan diameter luar 70 cm. Tiap lubang dalam rak putar dapat diisi sampai 2 *container* (ditumpuk). Sampel yang akan diirradiasi akan dimasukkan dalam satu ampul, pemasukan dan pengeluaran ampul pada fasilitas ini dilakukan melalui sebuah tabung pengarah yang dapat diatur dari atas reaktor. Sampel yang diirradiasi dimasukkan ke dalam *container*, berukuran panjang 13,6 cm dan diameter luar 2,84 cm. masing-masing lubang dalam fasilitas ini dapat diisi sampel dua tabung ampul. Fasilitas ini biasanya digunakan untuk mengirradiasi sampel yang mempunyai umur panjang.

b. *Pneumatic Transfer Sistem*

Sistem *transfer pneumatic* digunakan untuk eksperimen irradiasi sampel yang menghasilkan radionuklida berumur pendek. Sampel yang akan diirradiasi dapat dimasukkan maupun diambil dari teras reaktor secara otomatis dalam waktu yang singkat.

c. Tabung Berkas Neutron (*beamport*)

Tabung saluran berkas neutron mempunyai diameter 19,5 cm dengan arah horizontal menembus perisai beton dan tangki reaktor ke permukaan reflektor. Fasilitas *beamport* ini berguna untuk

menyediakan berkas neutron untuk berbagai eksperimen dan untuk fasilitas radiasi neutron bahan yang relatif besar (berdiameter 15,2 cm).

Terdapat dua buah beamport dengan arah radial terhadap teras *beamport* tembus arah radial hingga ke teras reaktor dan *beamport* yang terpasang secara tangensial.

d. Kolom Thermal

Kolom thermal terbuat dari grafit yang berukuran 1,20 m x 1,20 m x 1,60 m memanjang dari sisi luar reflektor ke permukaan sebelah dalam pintu tertutup. Pintu penutup ini terbuat dari beton berat dan untuk membuka/menutup digunakan motor penggerak yang berjalan di atas rel. Fungsi kolom thermal adalah untuk eksperimen irradiasi sampel yang khusus memerlukan radiasi neutron thermal. Sedangkan ukuran sampel yang dapat dirradiasi maksimum 10 cm x 10 cm.

e. Saluran Tengah

Saluran tengah didesain untuk keperluan eksperimen irradiasi di daerah yang mempunyai fluks neutron maksimum. Saluran tengah ini berupa tabung yang berdiameter 2,4 cm dan panjang 600 cm. Tabung ini terletak di tengah-tengah tangki reaktor dan memanjang dari atas sampai ke penyangga teras. Di dasar tabung terdapat 4 buah lubang yang berguna untuk jalan masuk air ke dalam tabung selama reaktor beroperasi. Lubang memiliki ukuran berdiameter 1,8 cm dan panjang 5,6 cm.

B. Kerangka Berpikir

Pada penelitian ini, peneliti akan menentukan besar fluks neutron pada fasilitas irradiasi pusat teras. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa selama ini belum diketahui besar fluks neutron pada pusat teras. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran besaran fluks neutron diberbagai tempat dalam fasilitas irradiasi salah satunya di pusat teras. Setelah reaktor beroperasi pada jangka waktu tertentu, akan mengakibatkan terjadinya penyusutan bahan bakar pada setiap lokasi (ring), maka perlu dilakukan penggantian atau perubahan susunan konfigurasi bahan bakar di dalam teras reaktor. Setiap perubahan susunan bahan bakar reaktor akan berpengaruh pada besaran fluks neutron yang dihasilkan pada setiap lokasi tersebut. Oleh karena itu, setelah dilakukan penggantian atau perubahan konfigurasi bahan bakar maka perlu dilakukan pemetaan fluks neutron pada fasilitas irradiasi.

Penelitian ini menggunakan teknik pengukuran tak langsung dengan metode aktivasi karena dari aspek teknis di lapangan alat yang digunakan untuk pengukuran fluks neutron tidak langsung diletakkan pada teras reaktor. Metode aktivasi dilakukan dengan cara menempatkan foil (Au) pada lokasi fluks neutron yang akan diukur sehingga terjadi penembakan neutron terhadap foil tersebut, yang mengakibatkan terjadinya isotop Au tidak stabil dan memancarkan radiasi sinar gamma. Aktivasi radiasi gamma dari isotop tersebut dicacah dengan sistem cacah (*counting*) menggunakan detektor HPGe. Detektor yang digunakan untuk mencacah jumlah zarah radiasi dari cuplikan adalah detektor HPGe. Detektor HPGe merupakan suatu detektor semikonduktor yang medium detektornya terbuat dari bahan semikonduktor dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan dioperasikan pada suhu yang rendah. Detektor HPGe mempunyai keunggulan yaitu dengan cepat dapat menentukan

tingkat radiasi dan radionuklida di lingkungan (tanah dan air) seperti paparan radiasi kosmik, paparan radiasi gamma, radionuklida alam, radionuklida jatuhan (*fallout*) dan kontaminasi dari instalasi nuklir. Dengan digunakan detektor HPGe maka dapat diketahui banyaknya zarah radiasi dari cuplikan. Dari banyaknya cacah yang terukur ini dapat dihitung besarnya aktivitas dan fluks neutron.

Radiasi gamma yang dipancarkan sebanding dengan jumlah fluks neutron, sehingga untuk mengukur fluks neutron dapat digunakan dengan mengetahui cacahan radiasi gamma. Berdasarkan hasil pencacahan radiasi gamma dari foil Au tersebut dapat ditentukan harga fluks neutron pada lokasi dimana foil tersebut ditempatkan.