

## STUDI DISAIN CHOPPER UNTUK PEMILIHAN ENERGI NEUTRON

Suroso

Dedi Sunaryadi, Hari Sudirdjo, Hendra Prasetya, Rohidi, Putut Heri S.

### Abstrak

**STUDI DISAIN CHOPPER UNTUK PEMILIHAN ENERGI NEUTRON.** Telah dilakukan studi disain Chopper untuk pemilihan energi neutron. Chopper neutron direncanakan terbuat dari silinder baja yang diberi lobang di tengahnya dan tegak lurus terhadap sumbu silinder. Di dalam lobang silinder tersebut diisi dengan lempengan Aluminium dan lempengan material penyerap neutron secara selang seling. Berkas neutron dari sumber neutron akan melewati kolimator dan lobang silinder yang diisi lempengan Al dan lempengan material penyerap neutron dipasang satu sumbu dengan kolimator. Silinder diputar dengan putaran tertentu sesuai dengan kecepatan neutron yang mempunyai energi tertentu. Untuk mendeteksi dan mengukur energi neutron yang dapat lolos dari lobang silinder digunakan detektor  $\text{BF}_3$  dengan alat sistem penganalisis energi neutron. Lokasi chopper ditentukan di depan tabung berkas (*beam port*) S-2 RSG GAS yang telah dilengkapi dengan perisai radiasi.

### Abstract

**A STUDY OF CHOPPER DESIGN FOR NEUTRON ENERGY SELECTION.** A study of chopper design for neutron energy selection has been done. The chopper is made from cylindrical steel which has a vertical hole to the cylinder axis. The aluminium and the absorber material are filled into the cylinder hole alternately. The neutron from the neutron source is passed the through the collimator in the cylinder which is filled with aluminium and the neutron absorber. The cylinder is concentric with the collimator. The cylinder is rotated at certain speed depends on the required energy of the neutron. To detect in to measure the energy of neutron which passes the cylinder hole is made possible by neutron energy analyzer. The location of the chopper determined in the front beam port S-2 RSG GAS which complited with radiation shielding.

### PENDAHULUAN

Batu permata sudah mempunyai kedudukan istimewa dalam peradaban manusia ribuan tahun silam. Permintaan akan batu permata tersebut semakin pesat sesuai dengan bertambahnya jumlah penduduk, namun permintaan yang tinggi tidak diimbangi persediaan yang cukup. Keterbatasan akan adanya batu permata tersebut menuntut ditemukannya teknologi yang bisa menghasilkan batu permata dengan kualitas yang sama dengan yang telah ada dalam bentuk seragam dan jumlah besar. Teknologi pemuliaan batu permata dengan

teknik iradiasi diantaranya merupakan alternatif dalam rangka memenuhi permintaan pasar tersebut. Untuk mendapatkan teknologi yang baku dalam iradiasi batuan permata dibutuhkan studi tentang suatu alat yang dapat digunakan untuk memilih energi neutron yang sesuai dengan kebutuhan yaitu chopper neutron <sup>3)</sup>. Chopper neutron adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk memilih energi berkas neutron <sup>3)</sup>. Chopper neutron dapat dibuat dari silinder baja yang diberi lobang di tengahnya dan tegak lurus terhadap sumbu silinder, di dalam lobang silinder tersebut diisi dan diatur saling bergantian antara lempengan Aluminium (Al) dan lempengan material penyerap neutron

misalnya Boral,  $Gd_2O_3$ , In atau Cd yang mempunyai tampang lintang serapan terhadap neutron relatif besar <sup>2)</sup>. Berkas neutron dari sumber neutron dilewatkan dari kolimator, sehingga akan didapat berkas neutron yang sejajar dan searah, kemudian lobang silinder yang diisi lempengan-lempengan Aluminium dan material penyerap neutron dipasang satu sumbu dengan kolimator, selanjutnya silinder diputar dengan putaran tertentu, sehingga berfungsi sebagai pemotong berkas neutron. Neutron dapat lolos dari lobang silinder yang berisi lempengan-lempengan Aluminium dan lempengan-lempengan material penyerap neutron terjadi hanya pada saat sumbu lobang silinder tersebut pada posisi sejajar dengan sumbu kolimator. Untuk mendeteksi dan mengukur energi neutron yang dapat lolos dari lobang silinder tersebut dapat digunakan detektor  $BF_3$  proporsional dengan sistem alat penganalisis energi neutron <sup>1)</sup>. Pemasangan fasilitas Chopper neutron di RSG-GAS dapat ditempatkan pada lokasi fasilitas radiografi neutron kering dengan mengambil berkas neutron dari lobang berkas (*beam port*) S-2.

## TEORI

Neutron adalah partikel yang tidak bermuatan listrik mempunyai massa diam 1,008665 amu (*atomic mass unit*) atau  $1,674663 \times 10^{-24}$  gram. Satuan energi neutron adalah dalam elektron volt (eV), kilo elektron volt (KeV) atau mega elektron volt (MeV) <sup>2,3)</sup>. Neutron dapat dihasilkan dari bermacam-macam cara yaitu<sup>3)</sup>:

1. Dari reaksi ( $\alpha$ , n) atau ( $\gamma$ , n) dengan sumber radioaktif dari unsur target tertentu.

2. Dari akselerator yaitu dengan cara menembaki target dengan partikel berenergi tertentu
3. Dari reaksi fisi (pembelahan) dalam reaktor.
4. Dari unsur trans-uranik karena mengalami fisi secara spontan.

Neutron dapat diklasifikasikan menurut tingkat energi kinetiknya yaitu sebagai berikut :

- neutron termal, yaitu neutron yang mempunyai energi  $0,025 \text{ eV} < E < 0,50 \text{ eV}$
- neutron epitermal, yaitu neutron yang mempunyai energi  $0,5 \text{ eV} < E < 10 \text{ KeV}$
- neutron cepat, yaitu neutron yang mempunyai energi  $10 \text{ KeV} < E < 10 \text{ MeV}$
- neutron relativistik, yaitu neutron yang mempunyai energi  $> 10 \text{ MeV}$

Tingkat energi kinetik neutron dapat ditentukan dari kecepatan neutronnya, jika  $l$  adalah besaran jarak antara sumbu silinder Chopper dengan detektor dalam satuan meter dan  $t$  adalah lamanya waktu yang diperlukan oleh neutron untuk bergerak dari sumbu silinder sampai detektor dalam satuan mikro detik ( $\mu$  *second*), maka kecepatan neutron ( $v$ ) yang dapat lolos dari lobang silinder adalah :

$$v = \frac{l \text{ m}}{t \text{ } \mu \text{ detik}} \\ = \frac{10^6 l \text{ m}}{t \text{ detik}}$$

Neutron yang mempunyai kecepatan  $v$  energi kinetiknya,

$$E = 1/2 mv^2$$

dengan :  $E$  = energi kinetik neutron

$m$  = massa neutron

Lamanya waktu lurus yang diperlukan antara lobang silinder yang berisi lempengan-lempengan Aluminium dan lempengan-



lempengan material penyerap neutron dengan kolimator adalah :

$$t = b / (\omega R) \text{ detik dengan}$$

$$\omega = 2\pi n / (60) \text{ radial per detik}$$

maka  $60 \times 10^6 b$

$$t = \frac{\text{-----}}{2\pi n R} \mu \text{ detik}$$

dimana :  $b$  = tebal lempengan Aluminium (cm)

$n$  = putaran Chopper (menit)

$R$  = jejari Chopper

Dengan mengubah putaran silinder, maka lamanya posisi lurus antara lobang silinder yang berisi lempengan - lempengan Aluminium dan lempengan - lempengan material penyerap neutron dengan sumbu kolimator akan berubah, dengan demikian kecepatan dari lobang silinder juga akan berubah. Sehingga untuk pemilihan kecepatan neutron atau energi neutron yang dapat lolos dari silinder dapat dilakukan dengan cara pengaturan putaran silinder.

## STUDI DISAIN CHOPPER DAN LOKASI CHOPPER

### Perhitungan Kecepatan Neutron

Di dalam pembagian tingkat energi neutron ( $E$ ) dapat ditentukan dengan persamaan energi kinetik :

$$E = 1/2 mv^2$$

di mana :  $E$  = energi neutron (eV)

$m$  = massa diam neutron (gram)

$v$  = kecepatan neutron (m/detik)

Dengan demikian kecepatan neutron dapat diketahui dengan mengetahui energi kinetik neutron ( $E$ ) dan massa neutron ( $m$ ) =  $1,674663 \times 10^{-24}$  gram, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$v = \sqrt{(2E/m)}$$

Neutron dengan berbagai tingkat energi kinetik neutronnya mempunyai kecepatan seperti diperlihatkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan neutron dari berbagai tingkat energi kinetik neutron

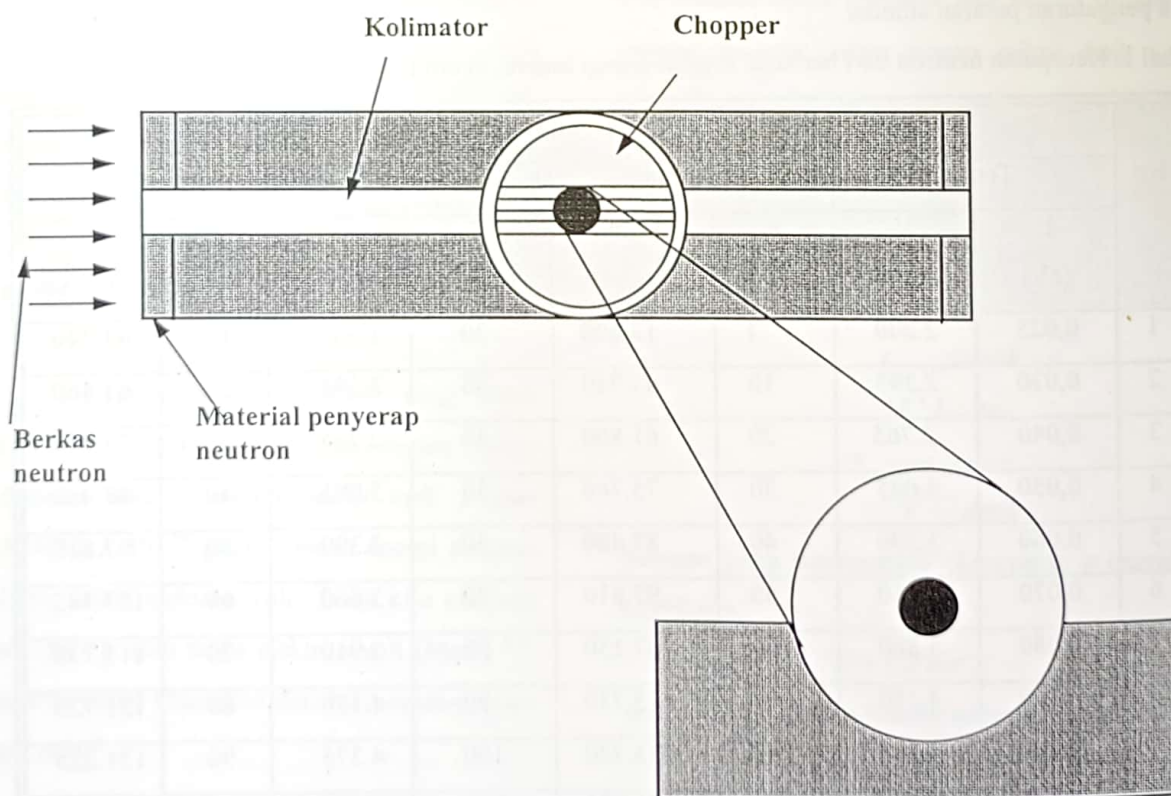
No	Neutron							
	Termal		Epitermal		Cepat		Relativistik	
	E (eV)	V (m/s)	E (eV)	V (m/s)	E (KeV)	V (km/s)	E (MeV)	V (km/s)
1	0,025	2.200	1	13.800	20	1.956	10	43.740
2	0,030	2.395	10	43.740	30	2.395	20	61.860
3	0,040	2.765	20	61.860	40	2.765	30	75.760
4	0,050	3.095	30	75.760	50	3.095	40	87.480
5	0,060	3.390	40	87.480	60	3.390	50	97.810
6	0,070	3.660	50	97.810	70	3.660	60	107.145
7	0,080	3.880	60	107.150	80	3.910	70	115.730
8	0,090	4.150	70	115.730	90	4.150	80	123.720
9	0,100	4.375	80	123.720	100	4.375	90	131.225
10	0,150	5.360	90	131.225	250	6.915	100	138.200
11	0,200	6.190	100	138.200	500	9.780	200	195.620

12	0,250	6.920	500	309.300	750	11.980		
13	0,300	7.575	1.000	477.400	1.000	13.830		
14	0,350	8.180	5.000	978.100	5.000	30.930		
15	0,400	8.750	7.500	1.197.900	7.500	37.880		
16	0,450	9.280	10.000	1.383.200	10.000	43.740		
17	0,500	9.780						

### Studi Disain Chopper

Berkas neutron dari sumber neutron yang diambil dari tabung berkas S-2 RSG-GAS mempunyai tingkat energi neutron yang bermacam-macam (campuran), sebagian dari berkas neutron akan masuk ke lobang kolimator dan terus menuju ke Chopper neutron, sedangkan sebagian berkas neutron lain yang ke

luar melalui tabung berkas tersebut akan menumbuk tutup kolimator. Neutron yang menumbuk tutup kolimator diusahakan agar tidak sampai ke Chopper dengan cara membuat tutup kolimator terbuat dari bahan penyerap neutron. Bentuk dan konstruksi Chopper selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.

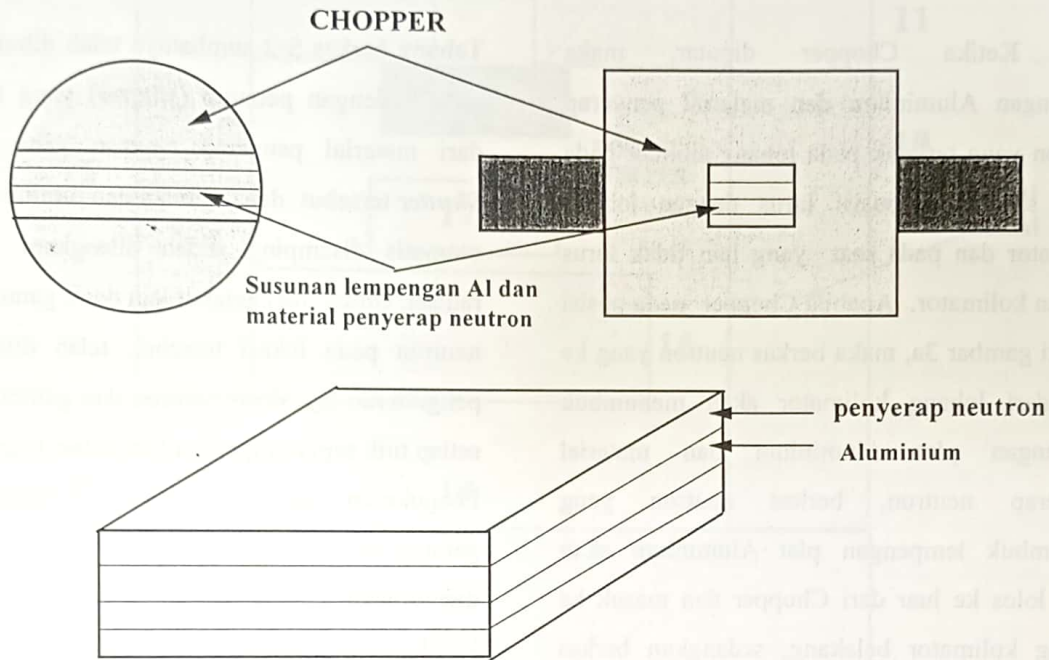


Gambar 1. Konstruksi Chopper neutron

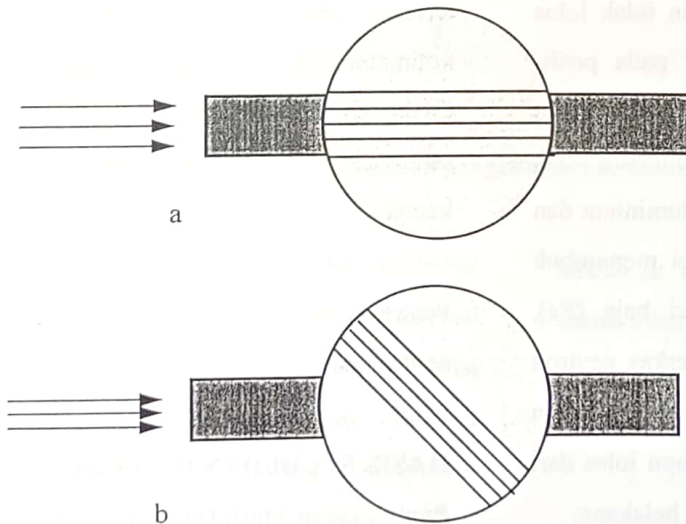


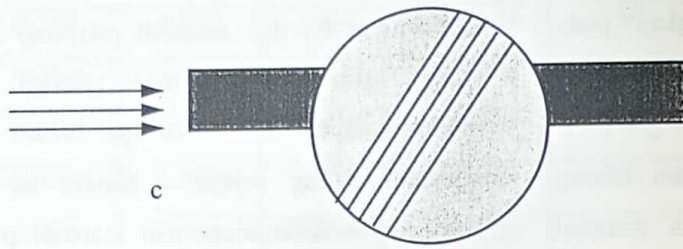
Chopper seperti diterangkan pada pendahuluan dibuat dari bahan baja yang diberi lobang di tengahnya. Lobang tersebut tegak lurus dengan sumbu silinder dan di dalam lobang diisikan lempengan Aluminium dan material penyerap neutron yang disusun secara bergantian seperti Gambar 2. Kegunaan dari

lempengan Al dan material penyerap neutron yang disusun bergantian adalah untuk meloloskan berkas neutron agar berkas neutron tersebut saling sejajar. Sistem kerja dari lempengan Aluminium dan material penyerap neutron tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Susunan lempengan Aluminium dan material penyerap neutron





Gambar 3. Posisi lempengan plat Al dan material penyerap neutron

Ketika Chopper diputar, maka lempengan Aluminium dan material penyerap neutron yang terletak pada lobang silinder pada suatu saat pada posisi lurus dengan lobang kolimator dan pada saat yang lain tidak lurus dengan kolimator. Apabila Chopper pada posisi seperti gambar 3a, maka berkas neutron yang ke luar dari lobang kolimator akan menumbuk lempengan plat Aluminium dan material penyerap neutron, berkas neutron yang menumbuk lempengan plat Aluminium akan terus lolos ke luar dari Chopper dan masuk ke lobang kolimator belakang, sedangkan berkas neutron yang menumbuk lempengan material penyerap neutron akan terserap dan tidak lolos dari Chopper. Apabila Chopper pada posisi seperti Gambar 3b dan Gambar 3c, maka berkas neutron yang ke luar dari lobang kolimator tidak langsung menumbuk lempengan Aluminium dan lempengan penyerap neutron tetapi menumbuk badan Chopper yang terbuat dari baja (Fe), setelah sampai di bagian dalam berkas neutron akan menumbuk lempengan penyerap neutron sehingga berkas neutron tidak mampu lolos dari Chopper untuk masuk ke kolimator belakang.

#### Studi Penentuan Lokasi Chopper

Untuk menentukan lokasi Chopper dari fasilitas berkas neutron yang terdapat di RSG-GAS, maka berkas neutron dari tabung berkas (*beam port*) S-2 yang sangat memungkinkan.

Tabung berkas S-2 sumbatnya telah dibuka dan ditutup dengan penutup (*shutter*) yang terbuat dari material penyerap neutron yaitu boral. *Shutter* tersebut dapat dibuka dan ditutup secara otomatis disamping sudah dilengkapi perisai radiasi. Untuk mengetahui laju dosis gamma dan neutron pada lokasi tersebut, telah dilakukan pengukuran laju dosis neutron dan gamma pada setiap titik seperti diperlihatkan dalam Gambar 4. Pengukuran laju dosis radiasi neutron dan gamma dilakukan untuk kondisi *shutter* tertutup dan terbuka. Pengukuran laju dosis radiasi pada kondisi *shutter* tertutup dilakukan secara langsung, sedangkan untuk kondisi *shutter* terbuka pengukuran secara langsung di depan kolimator (lokasi peralatan Chopper) tidak bisa dilakukan karena dosis radiasinya terlalu tinggi, sehingga pengukuran dilakukan dengan bantuan kamera televisi yang diarahkan pada alat ukur radiasi yang selanjutnya dibaca melalui televisi. Pengukuran dilakukan dengan survey meter neutron dan gamma pada daya 12,5 MW.

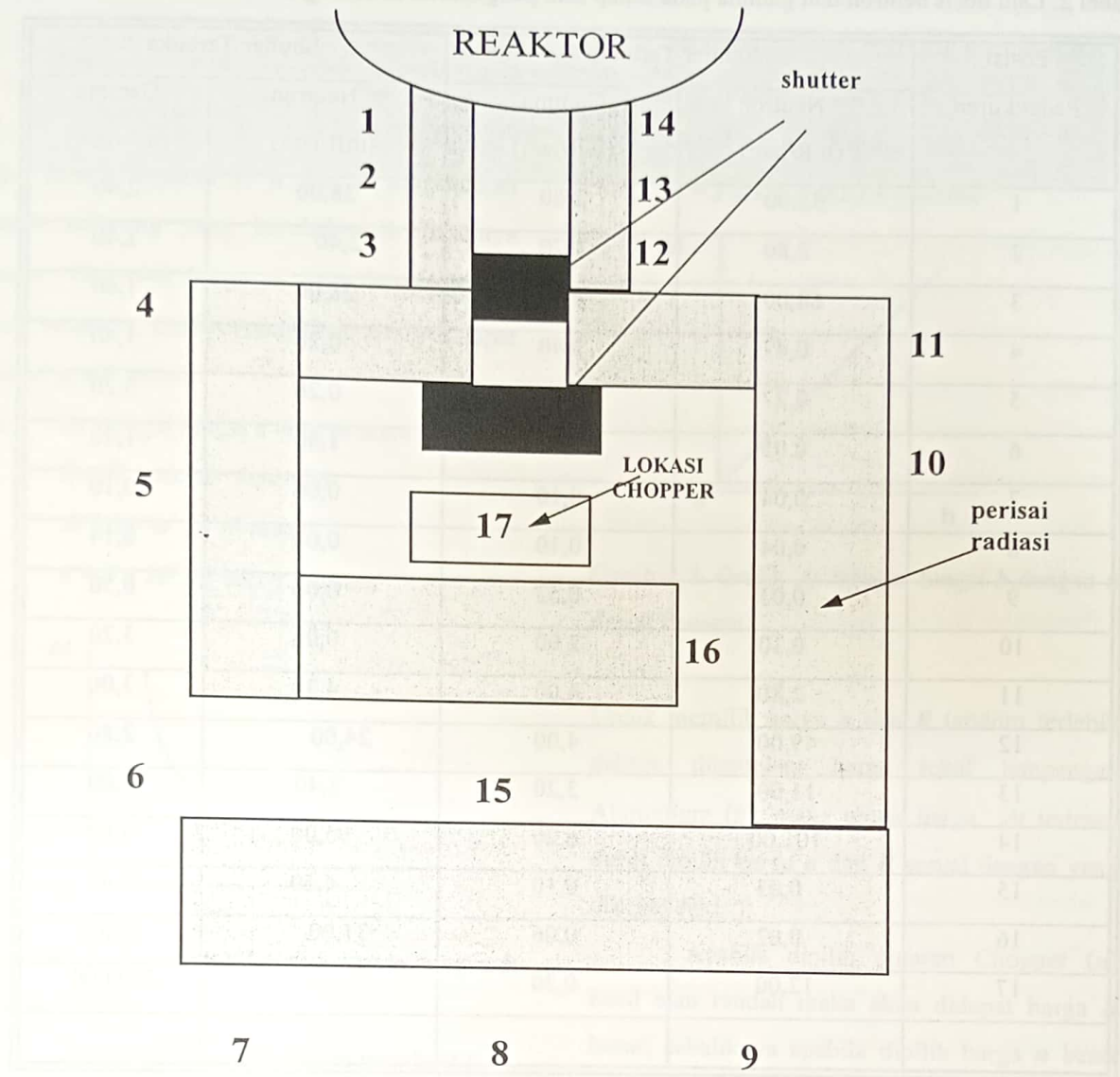
## HASIL STUDI DAN PEMBAHASAN

### Pembahasan Studi Disain Chopper

Sesuai dengan teori, jika Chopper diputar dengan kecepatan  $n$  rpm, maka kecepatan keliling Chopper ( $\omega$ ) adalah,

$$\omega = 2\pi n \text{ radial / menit}$$

$$\text{atau } \omega = 2\pi n / (60) \cdot \text{radial / detik}$$



Gambar 4. Denah dan posisi pengukuran laju dosis neutron dan gamma

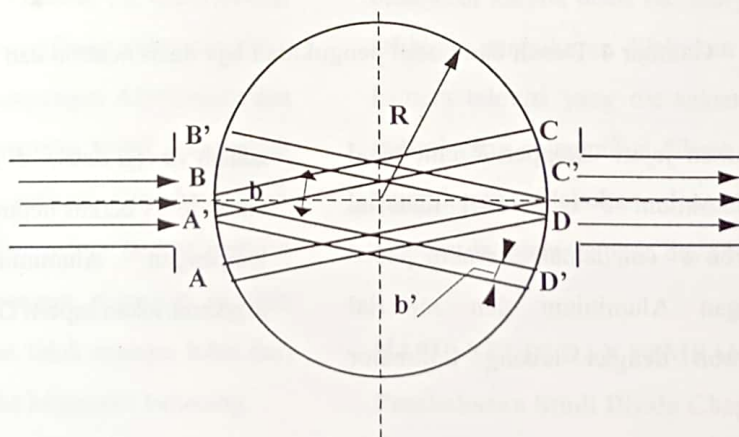
Apabila ditentukan jari Chopper  $R$  cm, tebal lempengan Aluminium  $b$  cm, tebal material penyerap neutron  $b'$  cm, lamanya waktu posisi lurus lempengan Aluminium dan material penyerap neutron dengan lobang kolimator

adalah  $\Delta t$  ( $\mu$  detik), di mana  $\Delta t$  adalah waktu untuk lolos berkas neutron dari Chopper melalui lempengan Aluminium yang dapat disekenariokan seperti Gambar 5.



Tabel 2. Laju dosis neutron dan gamma pada setiap titik pengukuran di tabung berkas S-2

Posisi Pengukuran	Shutter Tertutup		Shutter Terbuka	
	Neutron (mR/jam)	Gamma (mR/jam)	Neutron (mR/jam)	Gamma (mR/jam)
1	55,00	2,60	38,00	2,40
2	2,80	1,70	2,40	1,40
3	68,00	4,00	28,00	1,60
4	0,47	3,40	0,26	1,40
5	0,27	0,15	0,26	5,20
6	0,05	0,12	1,50	1,40
7	0,04	0,10	0,06	0,10
8	0,04	0,10	0,04	0,14
9	0,03	0,52	0,06	0,50
10	0,10	2,00	0,06	3,20
11	2,80	4,00	4,30	3,00
12	49,00	4,00	24,00	2,80
13	11,00	3,20	2,40	2,00
14	101,00	6,20	95,00	9,00
15	0,03	0,10	4,60	2,40
16	0,02	0,06	31,00	25,00
17	12,00	0,30	-	5500,00



Gambar 5. Skenario lolos berkas neutron dari Chopper

Dengan memandang lempengan paling tengah, jika  $b$  lempengan Aluminium dan  $b'$  lempengan material penyerap neutron yang saling berimpit, maka waktu yang diperlukan untuk bergerak

lempengan Aluminium dari ABCD menjadi  $A'B'C'D'$  adalah,

$$\Delta t = \frac{b}{\omega R} \text{ detik,}$$



dengan  $\omega = 2 \pi n$

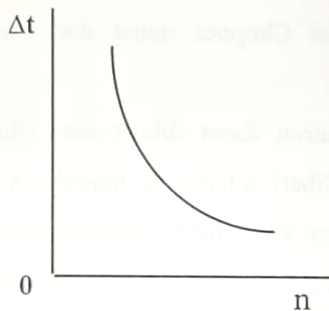
maka 
$$\Delta t = \frac{3 \times 10^7 b}{\pi n R} \quad \mu \text{ detik}$$

Jika besaran-besaran  $b$ ,  $n$  dan  $R$  dimasukkan harga sebarang yang berubah-ubah besarnya maka diperoleh harga  $\Delta t$  yang berubah-ubah pula besarnya. Dari persamaan  $\Delta t$  tersebut dapat dibuat grafik antara :

- a).  $\Delta t$  sebagai fungsi  $n$  dengan membuat  $b$  dan  $R$  konstan diperoleh

$\Delta t (n) = a/n$ , di mana

$a = 3 \times 10^7 b / (\pi R) = \text{konstan}$

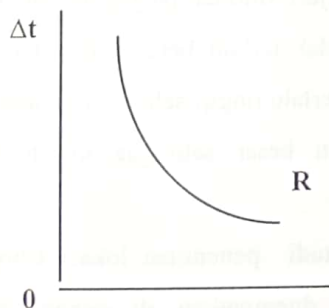


Gambar 5. Grafik  $\Delta t$  sebagai fungsi  $n$  dengan  $b$  dan  $R$  konstan

- b).  $\Delta t$  sebagai fungsi  $R$  dengan membuat  $b$  dan  $n$  konstan diperoleh

$\Delta t (R) = a/R$ , di mana

$a = 3 \times 10^7 b / (\pi n) = \text{konstan}$

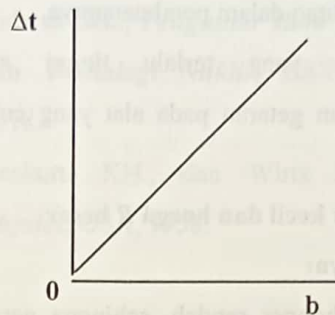


Gambar 6. Grafik  $\Delta t$  sebagai fungsi  $R$  dengan  $n$  dan  $b$  konstan

- c).  $\Delta t$  sebagai fungsi  $b$  dengan membuat  $n$  dan  $R$  konstan diperoleh

$\Delta t (b) = a b$ , di mana

$a = 3 \times 10^7 / (\pi n R) = \text{konstan}$



Gambar 7. Grafik  $\Delta t$  sebagai fungsi  $b$  dengan  $n$  dan  $R$  konstan

Untuk memilih harga  $n$  dan  $R$  tertentu terlebih dahulu ditentukan harga tebal lempengan Aluminium ( $b$ ), maka untuk harga  $\Delta t$  tertentu dapat dipilih harga  $n$  dan  $R$  sesuai dengan yang dikehendaki.

Apabila dipilih putaran Chopper ( $n$ ) kecil atau rendah maka akan didapat harga  $R$  besar, sebaliknya apabila dipilih harga  $n$  besar atau tinggi maka akan didapat harga  $R$  yang kecil. Di dalam pemilihan harga  $n$  dan  $R$  tersebut perlu dipertimbangkan keuntungan dan kerugiannya, karena hal ini sangat berpengaruh pada konstruksi Chopper. Keuntungan dan kerugian di dalam pemilihan harga  $n$  dan  $R$  tersebut adalah sebagai berikut :

**Untuk  $n$  besar dan  $R$  kecil**

**Keuntungannya :**

- a. Karena konstruksi Chopper kecil maka konstruksi peralatan pendukung lainnya juga kecil, sehingga secara keseluruhan konstruksi alat menjadi kecil.

- b. Tenaga untuk memutar Chopper menjadi kecil, maka motor penggeraknyapun juga kecil.

**Kerugiannya:**

- a. Jika konstruksi Chopper kecil maka akan terjadi kesulitan dalam pembuatannya.
- b. Putaran yang terlalu tinggi akan menimbulkan getaran pada alat yang cukup besar.

Untuk harga  $n$  kecil dan harga  $R$  besar

**Keuntungannya:**

- a. Putaran Chopper rendah, sehingga getaran pada alat mudah diatasi
- b. Pembuatan alat menjadi lebih mudah.

**Kerugiannya :**

- a. Karena diameter Chopper besar, maka konstruksinya menjadi besar dan berat.
- b. Tenaga untuk memutar Chopper menjadi besar, sehingga memerlukan tenaga motor penggerak yang besar.

Dari pertimbangan-pertimbangan keuntungan dan kerugian tersebut di atas perlu diambil suatu harga  $R$  yang tidak terlalu besar agar alat tidak berat dan  $n$  juga tidak terlalu tinggi sehingga getaran alat tidak begitu besar sehingga kemungkinan dapat mudah untuk diatasi.

**Pembahasan Penentuan Lokasi Chopper**

Dari data pengukuran laju dosis neutron dan gamma pada titik-titik pengukuran di lokasi tabung berkas S-2, untuk panel pengukuran sebaiknya ditempatkan pada posisi 7, 8 atau 9, karena baik dalam kondisi *shutter* terbuka maupun tertutup paparannya relatif rendah dan aman. Lokasi pengukuran pada titik 1, 2, 3, 12, 13 dan 14 tingkat radiasinya cukup tinggi sehingga perlu diberi tanda dan rantai

kuning. Daerah pengukuran no. 17 adalah lokasi Chopper yang paling mungkin, karena posisinya tepat ditengah-tengah kolimator dan radiasinya sangat tinggi, sehingga disarankan agar waktu meletakkan peralatan Chopper, reaktor dalam kondisi tidak beroperasi, atau kalau terpaksa harus dilakukan pada kondisi reaktor beroperasi maka hendaknya dilakukan dalam waktu yang sesingkat-singkatnya dan pastikan waktu pemasangan Chopper *shutter* dalam keadaan tertutup.

**KESIMPULAN**

Dari hasil studi disain Chopper dan penentuan lokasi Chopper dapat disimpulkan bahwa :

1. Chopper neutron dapat dibuat dari silinder baja yang diberi lobang di tengahnya dan tegak lurus terhadap sumbu silinder, di dalam lobang silinder tersebut diisi dan diatur saling bergantian antara lempengan Aluminium dan lempengan material penyerap neutron.
2. Untuk pemilihan kecepatan neutron atau energi neutron yang lolos dari silinder dapat dilakukan dengan cara pengaturan putaran silinder.
3. Dalam mendisain dan membuat suatu Chopper, jejari silinder jangan terlalu besar agar alat tidak terlalu berat dan putarannya juga tidak terlalu tinggi sehingga getaran alat tidak begitu besar sehingga masih dapat diatasi.
4. Dari studi penentuan lokasi Chopper, Chopper ditempatkan di depan tabung berkas (*beam port*) S-2 RSG-GAS.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya laporan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Saudara Ir. Mohtar, M.T., dan Bharoto, M.Eng atas izin dan bantuannya selama penulis melakukan penelitian di lokasi fasilitas radiografi neutron kering yang berada di ruang eksperimen RSG-GAS.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Suroso dkk., *Karakteristik Homogenitas dan Rasio Cadmium Wet Neutron Radiografi*, PRSG- BATAN, Serpong, 1996
2. Ridwan dkk., *Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, BATAN, Jakarta, 1978.
3. Beckurts KH., dan Wirtz K., *Neutron Physics*, USA, 1958.