



SIMULASI MONTE-CARLO UNTUK PERANCANGAN KOLIMATOR RADIAL NEUTRON

M. Refai Muslih¹, Jan Saroun²

1. Bidang Spektrometri Neutron, Gd.40 Kawasan Puspiptek Serpong, PTBIN – BATAN

E-mail : rifai@batan.go.id

2. Dept. of Neutron Physic, Academy of Sciences of Czech Republic. CZ - 250 68 Řež, Czech Republic

ABSTRAK

SIMULASI MONTE-CARLO UNTUK PERANCANGAN KOLIMATOR RADIAL NEUTRON. Telah dilakukan simulasi monte-carlo untuk merancang kolimator radial yang akan digunakan difraktometer neutron menggunakan program paket SIMRES. Simulasi dimulai dengan menghitung resolusi difraktometer yang terpasang pada saat ini. Perhitungan resolusi kemudian dibandingkan dan disesuaikan dengan pengukuran resolusi menggunakan material standar berupa serbuk silikon dan nikel. Rancangan kolimator radial ditempatkan diantara sampel dan detektor untuk menggantikan komponen slit dan kolimator paralel yang terpasang pada konfigurasi sebelumnya. Kolimator radial yang disimulasikan mempunyai lebar cakupan 3 mm dengan panjang 210 mm. Hasil perhitungan simulasi monte-carlo untuk perancangan kolimator radial mempunyai kesesuaian dengan perhitungan analitik sederhana.

Kata Kunci: Simulasi monte-carlo, SIMRES, kolimator radial neutron

ABSTRACT

MONTE-CARLO SIMULATION FOR DESIGNING NEUTRON RADIAL COLLIMATOR. Monte-Carlo simulation has been carried out to design a radial collimator to be used for neutron diffractometer using SIMRES program package. The simulation starts by calculating the resolution of the installed diffractometer. Resolution calculations are then compared and adjusted with a resolution measurement using standard reference materials of silicon and nickel powder. The design of radial collimator is placed between the sample and detector to replace the component parallel collimator and slit attached in the previous configuration. Radial collimator was simulated to have a wide range of 3 mm with a length of 210 mm. The result of Monte-Carlo simulation calculations for the design of radial collimator has a compatibility with simple analytical calculations.

Keywords: Monte-carlo simulation, SIMRES, neutron radial collimator

PENDAHULUAN

Kolimator neutron diperlukan oleh difraktometer ataupun spektrometer neutron untuk membatasi arah dari berkas neutron. Neutron dengan arah yang mempunyai derajat kesejajaran dengan kolimator akan diteruskan, sedangkan diluar itu neutron akan diserap oleh kolimator. Kolimator yang sering digunakan adalah jenis paralel atau yang dikenal dengan istilah *Soller collimator* dan kolimator lubang atau *pin-hole collimator*.

Besarnya sudut kolimasi untuk kolimator paralel maupun lubang dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$\text{sudut kolimasi} = \tan^{-1}(w/l) \quad (1)$$

dimana:

w = jarak antar lembar penyerap neutron atau diameter lubang (mm)

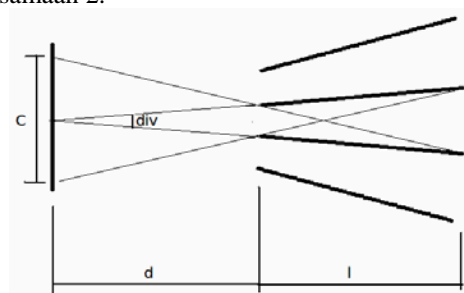
l = Panjang kolimator (mm)

Dengan menyusun lembar-lembar penyerap neutron secara paralel dengan jarak tertentu maka akan didapatkan penampang lintang cakupan dari kolimator ini. Untuk keperluan



difraktometer neutron, cakupan kolimator paralel adalah 15 – 50 mm.

Kolimator radial sama sekali berbeda dengan kolimator paralel. Pada kolimator radial perpanjangan garis dari seluruh lembaran-lembaran penyerap neutron mengarah ke titik tertentu, yaitu titik pusat lingkaran. Ilustrasi kolimator radial diperlihatkan pada gambar 1. Dengan menggunakan anotasi yang ada pada gambar 1, maka daerah cakupan dari kolimator radial dapat dihitung secara analitikal seperti pada persamaan 2.



Gambar 1. Susunan lembar penyerap neutron dilihat dari atas pada kolimator radial.

$$C = 4 \cdot d \cdot \tan(\text{div}/2) \cdot (d+l) / l \quad (2)$$

dimana:

C = cakupan kolimator radial (mm)

d = jarak kolimator ke sampel (mm)

l = Panjang kolimator (mm)

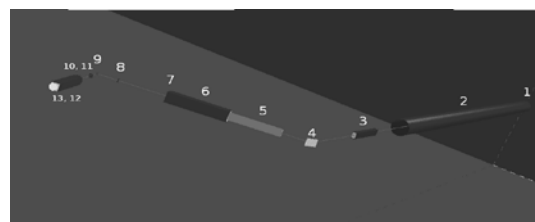
div = sudut kolimasi (derajat)

SIMRES adalah perangkat lunak simulasi Monte-Carlo yang digunakan untuk mensimulasikan perjalanan neutron dari sumber neutron sampai ke detektor melewati komponen-komponen penyusun diffraktometer ataupun spektrometer neutron [1]. Perangkat lunak ini digunakan untuk membantu mengoptimisasi ataupun mendesain peralatan hamburan neutron. Simulasi ini menjadi sangat penting dilakukan mengingat komponen-komponen penyusun peralatan hamburan neutron mempunyai harga yang sangat mahal selain tingkat kesulitan mendapatkannya pun relatif susah. Oleh karena itu perencanaan dengan perhitungan yang matang sangat diperlukan.

TATA KERJA

Simulasi dimulai dengan membuat konfigurasi dari instrumen difraktometer DN1 sesuai dengan data teknis mulai dari tabung berkas S6 RSG-GAS yang terpendam didalam reflektor Berilium teras reaktor.

Konfigurasinya digambarkan secara artistik oleh SIMRES seperti pada gambar 2.



Spesifikasi dari masing masing komponen yang menyusun DN1 ditampilkan pada tabel 1

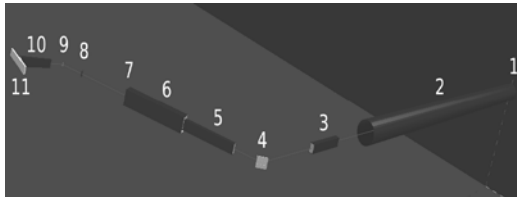
Tabel 1. Perincian komponen yang menyusun DN1. Satuan yang digunakan untuk ukuran adalah mm. Posisi suatu komponen diukur dari pangkal komponen sebelumnya.

No	Nama Komponen	Bentuk/jenis	Ukuran (mm)	Posisi (mm)
1	Sumber Neutron	piringan	D=160 t=1	0
2	Tabung berkas	Pipa	D=160 t= 4191	1
3	Kolimator 1	paralel	pxl=30x40, 40'	4683
4	Monokromator	Bent Perfect crystal	pxl=80x60, vertical focused 3 pieces	1000
5	Tabung berkas #2	kotak	pxlxt=32x50x365	200
6	Tabung berkas #3	kotak	pxlxt=32x50x365	365
7	Slit 1	Lingkaran	D=50	435
8	Slit 2	Kotak	pxl=3x10	350
9	Sampel	Silinder	D=10 tinggi=20	150
10	Slit 3	Kotak	pxl=3x10	100
11	Slit 4	Lingkaran	D=50	201
12	Kolimator 2	paralel	pxl=30x50, 40'	1
13	Detektor	Tabung, End window	D=50	320



**PROSIDING SEMINAR
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan
Yogyakarta, 27 Juli 2011**

Konfigurasi diatas kemudian dirubah mulai dari nomer 10 sampai 13 untuk mensimulasikan komponen kolimator radial. Secara artistik susunan komponen yang membentuk DN1 dengan menggunakan kolimator radial ditunjukkan pada gambar 3. Sedangkan komponen nomer 10 sampai 13 diganti dengan komponen-komponen yang secara berurutan ditunjukkan pada tabel 2.



Tabel 2. komponen yang dipasang setelah sampel pada DN1 untuk konfigurasi menggunakan kolimator radial.

No.	Nama Komponen	Bentuk/jenis	Ukuran (mm)	Posisi (mm)
1	Kolimator	Radial	Entrance= 9.3x40, Extrance=50x40, Slits=8, panjang=210	91
2	Detektor	1Dimensi	pxlxt=250x4010	225

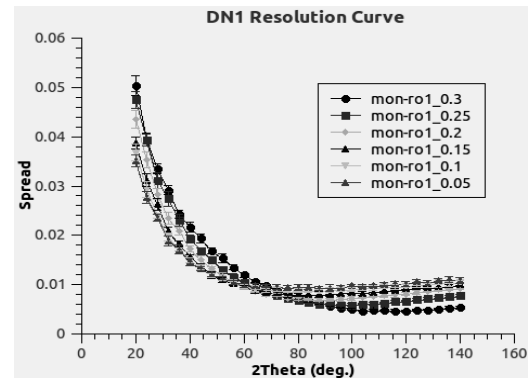
HASIL DAN PEMBAHASAN

Resolusi DN1 dihitung dengan cara mengubah kelengkungan monokromator, dan hasilnya ditampilkan dalam gambar 4. Perhitungan dilakukan dengan bervariasi radius kelengkungan mulai 3,3 m sampai dengan 20 m. Hasil pengukuran resolusi DN1 menggunakan sampel serbuk standard material Nikel dan Silikon ditampilkan pada gambar 5.

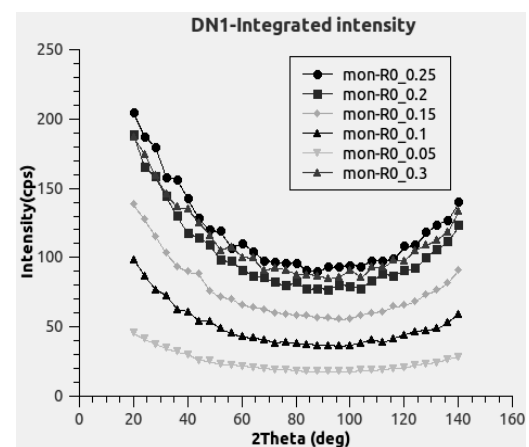
Informasi penting yang didapat dari gambar 4 disarikan pada tabel 3.

Tabel 3. Informasi mengenai jari-jari kelengkungan, *Spread*, sudut 2Theta dan intensitas neutron yang didapat dari gambar 4

No.	Jari-jari kelengkungan (m)	Spread ($\times 10^{-3}$)	Posisi 2Theta (derajat)	Intensitas pada posisi 2Theta
1	3.3	4.7	116	98
2	4	5.8	96	99
3	5	6.9	88	87
4	6.7	7.8	76	65
5	10	8.5	76	42
6	20	9.4	76	20



a



b

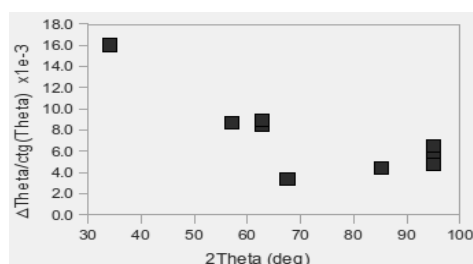
Gambar 4 .Kurva resolusi (a) dan Intensitas (b) dengan berbagai kelengkungan kristal monokromator dalam arah horizontal adalah antara 3,3 sampai 20 m yang bersesuaian dengan kelengkungan 0,3 m^{-1} sampai 0.05 m^{-1} . resolusi terendah dari masing masing kelengkungan mulai dari 3,3 sampai 20 m, berturut turut adalah 4.7



Dengan melihat kurva 4b terlihat bahwa intensitas neutron yang tertangkap oleh detektor tidak mengalami banyak perubahan lagi untuk jari jari kelengkungan kurang dari 6,7 m. Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa jari-jari 6,7 m adalah jari-jari terkecil yang bisa dibuat dengan kristal monokromator berketebalan 5 mm. Dengan jari-jari yang lebih kecil lagi, maka kristal akan patah. Pada saat ini kristal monokromator DN1 dilengkungkan pada jari-jari yang paling kecil. Batas kelengkungan pada kristal monokromator dipantau dengan menggunakan *strain-gage* yang ditempelkan pada kristal tersebut.

Hasil simulasi seperti ditunjukkan pada gambar 4a menunjukkan bahwa resolusi tertinggi tercapai pada posisi 2theta sekitar 76°, dan ini sesuai dengan data hasil eksperimen pada gambar 5 yaitu antara 70° sampai 80°. Sedangkan resolusinya sendiri antara perhitungan dan eksperimen didapat sedikit perbedaan. Dari simulasi didapat resolusi sebesar $7,8 \times 10^{-3}$, sedangkan dari eksperimen didapatkan resolusi sebesar 4×10^{-3} .

Dengan memperhatikan gambar 4 dan 5 maka jari-jari kelengkungan horizontal yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah 6,7 m atau bersesuaian dengan kelengkungan $0,15 \text{ m}^{-1}$.

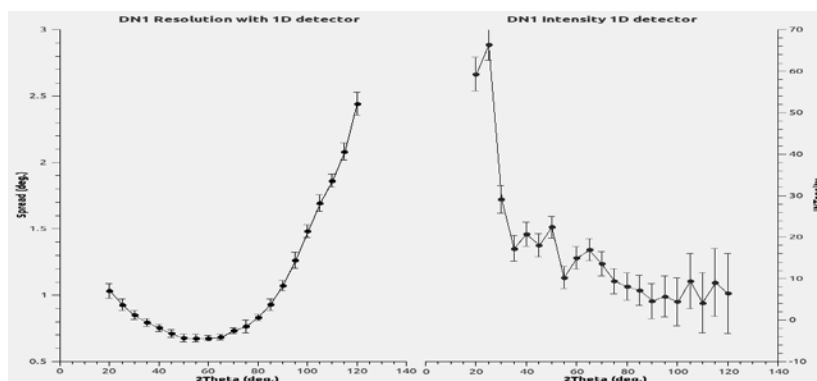


Gambar 5. Kurva Resolusi DN1 diukur dengan menggunakan sampel serbuk standard NBS640b dan Nikel.

Perhitungan resolusi DN1 dengan menggunakan kolimator radial ditunjukkan pada gambar 6. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa resolusi tertinggi yang sebelumnya didapat pada sudut 76°, bergeser menjadi 60°. Perubahan yang sangat signifikan terlihat pada spread yang sebanding dengan resolusinya. Dengan menggunakan kolimator paralel didapatkan spread terendah adalah 0.08, sedangkan pada saat digunakan kolimator radial spreadnya menjadi 0,7. Dengan demikian ada penurunan spread hampir 10 kali lipat dibandingkan dengan konfigurasi kolimator paralel. Demikian juga dengan intensitas yang diterima detektor, turun hampir sepuluh kali lipat lebih rendah.

Untuk mengetahui apakah resolusi ini bisa ditingkatkan dengan mengatur jarak detektor dengan kolimator radial, untuk itu dilakukan perhitungan dengan cara menempatkan detektor pada sudut hamburan 90° dan mengatur jarak detektor dengan kolimator radial. Hasilnya diperlihatkan pada gambar 7a. Dari sini terlihat bahwa resolusi meningkat dengan dijauhkannya detektor, tetapi kenaikannya tidak terlalu signifikan dari 1,08° pada jarak 225 mm menjadi 0.58° pada jarak 415 mm. Perubahan jarak detektor ke kolimator ini ternyata tidak begitu banyak pengaruhnya terhadap intensitas neutron yang tertangkap di detektor, seperti yang terlihat pada gambar 7b.

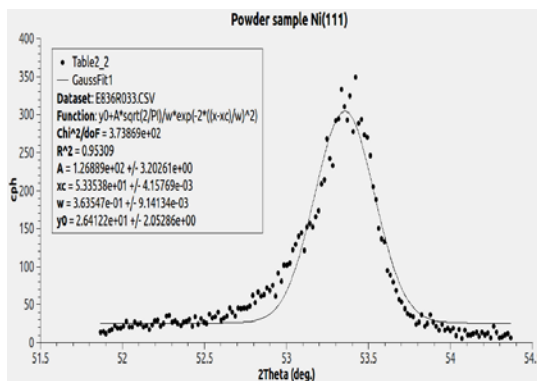
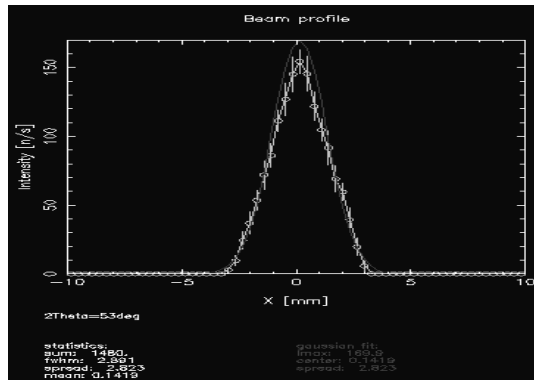
Dalam kenyataannya, penggeseran posisi detektor dari kolimator ini akan menimbulkan kekosongan ruangan dan ini tentunya akan memungkinkan adanya neutron liar yang masuk ke detektor. Untuk itulah diperlukan perisai neutron yang baik untuk menghindari hal ini.



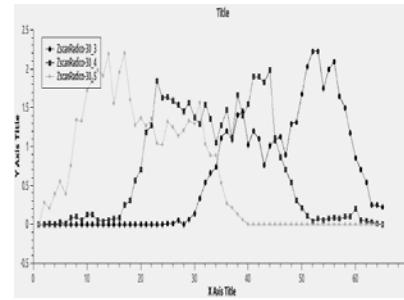
Gambar 6. Kurva resolusi DN1 menggunakan kolimator radial 3 mm dipasang pada posisi 91 mm dari sampel.



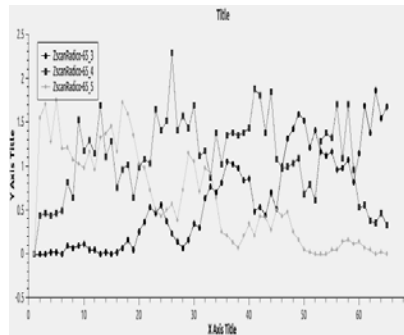
Simulasi ini sama sekali tidak memperhatikan adanya cacah latar seperti yang ditunjukkan pada gambar 8, yaitu perbandingan antara perhitungan yang dilakukan oleh SIMRES pada sudut hamburan sekitar 53° dengan data eksperimen yang diambil dari sampel standard berupa serbuk nikel.



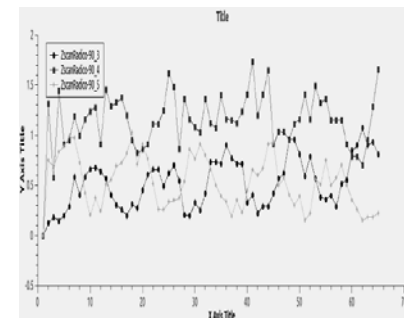
Hal yang penting dari penggunaan kolimator radial adalah pembatasan daerah yang terdeteksi oleh detektor tidak lagi ditentukan dengan menggunakan celah/slit, tetapi oleh kolimator radial itu sendiri. Oleh kerananya kolimator ini perlu diatur jaraknya sedemikian rupa sehingga cakupannya adalah seperti yang direncanakan. Simulasi dilakukan dengan cara memposisikan lengan detektor tegak lurus terhadap arah berkas dan mengubah jarak kolimator terhadap sampel serta sampel digerakkan sepanjang berkas. Karena sampel akan digerakkan sepanjang berkas, maka ukurannya juga dibuat kecil, yaitu $1 \times 1 \text{ mm}^2$. Hasil dari simulasinya tersaji pada gambar 8.



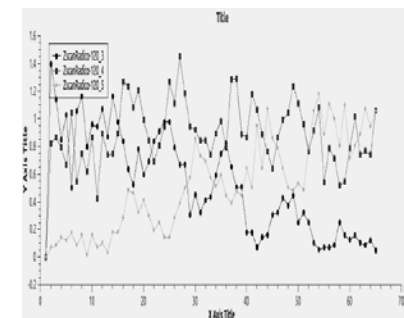
a



b



c



d

Gambar 8. Intensitas neutron yang tertangkap oleh detektor untuk tiga posisi sampel yaitu -1, 0, dan 1 mm dari titik pusat meja sampel. Jarak sampel dengan kolimator adalah 30 (a), 65 mm (b), 90 mm (c) dan 120 mm (d).



Gambar 8 memperlihatkan cakupan dari kolimator radial ini adalah 3 mm. Pada saat simulasi, sampel digerakkan dari -5 sampai 5 mm dengan panjang langkah 1 mm dari posisi pusatnya. Akan tetapi neutron hanya akan dihamburkan ke detektor pada saat sampel berada pada posisi -1 sampai 1 mm saja. Oleh karenanya dalam grafik hanya ditampilkan 3 posisi itu saja. Dari sini terlihat bahwa cakupan dari kolimator radial ini adalah 3mm. Akan tetapi jika pengaturan jarak kolimator radial dengan sampel tidak tepat, maka hamburan neutron dari sampel hanya akan masuk pada celah-celah tertentu saja pada kolimator radial seperti ditunjukkan pada gambar 8a dan 8b. Akan tetapi pada saat jarak kolimator ke radial adalah tepat, maka seluruh slit akan bisa menerima neutron yang dihamburkan oleh sampel dimanapun posisi sampel berada sepanjang 3 mm yang merupakan cakupan dari kolimator radial. Seperti ditunjukkan pada gambar 8c. Hal yang mirip dengan saat jarak kolimator terlalu dekat dengan sampel akan terjadi lagi pada saat jarak kolimator ke sampel terlalu panjang yaitu yang ditunjukkan oleh gambar 8d. Hasil perhitungan ini meyakinkan kita bahwa cakupan kolimator radial ini adalah 3 mm pada jarak 90 mm. Hal ini tidak berbeda dengan perhitungan analitik bahwa kolimator radial ini mempunyai cakupan 3 mm pada jarak 91 mm dari sampel.

KESIMPULAN

1. Kurva resolusi DN1 berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan sampel serbuk adalah 4×10^{-3} , sedangkan berdasarkan hasil perhitungan SIMRES

adalah $7,8 \times 10^{-3}$ pada sudut 2θ antara 70° - 80° .

2. Perhitungan analitik untuk lebar cakupan kolimator radial 3 mm bersesuaian dengan hasil perhitungan SIMRES yang juga menunjukkan lebar cakupannya adalah 3 mm dengan jarak kolimator radial ke sampel sepanjang 91 mm.
3. Simulasi SIMRES tidak memperhitungkan adanya cacah latar, sehingga hasil intensitas dan lebar profile yang diperoleh bisa jadi berbeda dengan hasil pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pekerjaan ini berjalan dengan baik atas dukungan dana dari kementerian Riset dan Teknologi RI melalui SK nomer 01/D.SDI/SK/5/2011.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Shuki Torii and Atsushi Moriai**, "The design of the radial collimator for residual stress analysis diffractometer at J-PARC" (in Japanese), JAEA-Technology 2005-004
2. **J. Šaroun, J. Kulda**, "RESTRAX - a program for TAS resolution calculation and for scan profile simulation", *Physica B* 234-236 (1997) 1102-1104.
3. **P.J. Withers, M.W. Johnson, J.S. Wright**, "Neutron Strain scanning using a radially collimated diffracted beam", *Physica B* 293 (2000) 273-285.