

Kajian Peningkatan Intensitas, Resolusi dan Rentang Momentum Transfer Spektrometer SANS BATAN Menggunakan Lensa Optik MgF_2 sebagai Devais Pemfokus Berkas Neutron

Febie A. Perdana ¹, Edy Giri R. Putra ², Alan Maulana ², Eddy Santoso ², Darminto ¹

¹ Jurusan Fisika - FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

² Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

Kajian Peningkatan Intensitas, Resolusi dan Rentang Momentum Transfer Spektrometer SANS BATAN Menggunakan Lensa Optik MgF_2 sebagai Devais Pemfokus Berkas Neutron. Spektrometer hamburan neutron sudut kecil (SANS) BATAN masih tergolong spektrometer SANS konvensional, yaitu menggunakan celah lingkaran yang terpisah pada jarak tertentu (kolimasi pinhole) untuk mensejajarkan berkas neutron datang. Peningkatan resolusi yang dihasilkan, dapat dilakukan dengan memperkecil diameter pinhole dan memperlebar jarak L_1 , yaitu jarak sumber ke sampel. Namun demikian, penerapan metode ini menyebabkan intensitas berkas neutron datang menjadi berkurang. Intensitas berkas neutron datang yang tinggi dengan resolusi yang baik serta nilai Q_{min} yang rendah, dibutuhkan untuk mengkarakterisasi suatu bahan dengan dimensi yang besar > 200 nm dan memiliki struktur yang kompleks, seperti pada bahan biologi yaitu protein, virus dan lainnya. Salah satu metode untuk meningkatkan intensitas, resolusi dan daerah jangkauan momentum transfer pada spektrometer SANS konvensional adalah menggunakan lensa pembias dan dikenal dengan Focusing SANS (F-SANS). Berdasarkan perhitungan secara kuantitatif, dibutuhkan 49 lensa pembias bikonkaf yang terbuat dari bahan MgF_2 untuk memperlebar batas minimum momentum transfer Q_{min} sekaligus meningkatkan intensitas neutron pada posisi sampel dengan panjang gelombang neutron yang digunakan adalah 6 Å dan $f_0 = 436$ m jarak $L_1 = L_2 = 18$ m.

Kata Kunci : small angle neutron scattering, lensa pembias, focusing SANS

ABSTRACT

Small Angle Neutron Scattering (SANS) spectrometer BATAN is the one of conventional SANS Spectrometer, which use circular apertures separated by distance of several meters to collimate the incident beam. Obtained resolution can be increased by decreasing pinhole diameter and widening L_1 distance which is distance from source to sample. Otherwise, this method makes neutron beam intensity decreased. High intensity of neutron beam with good resolution and less Q_{min} value is needed to characterization a material with large dimension, more than 200 nm, and has complex structure, in example biology materials such as lipid, virus, etc. focusing lens configuration is one of methods that can be used to increasing intensity, resolution, and momentum transfer of SANS spectrometer. This method is known by Focusing SANS (F- SANS). Based on quantitative calculation, it is needed (49) biconcave lens of MgF_2 to widening minimum limit of momentum transfer Q_{min} also increasing neutron intensity on sample position with used neutron wave length 6 Å and $f_0 = 436$ m distance $L_1 = L_2 = 18$ m

Keywords : small angle neutron scattering, refractive lens, focusing SANS

1 Pendahuluan

Beberapa tahun ini telah banyak dilakukan metode untuk mengetahui karakteristik suatu material. Sifat-sifat

yang diamati diantaranya adalah sifat mekanik, optik, elektronik, magnetik maupun kereaktifan permukaan material saat ada pengaruh lingkungan, sifat kimia bahkan

meliputi morfologi dan struktur kristal material. Saat ini nanokristal magnetic dan dan dispersinya telah digunakan dalam bidang biomedik, optic, kimia dan elektronika. Salah satu cara untuk mempelajari morfologi material dengan ukuran nanometer adalah SANS (Small Angle Neutron Scattering). SANS merupakan alat yang memanfaatkan neutron yang berinteraksi langsung dengan inti atom dari sampel. Hamburan pada sudut kecil ini dapat digunakan untuk mengetahui morfologi dari nanomaterial. Salah satu kelebihan dari SANS adalah sampel tidak harus pellet atau film tipis namun bias berupa padatan maupun cairan. Spektrometer SANS di BATAN masih tergolong konvensional SANS yang menggunakan celah lingkaran yang terpisah beberapa meter (kolimasi pinhole) untuk mensejajarkan hamburan neutron datang. Untuk meningkatkan resolusi yang dihasilkan dapat dilakukan dengan memperkecil diameter pinhole dan memperlebar jarak L₁ (yaitu jarak sumber ke sampel). Namun, memperkecil ukuran pinhole menyebabkan intensitas neutron yang tertangkap detektor berkurang. Nilai intensitas yang tinggi, resolusi bagus serta nilai Q_{min} yang rendah dibutuhkan untuk menganalisa dan mengkararakteristik dari suatu bahan. Solusinya, penggantian alat yang mudah dan murah pada peralatan konvensional SANS untuk meningkatkan nilai intensitas dan memperlebar batas terendah Q_{min} dapat menggunakan lensa pembias bikonkaf yang terbuat dari bahan MgF₂.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hamburan Neutron, Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) BATAN, Kawasan PUSPIPTEK Serpong - Tangerang selama satu bulan. Studi literature dilakukan untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi peningkatan resolusi dan pelebaran range dari Q_{min}. Literatur yang dipelajari antara lain tentang Focusing SANS menggunakan lensa optik, bentuk dan bahan lensa yang digunakan, parameter yang diperlukan spektrometer SANS di BATAN untuk meningkatkan resolusi dan memperlebar range dari Q_{min}. Permodelan dilakukan menggunakan software Mcstas. Program software Mcstas merupakan suatu program yang digunakan untuk menampilkan simulasi instrument hamburan neutron dengan ketepatan dan kompleksitas yang tinggi. Simulasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan peralatan yang ada, desain instrumen yang baru dan menampilkan hasil hamburan untuk eksperimen yang bersifat analisa percobaan.

3 Hasil

3.1 Susunan Lensa Optik

Indek bias n untuk neutron di dalam bahan dapat ditulis sebagai $n = 1 - \delta + i\mu$, dimana μ merupakan koefisien absorpsi linier dan δ pengurangan indek bias. Pengurangan indek bias tergantung dari panjang gelombang dari neutron λ , nomer massa jenis atom ρ , dan panjang hamburan koheren $\langle b_c \rangle$

$$\delta = \lambda^2 \rho \langle b_c \rangle / 2 \quad (1)$$

Karena δ sangat kecil tapi masih bernilai positif dalam kebanyakan kasus, n biasanya lebih kecil dari 1, sehingga untuk mengumpulkan berkas neutron diperlukan lensa pembias yang berbentuk bikonkaf. Neutron memiliki sifat yang berbeda dengan sinar yang indek biasnya lebih dari satu, sehingga untuk neutron sebuah lensa cekung akan bersifat konvergen ketika sebuah lensa cembung bersifat divergen.

Bahan penyusun lensa pembiasnya biasanya menggunakan lensa yang terbuat dari bahan MgF₂ (*magnesium fluoride*). Pemilihan bahan MgF₂ sebagai penyusun lensa pembias dikarenakan bahan ini memiliki kekuatan bias yang cukup dan kekuatan atenuasi yang rendah. Sehingga rasio perbandingan antara kekuatan bias dengan kekuatan atenuasinya cukup kecil. Selain itu, bahan MgF₂ lebih mudah didapat dan relatif murah harganya. Beberapa bahan penyusun lensa dapat dilihat pada table berikut

Tabel 1: Susunan Lensa Optik, V = kekuatan bias, W = kekuatan atenuasi

Susunan		V (neV)	W (neV)	(V/W)/10 ⁶
O ₂	Oksigen	8.08E-02	7.41E-10	109.86
D ₂ O	Heavy water	1.66E+02	2.95E-06	56.09
CO ₂	Dry ice	1.01E+02	5.98E-06	16.92
BeO	Berilium	2.55E+02	4.06E-05	6.27
MgF ₂	Magnesium Flouride	1.31E+02	1.80E-04	0.73
SiO ₂	Quartz	1.02E+02	3.09E-04	0.33
H ₂ O	Air	6.41E+01	1.60E-03	0.04

Lensa pembias tunggal memiliki panjang fokus

$$f_0 = \frac{R}{2(1-n)} = \frac{R}{\xi} = \left(\frac{R}{\rho b_c} \right) \left(\frac{\pi}{\lambda^2} \right) \quad (2)$$

Dengan R adalah jari-jari kelengkungan lensa, ρ adalah massa jenis atom, b_c adalah panjang ikatan hamburan koheren dan λ panjang gelombang neutron datang. Dari persamaan 1 dapat disimpulkan bahwa panjang fokus lensa

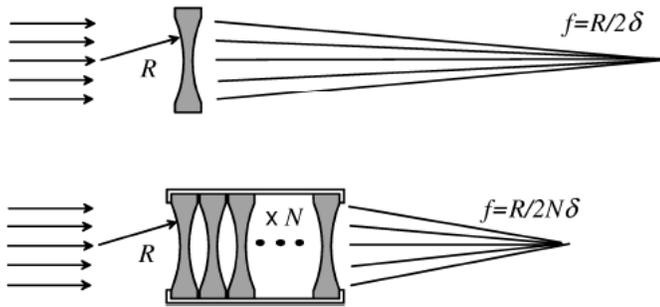
bergantung pada λ^{-2} . Karena itu neutron dengan panjang gelombang yang sudah pasti diperlukan untuk menghasilkan fokus yang bagus. Untuk N lensa panjang fokusnya

$$f = \frac{f_0}{N} \quad (3)$$

dengan

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad (4)$$

Dimana L_1 merupakan jarak dari sumber ke lensa dan L_2 jarak dari lensa ke titik fokus.



Gambar 1: Skema diagram menunjukkan prinsip dari pemfokusan neutron menggunakan lensa optic. (gambar atas : lensa tunggal, gambar bawah: sejumlah N lensa)

Dari gambar dapat dilihat bahwa untuk lensa pembias tunggal memiliki panjang fokus yang lebih panjang dibandingkan dengan sejumlah N lensa, sehingga hamburan neutron datang lebih terfokus, memiliki intensitas yang tinggi dan tidak membutuhkan jarak detektor yang panjang. Hal inilah yang membuat Focusing SANS membutuhkan sejumlah N lensa.

3.2 Geometri Kolimasi SANS

Gambar 4.2 menunjukkan diagram skematik dari kolimasi pinhole konvensional. Pinhole kolimator yang digunakan pada SANS konvensional, Celah sumber dan sampel serta jarak L_1 dan L_2 menegaskan ukuran beam pada detector. Untuk $L_1 = L_2$, kondisi optimal pinhole adalah $A_{1p} = 2A_{2p}$ dan lebar hamburan pada detector $B_p = 2A_{1p}$. Vektor hamburannya

$$kf = ki - ko \quad (5)$$

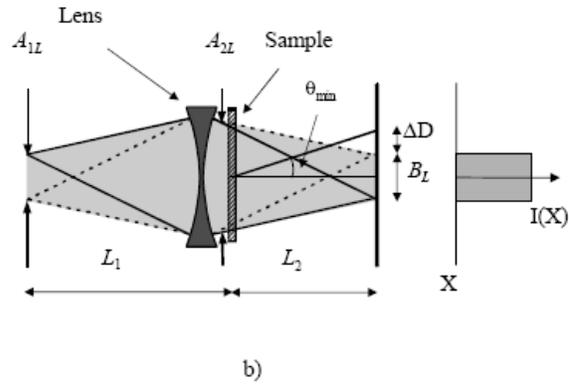
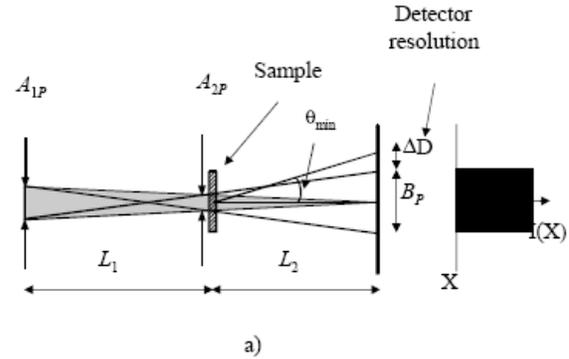
Dimana $k = 2\pi/\lambda$. Dan C_p merupakan faktor smearing yang terdiri dari resolusi detector, pelebaran hamburan yang dipengaruhi gaya berat. Intensitas hamburan pada sampel I_p

$$I_p \left(\frac{n_p \text{ sec}}{d\Omega d\lambda} \right) = \frac{d^2\Phi}{d\Omega d\lambda} \delta\lambda \left(\frac{A_{source} A_{sample}}{L_1^2} \right) \quad (6)$$

Dimana Φ adalah fluks neutron,

$$A_{source} = \frac{A_{1p}^2}{4} \quad (7)$$

$$A_{sample} = \frac{A_{2p}^2}{4} = \frac{A_{1p}^2}{16} \quad (8)$$



Gambar 2: Geometri kolimasi Beam untuk SANS. a) Geometri kolimasi Pinhole, b) geometri lensa pemfokus. Keterangan Gambar : L_1 = Jarak Sumber ke Sampel, L_2 = Jarak sampel ke detector, A_{1p} = Lebar Celah sumber pada pinhole, A_{2p} = Lebar Celah sampel pada pinhole, B_p = Lebar Beam pada pinhole, A_{1L} = Lebar Celah sumber pada lensa, A_{2L} = Lebar Celah sampel pada lensa, B_L = Lebar Beam pada lensa

Menggunakan persamaan 1.4 dan $L_1 = L_2$, persamaan 1.5 dapat ditulis

$$I_p = \frac{d^2\Phi}{d\Omega d\lambda} \delta\lambda \left(\frac{\pi L_1}{8} \right)^2 \left(\frac{Q_{min}}{C_p k} \right)^4 \quad (9)$$

Gambar 1b menunjukkan skema diagram dari focusing lens geometry. Ketika $L_1 = L_2$, ukuran hamburan terfokuskan secara sempurna pada ukuran detector sama dengan ukuran sumber, $B_L = A_{1L}$. dapat disimpulkan bahwa ukuran beam pada detector tidak bergantung dari ukuran celah sampel. Karena itu, ukuran sampel yang bertambah besar dapat meningkatkan intensitas neutron tanpa mempengaruhi ukuran beam pada detector yang

artinya resolusinya juga tinggi. Pada konfigurasi lensa, Q minimumnya sebesar

$$ky \quad (10)$$

C_L adalah faktor smearing yang terdiri dari resolusi detector, pelebaran hamburan yang dipengaruhi gaya berat. Intensitas pada sampel besarnya

$$I_L = T_L \frac{d^2\Phi}{d\Omega d\lambda} \delta\lambda \left(\frac{\pi A_{2L}}{2} \right)^2 \left(\frac{Q_{min}}{C_L k} \right)^2 \quad (11)$$

Dimana T_L merupakan transmisi neutron pada lensa.

Dari persamaan 1.6 dan 1.8, dapat disimpulkan bahwa I_L sebanding dengan Q_{min}^2 sedangkan I_p sebanding dengan Q_{min}^4 . Karena itu, nilai Q_{min} menjadi kecil, intensitas pada sampel berkurang pada kedua keadaan, tapi lebih cepat pada pinhole dibandingkan dengan lensa. Sehingga terdapat titik persilangan dari Q_{min} pinhole dan Q_{min} lensa.

$$Gain = \frac{I_L}{I_p} = \left(\frac{A_{1L}}{A_{1p}} \right)^2 \left(\frac{A_{2L}}{A_{2p}} \right)^2 \left(\frac{c_p}{c_L} \right)^2 T_L \quad (12)$$

4 Pembahasan

Peningkatan resolusi menggunakan lensa pembias didasarkan pada percobaan serupa yang telah digunakan dan dikembangkan oleh NIST (National Institute of Standart and Technology). Metode ini dikenal dengan istilah *Focusing SANS* (F-SANS). F-SANS di NIST dengan panjang 30 m, menggunakan lensa bikonkaf yang terbuat dari MgF₂ dengan $R = 2.5$ cm, $\xi = 1.6 \times 10^{-4}$ untuk 10 Åneutron dan $f_0 = 156$ m dan jarak $L_1 = L_2 = 15$ m. Membutuhkan sekitar 21 lensa MgF₂ untuk memfokuskan 10 Åneutron. Untuk SMARTer di BATAN dengan panjang gelombang 6 Å dan $R = 25$ cm dan panjang 36 cm sehingga

untuk menghasilkan resolusi yang optimum $L_1 = L_2 = 18$ m, dengan panjang korelasi sebesar

$$kg \quad (13)$$

Panjang fokus lensa tunggal MgF₂ sebesar

$$f_0 = \frac{R}{\xi} = \frac{2.5 \times 10^{-2}}{0,573 \times 10^{-4}} = 436m$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{18} + \frac{1}{18}$$

Sehingga membutuhkan lensa MgF₂ sebanyak

$$N = \frac{f_0}{f} = \frac{436}{9} = 48,4 \approx 49buah \quad (14)$$

Secara kuantitatif SMARTer membutuhkan sekitar 49 lensa MgF₂ untuk memfokuskan 6 Åneutron.

5 Kesimpulan

Sebanyak 49 lensa pembias bikonkaf yang terbuat dari bahan MgF₂ dibutuhkan untuk memperlebar batas minimum momentum transfer Q_{min} sekaligus meningkatkan intensitas neutron pada posisi sampel dengan panjang gelombang neutron yang digunakan adalah 6 Å dan $f_0 = 436$ m jarak $L_1 = L_2 = 18$ m.

Daftar Pustaka

- [1] S.-M Choi, Focusing cold neutron with multiple bi-concave lenses for small-angle neutron scattering, J. Appl. Cryst. (2000) 793-796.