



KEGIATAN HAMBURAN NEUTRON DI SERPONG

Abarrul Ikram

Puslitbang Iptek Bahan – BATAN, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

ABSTRAK

KEGIATAN HAMBURAN NEUTRON DI SERPONG. Peralatan hamburan neutron yang ada di Serpong terdiri dari tiga difraktometer, tiga spektrometer dan sebuah fasilitas radiografi neutron. Peralatan ini dimaksudkan untuk mendayagunakan neutron yang dihasilkan RSG GAS terutama untuk litbang iptek bahan. Setelah sembilan tahun keberadaannya berbagai perubahan telah terjadi dan berpengaruh pada kondisi serta kemampuan peralatan tersebut. Makalah ini menyajikan peralatan-peralatan tersebut, kondisi terakhirnya serta kegiatan-kegiatan yang melibatkan masing-masing peralatan tersebut.

ABSTRACT

NEUTRON SCATTERING ACTIVITIES IN SERPONG. Neutron Scattering instruments installed in Serpong consist of three diffractometers, three spectrometers and one neutron radiography facility. These instruments were meant to utilize neutrons produced by the Multi Purpose Research Reactor GA Siwabessy, especially for research and development in materials science and technology. After nine years of their existence various and different changes have taken places and affecting the condition and capabilities of the instruments. This paper presents the instruments, their latest condition and activities involving them.

PENDAHULUAN

Dalam rangka peningkatan dan perluasan sarana litbang iptek nuklir, pada awal tahun 1980an BATAN mulai membangun berbagai fasilitas dan instalasi nuklir di Kawasan PUSPIPTEK Serpong sejalan dengan pesatnya pembangunan di Indonesia saat itu. Berbagai fasilitas dan instalasi nuklir tersebut mencakup Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset, Instalasi Elemen Bakar Eksperimental, Instalasi Radioisotop dan Radiofarmaka, Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif, Instalasi Keselamatan dan Keteknikan Reaktor, Instalasi Radiometalurgi, Fasilitas Pengembangan Informatika, Fasilitas Perangkat Nuklir dan Rekayasa serta lain-lain sarana pendukung termasuk berbagai sistem pengamanan dan keselamatan yang mutakhir. Deras dan hingar bingarnya pembangunan ini terus memuncak dan mulai mereda 10 tahun kemudian pada awal tahun 1990an.

Dari berbagai fasilitas dan instalasi nuklir yang dibangun itu, Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG GAS) merupakan yang paling monumental dan menjadi pusat kegiatan ketenaga-nukliran BATAN di Serpong, termasuk Iptek Nuklir. Reaktor riset ini didisain untuk beroperasi dengan daya maksimum 30 MW termal dan memiliki fluks $2,5 \times 10^{14}$ n/cm².detik pada posisi di pusat terasnya. Berbagai fasilitas iradiasi juga tersedia, baik di

teras maupun melalui *beam tube* nya. Sebagaimana fasilitas dan instalasi nuklir lainnya di Serpong, setelah pembangunan dan *commissioning* selesai, program pendayagunaan RSG-GAS menjadi pusat perhatian dan prioritas utama. Selain untuk memproduksi radioisotop dan kegiatan litbang untuk reaktor sendiri, RSG-GAS juga disiapkan untuk dimanfaatkan bagi litbang yang menggunakan neutron dari *beam tube* nya. Untuk itu dibangun Instalasi Spektrometri Neutron (ISN) yang dilengkapi dengan berbagai peralatan hamburan neutron beserta fasilitas pendukung yang diperlukannya mulai dari Media Energy Supply, Ruang Sediaan Cuplikan, Bengkel Mekanik, Elektronik dan Optik serta fasilitas komputer terbaik pada zamannya. ISN ini selesai dibangun dan diresmikan oleh Presiden RI pada bulan Agustus 1992. Sejak itu dimulailah kegiatan hamburan neutron di Serpong.

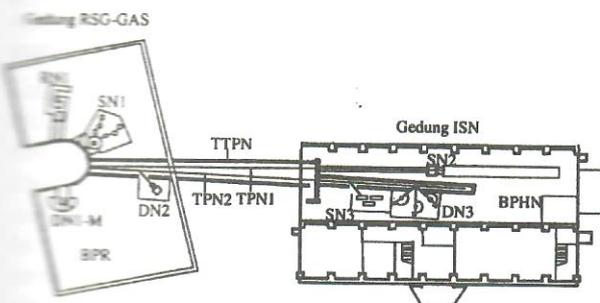
Fasilitas pemanfaatan neutron ini terutama untuk analisis struktur bahan dalam rangka pengembangan untuk mendapatkan bahan baru yang lebih baik. Modifikasi dan sintesa untuk mendapatkan bahan baru dengan sifat makro yang lebih baik tidak dapat dilepaskan dari pemahaman terhadap sifat-sifat mikro bahkan sifat atomiknya. Dengan sendirinya selain

pemodelan dan simulasi, metoda karakterisasi makroskopik, mikroskopik bahkan metode karakterisasi untuk struktur atomik menjadi penting. Teknik hamburan neutron merupakan teknik karakterisasi bahan yang selain memiliki keunggulan karena sifat-sifat neutronnya juga dapat mencakup rentang ukuran pengamatan yang cukup luas, baik makro, mikro apalagi atomik.

PERALATAN HAMBURAN NEUTRON

Pada umumnya teknik hamburan neutron digunakan untuk penelitian struktur tingkat atom, termasuk struktur magnetik, ketidakteraturan (disorder) dan cacat bahan. Selain itu teknik ini juga digunakan untuk penelitian sistem molekuler, gelas (termasuk cairan), polimer, permukaan dan biologi.

Sejak beroperasinya Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) di Serpong yang memproduksi neutron termal terbukalah kesempatan untuk mengembangkan teknik hamburan neutron untuk penelitian ilmu bahan dan penggunaannya dalam industri. Reaktor jenis MTR ini menggunakan elemen bakar uranium silisida yang diperkaya dengan U^{235} (< 20 %). Terasnya terdiri dari 40 elemen bakar dan sepuluh batang kendali yang menghasilkan fluks neutron di teras $2,5 \times 10^{14}$ n/cm².detik, pada daya maksimum 30 MW termal. Ada enam tabung berkas yang dapat menyalurkan neutron dari teras reaktor, dua buah diantaranya tangensial (S2 dan S6) dan lainnya radial. Hanya empat dari 6 tabung berkas tersebut yang digunakan untuk kegiatan hamburan neutron [1]. Gambar 1 memperlihatkan instalasi dan tata letak peralatan hamburan neutron di dalam balai percobaan reaktor (BPR) dan balai percobaan hamburan neutron (BPHN). Dua tabung pemandu neutron TPN-1 dan TPN-2 dipasang pada lubang percobaan S5, menembus dinding reaktor dan melalui terowongan sepanjang 35 m, masuk ke dalam BPHN. Tujuh macam peralatan neutron, yakni tiga difraktometer berbagai jenis (DN1-M, DN2 dan DN3), tiga macam spektrometer (SN1, SN2 dan SN3) dan sebuah fasilitas radiografi neutron telah terpasang, sehingga dapat memperluas ruang lingkup dan keberagaman penelitian.



Gambar 1. Tata letak peralatan hamburan neutron

Ruang lingkup penelitian ilmu bahan dengan teknik hamburan neutron di Pusat Penelitian dan

Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan diharapkan dapat mencakup : kristalografi dan struktur magnetik, eksitasi struktur atomik, inhomogenitas dalam paduan logam seperti segregasi, agregasi dan presipitasi, makromolekul dan polimer. Selain itu, ingin pula dikembangkan teknik uji tak merusak antara lain analisis tegangan sisa, tekstur dan cacat bahan. Untuk itu dipilih peralatan hamburan neutron yang dapat mendeteksi obyek dari berbagai ukuran dalam orde 1A sampai mm. Tabel 1. menunjukkan berbagai peralatan neutron yang digunakan sesuai dengan ukuran obyek yang hendak diamati.

Tabel 1. Berbagai peralatan neutron untuk berbagai ukuran obyek

Peralatan	Ukuran obyek
Difraktometer neutron	1 Å ~ 40 Å
Spektrometer neutron sudut kecil	10 Å ~ 10000 Å
Radiografi neutron	µm - mm

Tabung Pemandu Neutron (TPN)

Tabung Pemandu Neutron (TPN) ini terbuat dari tabung gelas borkron, berpenampang dalam 33 mm x 90 mm dengan lapisan Ni⁵⁸ pada permukaan dalamnya. Gelas borkron dipilih karena mengandung banyak atom-atom boron penyerap neutron termal. Lapisan Ni⁵⁸ yang digunakan dapat memantulkan neutron sehingga dapat menyalurkan neutron ke tempat yang jauh dari sumbernya tanpa mengalami penurunan fluks yang berarti. TPN yang dapat menyalurkan neutron ke tempat jauh ini, selain dapat meningkatkan ruang kerja di sekitar peralatan hamburan neutron juga mengurangi latar belakang pada cacahan detektor.

Dari empat tabung berkas yang disediakan untuk kegiatan hamburan neutron, tabung berkas S5 memiliki diameter terbesar dan dapat dimanfaatkan bagi pemasangan 2 buah TPN. TPN-1 memiliki panjang total 52,5 m dan sebagian (39m) melengkung dengan jari-jari kelengkungan 3926 m dan sisanya lurus. TPN-2 memiliki panjang total 70 m sebagian (37m) melengkung ke arah berlawanan dengan TPN-1 dengan jari-jari kelengkungan 6979 m dan sisanya lurus. Panjang gelombang neutron karakteristik kedua tabung itu masing-masing 2 Å dan 1,5 Å. Tabung pemandu neutron ini harus selalu dalam keadaan hampa udara ($10^{-1} - 10^{-3}$ torr).

Pemasangan dua TPN ini telah memungkinkan penambahan empat buah spektrometer dan difraktometer, dan tiga diantaranya ditempatkan di BPHN yang terletak ~40m dari reaktor

Difraktometer Neutron

Ada tiga buah peralatan neutron yang dapat digolongkan ke dalam difraktometer neutron.

Difraktometer ini menggunakan teknik difraksi neutron yang bertumpu pada prinsip Bragg. Penggunaan praktis prinsip ini antara lain untuk :

- ◆ Analisa struktur, misalnya menentukan fasa-fasa dalam paduan logam atau mineral.
- ◆ Dengan menambah suatu goniometer Euler dapat dilakukan penentuan tekstur bahan
- ◆ Dengan menambah perangkat khusus dapat diukur regangan dalam bahan sehingga dapat ditentukan tegangan internal ataupun yang tersisa dalam bahan

Difraktometer Neutron pertama saat ini digunakan untuk mengukur tegangan sisa (DN1-M). Pada awalnya DN1-M merupakan difraktometer standar jenis dua-sumbu yang kegunaan utamanya untuk menentukan struktural kristal dengan cuplikan berupa serbuk. Keistimewaan DN1-M adalah dipakainya monokromator parabola yang saat ini terdiri dari lima kristal tunggal Si(311) yang dapat memfokuskan berkas neutron pada posisi cuplikan serbuk. Hal ini sangat menguntungkan karena tidak semua bahan dapat dibuat kristal tunggalnya. Dengan bantuan JAERI, Jepang, difraktometer ini telah dikembangkan untuk mengukur tegangan sisa.

Difraktometer yang kedua disebut Difraktometer Neutron Empat Lingkaran/Difraktometer Tekstur (DN2). DN2 digunakan untuk menentukan struktur kristal tunggal dengan teliti. Alat ini juga dapat menentukan tekstur bahan. Analisa tekstur dengan neutron memberikan informasi rata-rata *bulk* lebih lengkap dari pada menggunakan sinar-x karena daya tembus neutron sangat tinggi. Untuk itu DN2 dilengkapi dengan goniometer empat lingkaran.

Difraktometer ketiga dinamakan Difraktometer Neutron Serbuk Resolusi Tinggi (DN3). DN3 ini merupakan difraktometer standar dua-sumbu dengan resolusi tinggi. Resolusi ini dicapai dengan pemilihan kolimator ketiga dengan divergensi 6' dan sudut "take-off" monokromator $2\theta_M$ mendekati 90° . Detektor utamanya berupa *multicounter* yang terdiri dari 32 pencacah He^3 berjarak 5° dan masing-masing dilengkapi kolimator di depannya. Pola difraksi dapat diperoleh dengan relatif lebih cepat karena dilakukan secara simultan oleh 32 pencacah. Analisis data dilakukan dengan program Rietveld. DN3 dipasang pada TPN-2, menggunakan monokromator Ge(311). Meja cuplikan dan detektor yang sangat berat itu dapat digerakkan dengan mudah dengan bantuan bantalan udara (*air cushion*) yang bergerak di atas lantai dansa (*dance floor*) yang sangat licin. Pada umumnya kegunaan alat ini untuk meneliti struktur kristal dari cuplikan serbuk.

Dari ketiga difraktometer ini, saat ini hanya DN1-M lah yang masih dapat difungsikan. DN2 mengalami kerusakan pada sistem komputernya tiga tahun yang lalu dan saat ini masih dalam proses pemulihan dengan menggunakan sistem kontrol alternatif yang dapat dibuat sendiri dengan bahan lokal. DN3 mulai mengalami gangguan pula pada sistem komputernya sejak akhir tahun lalu dan akhirnya pada akhir bulan lalu

terpaksa tidak dapat dioperasikan lagi. Usaha untuk pemulihannya sedang dalam penajakan dan menunggu keputusan pendanaan.

Spektrometer Neutron

Ada tiga peralatan neutron di Serpong yang digolongkan ke dalam spektrometer. Spektrometer pertama dikenal dengan nama Spektrometer Neutron Tiga Sumbu (SN1). Spektrometer ini disebut demikian karena mempunyai tiga sumbu, dua sumbu dipakai sebagai difraktometer dan sumbu ketiga untuk menganalisis energi neutron terhambur. SN1 dapat berfungsi sebagai :

- ◆ spektrometer hamburan neutron inelastik dengan neutron tak terpolarisasi (fonon) atau terpolarisasi (magnon)
- ◆ difraktometer elastik untuk bahan non magnetik dan spektrometer neutron terpolarisasi untuk bahan magnetik.
- ◆ dengan penambahan beberapa komponen dapat digunakan untuk spektrometer analisis polarisasi neutron

SN1 ditempatkan pada ujung tabung berkas S4 di dalam BPR. Spektrometer ini dapat digerakkan dengan mudah dengan bantuan bantalan udara yang bergerak di atas lantai dansa. Untuk mendapatkan neutron terpolarisasi SN1 dilengkapi dengan polarisator Cu_2MnAl (111), kolimator magnet dan pembalik spin tipe Mezei. Tersedia pula medan elektromagnet, kriostat dan tungku.

Sejak 6 tahun yang lalu spektrometer ini mengalami kerusakan yang sampai saat ini belum dapat ditentukan letak dan penyebabnya. Usaha ke arah pemulihan masih ditangguhkan mengingat komplikasi yang ada serta prioritas yang bisa disusun saat ini mengingat kemampuan dan pengetahuan maupun pendanaan.

Dua buah spektrometer yang lain bergerak di bidang yang diberi nama hamburan neutron sudut kecil. Kedua spektrometer itu diberi nama berturut-turut Spektrometer Neutron Hamburan Sudut Kecil (SN2) dan Spektrometer Neutron Hamburan Sudut Kecil Resolusi Tinggi (SN-3).

SN2 atau SANS adalah spektrometer yang diharapkan dapat digunakan untuk mengamati fenomena hamburan neutron elastik pada rentang momentum transfer

$$q : 10^{-4} < q < 0,1 \text{ \AA}^{-1}$$

dengan momentum transfer

$$q = (4\pi \sin\phi)/\lambda$$

Disini ϕ dan λ masing-masing adalah sudut hamburan dan panjang gelombang neutron. Agar diperoleh q kecil, maka ϕ harus kecil atau λ besar.

Untuk mendapatkan ϕ kecil maka diperlukan spektrometer yang panjang untuk mengakomodasi jarak detektor-cuplikan yang panjang. Pada SN2 jarak cuplikan ke detektor maksimum 18m. Harga q juga dapat dibuat kecil dengan menggunakan λ besar yang dapat diperoleh dari neutron dingin. SN2 tidak menggunakan neutron dingin dan panjang gelombang efektifnya antara 2 Å dan 4 Å.

Teknik hamburan neutron sudut kecil ini berguna untuk mendeteksi cacat berukuran kecil yang tidak terdeteksi oleh mikroskop elektron. Penggunaannya antara lain untuk [2] :

- menentukan ukuran dan distribusi presipitat, molekul makro bahkan polimer.
- menentukan ukuran dan distribusi porositas dalam batu bara, batuan yang mengandung minyak, semen dll.
- menentukan endapan dan agregat dalam paduan logam, misalnya pengelompokan Cu dalam baja dll.

Alat ini dipasang diujung TPN1, terdiri dari tabung kolimator yang berisi tabung pemandu neutron sepanjang 18m dan tabung detektor yang panjangnya juga 18m di dalam mana detektor dapat bergerak secara kontinu. Detektor tersebut adalah detektor dua dimensi (28 x 128 elemen) berisi gas He³. Alat ini diharapkan dapat digunakan dalam penelitian bidang fisika logam, metalurgi, pengetahuan bahan dan biologi, khususnya penentuan ukuran dan distribusi cacat, partikel endapan, porositas, polimer dan sebagainya. Dengan berbagai kekurangan yang dimiliki dan kesulitan yang dilidapinya, saat ini SN2 masih dapat berfungsi.

Spektrometer ketiga yakni SN3 yang biasa disebut HRSANS, dipasang pada TPN2 dengan monokromator PG(004). Dua kristal tunggal silikon (SG11) dipasang di atas meja optik, sedangkan cuplikan diletakkan di antara kedua kristal tersebut. Tiga buah detektor He³ masing-masing untuk monitor, berkas langsung dan berkas terhambur dapat bergerak dengan mudah di atas bantalan udara dan lantai dansa. Sebagaimana SN2 (SANS), spektrometer SN3 (HRSANS) ini digunakan untuk mengamati fenomena hamburan sudut kecil dengan resolusi tinggi, sehingga dapat mendeteksi inhomogenitas (cacat, endapan, rongga) berukuran antara 1000 Å – 10000 Å. Berbeda dengan SN2 yang mengukur hamburan sudut kecil secara langsung, SN3 menggunakan dua kristal tunggal silikon. Karena itu spektrometer ini juga disebut difraktometer kristal ganda. Hamburan sudut kecil diamati dengan mengalar kurva ayunan (*rocking-curve*) tanpa dan dengan cuplikan. Hamburan sudut kecil dari cuplikan menyebabkan kurva ini melebar. Karena pelebaran kurva ini peka terhadap perubahan suhu, maka seluruh peralatan ini berada dalam ruang termostatik. Sejak akhir tahun lalu, HRSANS tidak dapat berfungsi lagi karena kerusakan yang terjadi pada komputer pengontrolnya. Selain itu, spektrometer ini juga memerlukan waktu yang sangat lama untuk pengkalibrasiannya sehingga dalam

daftar pemulihan peralatan berada pada urutan yang lebih bawah.

Fasilitas Radiografi Neutron (RN1)

RN1 adalah satu-satunya peralatan neutron yang bekerja berdasarkan atenuasi neutron, bukan hamburan. Radiografi neutron dapat memberikan informasi yang tidak mungkin diperoleh dengan radiografi sinar-X atau sinar gamma. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat neutron yang unik antara lain :

- ♦ teratenuasi oleh bahan-bahan ringan seperti air, hidrokarbon, boron
- ♦ menembus bahan-bahan berat seperti baja, timbal
- ♦ peka terhadap substitusi isotop

RN1 juga mampu memberi bayangan dinamik. Dengan metoda ini *real-time imaging* dapat dilakukan misalnya untuk mengamati aliran dua fasa dalam pipa logam. Hal ini dilakukan dengan mengamati cahaya yang dipancarkan oleh layar sintilator dengan sistem TV. Untuk hasil gambar yang jelas dipasang *image intensifier* antara sintilator dengan kamera. Pengembangan untuk *Computed Tomography* (CT) telah pula dilakukan untuk melengkapi RN1. Dengan teknik ini dapat divisualisasi penampang suatu obyek dengan merekonstruksi berbagai gambar yang didapat dari berbagai posisi pengamatan berbeda.

KEGIATAN HAMBURAN NEUTRON

Dengan melihat keadaan dan kondisi peralatan yang ada (saat ini hanya DN1-M, SN2 dan RN1 yang masih dapat berfungsi) serta keadaan ekonomi yang tidak menguntungkan, maka kegiatan yang dilakukan meliputi :

Pemberdayaan Fasilitas Hamburan Neutron

Dalam kegiatan ini diusahakan untuk memulihkan kembali kondisi beberapa peralatan sesuai prioritasnya. Pada saat ini sedang dilakukan penerapan sistem kontrol alternatif pada DN2 yang menghilangkan ketergantungan pada *experties* maupun suku cadang dari luar negeri. Keberhasilan program ini akan dijadikan titik awal untuk memperbaiki peralatan lain seperti DN3 (HRPD), SN1 (TAS) maupun SN3 (HRSANS).

Pendayagunaan Peralatan

Peralatan yang terlibat dalam kegiatan ini adalah DN1-M dan SN2 (SANS): Kedua peralatan ini telah beberapa kali diuji dengan berbagai cuplikan standar dan meskipun hasilnya belum bisa dikatakan memuaskan tapi keduanya telah menunjukkan kinerja yang dapat diandalkan untuk menunjang berbagai kegiatan penelitian, terutama dalam bidang iptek bahan. Gambar 2 dan 3 menampilkan salah satu hasil pengukran dengan kedua alat tersebut.

Pengembangan Peralatan dan SDM

Dalam kegiatan ini selain peralatan DN1-M yang memang terus dikembangkan juga melibatkan

berbagai peralatan pendukung, diantaranya pengembangan sistem kontrol pompa vakum tabung pemandu neutron. Hal ini dapat dilihat sebagai dampak positif dari program pemberdayaan yang banyak melibatkan penggantian sistem kontrol. Pengembangan SDM juga dilakukan melalui diklat dan pendidikan informal dan formal lainnya. Selain itu juga sedang diujicobakan pengembangan fasilitas radiografi neutron yang saat ini belum memberikan hasil citra yang memuaskan karena kelemahan pada disain *inner collimator*-nya. Pengembangan tersebut akan melibatkan berbagai pihak termasuk IAEA dengan bantuan tenaga ahlinya.

KESIMPULAN

BATAN dengan RSG-GAS nya telah memiliki berbagai peralatan hamburan neutron yang dengan teknik difraksi, hamburan sudut kecil dan radiografi neutron mampu mengamati fenomena dalam bahan pada rentang 10^{-10} m (angstrom) sampai 10^{-3} m (mm). Berbagai teknik karakterisasi ini telah dimanfaatkan untuk penelitian bahan. Saat ini hanya DN-1M dan SANS yang dapat difungsikan sementara RN1 masih memerlukan pengembangan sebelum dapat diperhitungkan. Pemberdayaan DN2 telah mendekati tahap akhir dan telah pula memberikan dampak positif pada pengembangan peralatan pendukung yang ada. Sementara itu peralatan SANS telah dipersiapkan untuk dapat menunjang penelitian bahan, terutama penelitian makromolekul. Pendayagunaan peralatan SANS saat ini diarahkan pada penelitian di bidang polimer yang

diharapkan dapat membantu perkembangan polimer di tanah air. Kerja sama dan bantuan pihak lain, terutama pada tataran yang tepat dan diperlukan akan sangat membantu dalam pencapaian hasil yang maksimal. HRPD yang merupakan peralatan hamburan neutron yang paling handal dan sangat dibutuhkan memerlukan penggantian sistem kontrol sebelum dapat dimanfaatkan lagi untuk penentuan struktur kristal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staf dan teknisi UPT-Balai Spektrometri BATAN yang telah membantu dalam penyiapan makalah ini terutama kepada AD Puspitasari dan Yatno yang telah membantu pengetikannya. Penghargaan yang setinggi-tingginya juga kami sampaikan kepada Bapak Marsongkohadi dan Bapak Djajusman atas bimbingannya selama ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Panitia Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X ke 4 yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. MARSONGKOHADI, *Neutron Beam Research at MSRC*, 1993
- [2]. J.S. HIGGINS and H.C. BENOIT, *Polymers and Neutron Scattering*, Oxford Science Publications, 1994