

## PERAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI BAHAN DI BATAN

Pramudita Anggraita<sup>1</sup> dan Gunandjar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Deputi Bidang Penelitian Dasar dan Terapan - BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

<sup>2</sup>Kepala Puslitbang Iptek Bahan - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

### ABSTRAK

#### PERAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI BAHAN DI BATAN.

Disajikan arah kebijaksanaan, peran, peluang dan tantangan litbang iptek bahan di BATAN dalam mendukung Visi, Misi dan kompetensi BATAN serta tujuan dan sasaran utama (*Landmark*) BATAN. Peran, peluang dan tantangan litbang iptek bahan diuraikan berdasarkan 6 (enam) pilar kompetensi BATAN yaitu: Aplikasi Isotop dan Radiasi, Produksi Isotop dan Senyawa Bertanda, Pengelolaan Limbah Radioaktif, Rekayasa dan Pembuatan Perangkat Nuklir, Daur Bahan Bakar Nuklir, dan Reaktor Daya. Disampaikan pula fasilitas nuklir utama yang mendukung litbang iptek bahan. Berdasarkan kompetensi BATAN litbang iptek bahan mempunyai peran penting dalam mendukung tercapainya sasaran utama (*Landmark*) BATAN khususnya bidang energi, bitoteknologi/ kesehatan dan manufaktur.

### ABSTRACT

#### THE ROLE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT IN MATERIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY AT BATAN.

The policy, role, opportunity and challenge of R&D in materials science and technology to supporting the vision, mission, main goal and objective (*Landmark*) of BATAN are presented. The role, opportunity and challenge of R&D in materials science and technology are described based on 6 (six) fields of BATAN's competence, i.e.: Application of Isotope and Radiations, Production of Isotope and Label Compounds, Radioactive Waste Management, Nuclear Instrument Engineering, Nuclear Fuel Cycle, and Power Reactor Technology. Primary nuclear facilities supporting R&D in materials science and technology are also mentioned. Based on BATAN's competence R&D in materials science and technology has an importance role to support the achievement of BATAN's main objective (*Landmark* of BATAN) especially in the focus program of energy, biotechnology/ health, and manufacture.

### PENDAHULUAN

Program penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bahan (litbang iptek bahan) di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) secara struktural di tugaskan kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan (P3IB) di bawah Deputi Bidang Penelitian Dasar dan Terapan (PDT). Walaupun demikian kegiatan yang berkaitan dengan litbang iptek bahan secara khusus juga dilaksanakan di pusat-pusat lain di BATAN untuk menunjang tugas dan fungsi pusat-pusat tersebut terutama pusat-pusat di bawah Deputi Bidang PDT yaitu Puslitbang Teknologi Maju (P3TM) di Yogyakarta, Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi (P3TIR) di Pasar Jum'at Jakarta dan Puslitbang Teknik Nuklir (P3TKN) di Bandung. Selain itu litbang yang berkaitan dengan iptek bahan juga dilaksanakan oleh pusat-pusat di bawah Deputi Bidang Pengembangan Teknologi Daur Bahan Bakar dan Rekayasa (PTDBR) yang secara khusus melaksanakan litbang bahan bakar nuklir di Pusbang Teknologi Bahan Bakar dan Daur Ulang (P2TBDU), litbang bahan wadah penyimpanan limbah umur panjang di Pusbang Pengolahan Limbah Radioaktif

(P2PLR) dan Litbang bahan galian nuklir di Pusbang Bahan Galian dan Geologi Nuklir (P2BGN).

Sesuai dengan Undang-undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenagaan nuklir, (<sup>1</sup>) tugas BATAN adalah melaksanakan tugas pemerintahan di Bidang Penelitian dan Pengembangan (litbang) dan Pemanfaatan Tenaga Nuklir sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku, maka kegiatan litbang iptek bahan secara garis besar diarahkan pada ruang lingkup yang meliputi:

1. Litbang bahan nuklir khususnya dan bahan bakar nuklir serta bahan-bahan reaktor. Bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai. Bahan-bahan tersebut adalah bahan-bahan yang mengandung isotop-isotop U-235, Pu-239, U-233, dan Th-234, sedangkan bahan bakar nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan proses transformasi inti berantai.
2. Litbang bahan yang berfungsi dalam teknologi nuklir.

Bahan-bahan yang berfungsi dalam teknologi nuklir meliputi antara lain bahan-bahan yang digunakan dalam reaktor nuklir, daur bahan bakar nuklir, pengelolaan limbah radioaktif, produksi radioisotop dan senyawa bertanda, aplikasi isotop dan radiasi (dalam kedokteran nuklir dan industri) dan dalam rekayasa serta pembuatan perangkat nuklir.

3. Aplikasi teknik nuklir dalam litbang iptek bahan  
Aplikasi teknik nuklir merupakan salah satu kompetensi BATAN yang mempunyai keistimewaan/kekhususan/ keunggulan tersendiri dalam litbang iptek bahan baik bahan-bahan yang tersebut pada butir 1 dan butir 2 di atas maupun bahan baru/bahan maju untuk industri. Aplikasi teknik nuklir dalam litbang iptek bahan antara lain untuk sintesa dan modifikasi untuk mendapatkan bahan yang lebih unggul, serta untuk karakterisasi/ analisis bahan.

Berbagai teknik konvensional (non-nuklir) lainnya juga digunakan sebagai teknik pendukung untuk pengembangan iptek bahan mulai dari sintesa bahan sampai prototip.

Pada uraian selanjutnya dalam makalah ini disampaikan kebijaksanaan arah litbang iptek bahan di BATAN, manajemen program litbang dan kerjasama termasuk peluang dan tantangan serta fasilitas litbang iptek bahan yang tersedia.

## **KEBIJAKSANAAN ARAH LITBANG**

Program kegiatan litbang iptek bahan diarahkan sesuai dengan tugas BATAN yang tercantum dalam Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang "Ketenaganukliran", yaitu melaksanakan tugas pemerintahan di bidang litbang dan pemanfaatan tenaga nuklir sesuai dengan ketentuan per-undang-undangan yang berlaku [1].

Berdasarkan tugas BATAN tersebut, program-program kegiatan litbang iptek bahan secara terintegrasi diarahkan untuk mendukung :

1. Visi dan Misi BATAN
2. Bidang pilar kompetensi BATAN
3. Tujuan utama dan sasaran utama BATAN (Landmark BATAN)
4. Tugas dan fungsi unit kerja

Secara rinci keempat hal tersebut diuraikan di bawah ini.

### **Visi dan Misi BATAN**

Visi dan Misi BATAN sebagaimana telah dirumuskan dalam Rencana Strategik (Renstra) BATAN tahun 2020 adalah sebagai berikut :

- a. Visi BATAN 2020 adalah: " Terwujudnya iptek nuklir berkeselamatan handal sebagai pemicu dan pemacu kesejahteraan"

- b. Misi BATAN adalah :

- 1) Melakukan litbangyasa (litbang dan rekayasa), produksi dan aplikasi isotop dan radiasi
- 2) Melakukan litbangyasa daur bahan bakar nuklir dan limbah radioisotop serta pelayanan pengelolaan limbah radioaktif
- 3) Melakukan litbangyasa dan pemanfaatan reaktor dan fasilitas nuklir lain
- 4) Melakukan litbangyasa dan pemanfaatan instrumentasi nuklir
- 5) Melakukan litbang dan pelayanan keselamatan nuklir dan radiasi
- 6) Melakukan diseminasi informasi dan hasil pengkajian dan litbangyasa
- 7) Membina profesionalisme, budaya keselamatan dan sistem manajemen mutu

## **Bidang Pilar Kompetensi BATAN**

Secara garis besar BATAN mempunyai 6 (enam) bidang kompetensi yaitu : [2]

- 1) Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (ATIR)
- 2) Produksi Isotop dan Senyawa Bertanda (PISB)
- 3) Pengolahan Limbah Radioaktif (PLR)
- 4) Rekayasa dan Pembuatan Perangkat Nuklir (RPPN)
- 5) Daur Bahan Bakar Nuklir (DBBN)
- 6) Reaktor Daya (RD)

## **Tujuan Utama dan Sasaran Utama (Landmark BATAN)[2,3]**

### **a. Tujuan Utama**

Tujuan utama pembangunan iptek nuklir sebagaimana dirumuskan dalam Renstra BATAN 2020 adalah untuk memberikan dukungan nyata pembangunan nasional dalam peran :

- 1) Meningkatkan kontribusi iptek nuklir dalam penguatan ketahanan pangan, kesehatan dan industri
- 2) Menyiapkan kemampuan nasional dalam bidang daur bahan bakar nuklir untuk mendukung program PLTN
- 3) Menyiapkan kemampuan nasional dalam pengelolaan limbah radioaktif yang ditimbulkan dari kegiatan non-PLTN dan PLTN
- 4) Menyiapkan kemampuan partisipasi nasional dalam menyongsong pembangunan PLTN
- 5) Menyiapkan kemampuan kinerja instrumentasi nuklir untuk sistem kendali reaktor, instrumentasi kedokteran dan industri
- 6) Meningkatkan sistem pelayanan keselamatan nuklir, keselamatan dan kesehatan radiasi serta pemantauan radioaktivitas lingkungan
- 7) Meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap pemanfaatan iptek nuklir

- 8) Meningkatkan kualitas SDM dalam profesionalisme, kesadaran berbudaya keselamatan dan apresiasi terhadap sistem mutu.

### b. Sasaran Utama (*Landmark* BATAN)

Sasaran utama pembangunan iptek nuklir terdiri dari sasaran utama jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

### Tugas dan Fungsi Unit Kerja

Kegiatan litbang iptek bahan diarahkan pula sebagai realisasi pelaksanaan tugas dan fungsi unit kerja yang terkait atau yang perlu dukungan dengan kegiatan litbang iptek bahan. Tugas dan fungsi unit kerja dilaksanakan melalui program-program tematik yang termasuk dalam kegiatan litbangyasa iptek nuklir di BATAN yaitu [2] :

- 1) Pengembangan teknologi nuklir untuk mendukung industri kecil dan menengah
- 2) Pengembangan iptek produksi radioisotop, radiofarmaka dan bahan baru
- 3) Pengembangan teknologi pemanfaatan bahan galian dan geologi nuklir
- 4) Pengembangan teknologi sistem energi dan daur bahan bakar nuklir
- 5) Pemanfaatan teknologi reaktor riset
- 6) Pengembangan teknologi keselamatan,

- pengamanan bahan dan sistem jaminan mutu nuklir  
7) Pengembangan teknologi limbah nuklir

Kegiatan litbang iptek bahan merupakan bagian utama dari program tematik butir 2, di samping pula sebagai kegiatan pendukung untuk program-program tematik yang lain. Ketujuh program tematik dalam litbangyasa tersebut selain sebagai realisasi pelaksanaan tugas dan fungsi unit kerja yang terkait dengan kegiatan utama litbangyasa juga sekaligus sebagai realisasi pelaksanaan kegiatan untuk mencapai tujuan dan sasaran utama (*Landmark* BATAN) serta sebagai realisasi pelaksanaan bidang pilar kompetensi BATAN menuju Visi dan Misi BATAN. Kegiatan litbang iptek bahan sebagai bagian kegiatan utama dan sebagai kegiatan pendukung dilaksanakan secara matriks lintas program dan lintas unit kerja di BATAN secara terintegrasi dan terpadu.

Untuk mencapai tujuan dan sasaran utama selain ketujuh program tematik dalam litbangyasa tersebut di atas, didukung pula oleh dua program tematik dalam desiminasi hasil litbangyasa dan empat program tematik dalam sistem manajemen mutu[2].

### PERAN, PELUANG DAN TANTANGAN LITBANG IPTEK BAHAN

Sejalan dengan Undang-undang No. 10 tahun 1997 tentang "Ketenaga Nukliran" dan Undang-undang

Tabel 1. Program Landmark BATAN [2,3]

No.	FOKUS PROGRAM	Jangka Pendek, Tahun pencapaian	Jangka Menengah/ Panjang, Tahun Pencapaian
1	Pangan (Pertanian/ Peternakan)	10% jumlah varietas unggul tanaman pangan dan jenis suplemen pakan ternak, serta ketersediaannya secara berkelanjutan. 2004	Pusat Acuan dan Rujukan Nasional dalam Aplikasi Teknologi Isotop Radiasi di Bidang Pertanian dan Peternakan, 2008
2	Kelautan, Kebumihan	Menjadi pusat acuan regional dalam pemanfaatan teknik nuklir untuk eksplorasi dan eksploitasi panas bumi, 2004	Fasilitas Nasional Pelayanan Pengelolaan Limbah Radio-aktif (non-reaktor), 2007
3	Bioteknologi/ Kesehatan	Perangkat teknologi nuklir untuk penanggulangan penyakit kanker dan infeksi bakteri 2005	Pusat Acuan dan Rujukan Pelayanan Kesehatan berbasis Teknologi Nuklir, 2010
4	Informatika, Mikroelektronika	Teknologi Informatika yang handal dalam bidang: simulasi/modeling, perpustakaan digital dan manajemen SDM, pengetahuan, rancang-bangun, serta diseminasi iptek nuklir, 2004	
5	Energi	Masuknya opsi nuklir dalam perencanaan sistem energi nasional jangka panjang, 2004	Berfungsinya Nuclear Science and Technology Base Bidang Energi, 2010 Reaktor daya nuklir pertama dioperasikan di Indonesia (Sistem Jaringan Jawa-Bali), 2016
6	Manufaktur	Komisioning mesin berkas elektron untuk industri, 2003	Pusat Acuan Rancang-bangun dan perawatan perangkat nuklir di bidang Kesehatan, Keselamatan nuklir, dan Industri, 2008

No. 18 Tahun 2002 tentang “Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi”, BATAN mempunyai berbagai peluang dan tantangan untuk memanfaatkan kompetensi sumber daya, kemampuan serta pengalaman yang dimiliki dalam melaksanakan litbang iptek bahan untuk mendukung tugas dan fungsi, visi dan misi, tujuan dan sasaran utama serta program BATAN dalam litbang dan pemanfaatan tenaga nuklir untuk maksud damai dan kesejahteraan rakyat.

Sesuai dengan bidang pilar kompetensi BATAN, maka peluang dan tantangan serta ruang lingkup program litbang iptek bahan dapat diuraikan kedalam enam bidang pilar adalah sebagai berikut.

### Bidang Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (ATIR)

Peluang dan tantangan litbang iptek bahan dalam bidang ATIR antara lain adalah aplikasi radiasi nuklir (neutron, alfa, beta, gamma, ion bermuatan) untuk sintesa dan modifikasi bahan, aplikasi radiasi neutron dengan teknik hamburan neutron untuk karakterisasi bahan-bahan industri dan bahan maju, aplikasi radiasi neutron dengan teknik analisis aktivasi neutron (AAN) untuk analisis bahan polutan udara dan bahan alam lain.

#### a. Aplikasi Radiasi Nuklir untuk Sintesis dan Modifikasi Bahan

Salah satu manfaat yang dapat diambil dari aplikasi teknik nuklir ini adalah pemanfaatan radiasi gamma untuk “mengelas” molekul, khususnya molekul polimer<sup>(4)</sup>. Molekul polimer satu dengan yang lainnya disambung dengan memberikan titik-titik aktif pada bagian-bagian molekul tersebut menggunakan radiasi nuklir. Sebagai hasilnya, molekul satu dengan yang lainnya saling berikatan (*cross linked*) dan membentuk struktur baru berbentuk molekul berbentuk jejaring, sehingga melahirkan bahan baru dengan sifat yang lebih unggul. Sebagai contoh molekul polimer *poly-caprolactone* (PCL) yang semula mempunyai titik leleh 55°C berubah menjadi 120°C setelah dilakukan penyinaran radiasi gamma. Contoh lain adalah pada pembuatan karet dari bahan lateks dengan proses penyinaran menggunakan radiasi gamma sehingga dihasilkan karet berkualitas tinggi dengan kadar kemurnian mendekati 100%. Proses ini lebih unggul dibanding proses konvensional yaitu proses vulkanisasi dengan zat aditif tertentu. Selain itu, peluang dan tantangan aplikasi nuklir untuk sintesa dan modifikasi bahan saat ini adalah :

- ~ Pengembangan teknologi pembuatan bahan polimer ramah lingkungan dengan radiasi
- ~ Pengembangan teknologi produksi biomaterial dengan radiasi

~ Modifikasi mutu batu mutiara (topaz) dengan radiasi neutron untuk mendapatkan warna topaz yang lebih bagus. Penelitian ini perlu dipersiapkan dan dipertimbangkan secara lebih seksama untuk mendapatkan kelayakan aspek teknologi dan keselamatannya.

Aplikasi teknik nuklir untuk modifikasi bahan juga merupakan peluang dan tantangan dalam litbang pelapisan permukaan bahan (*surface treatment*) dengan teknik implantasi ion yaitu radiasi elemen bermuatan menggunakan fasilitas akselerator.

#### b. Aplikasi Teknik Hamburan Neutron untuk Karakterisasi Bahan

Aplikasi teknik hamburan neutron untuk karakterisasi bahan adalah salah satu kompetensi BATAN yang mempunyai keistimewaan tersendiri dalam litbang iptek bahan. Neutron yang dihasilkan dalam reaksi fisi nuklir di dalam teras reaktor merupakan *probe* yang unik dalam penentuan momen spin magnet atom di dalam bahan. Teknik hamburan neutron pada umumnya digunakan untuk penelitian struktur, tingkat atom, termasuk struktur magnetik, ketidakteraturan (*disorder*) dan cacat bahan. Selain itu teknik ini juga digunakan untuk penelitian sistem molekul, gelas (termasuk cairan), polimer, permukaan bahan dan bahan biologi.<sup>(5)</sup> Teknik hamburan neutron merupakan teknik karakterisasi bahan yang selain memiliki keunggulan karena sifat-sifat neutron-nya juga dapat mencakup rentang ukuran yang cukup luas, baik makro maupun mikro apalagi atomik.

Dalam kurun waktu lima tahun terakhir telah dilakukan berbagai kegiatan pemberdayaan fasilitas berkas neutron yang sarasannya adalah diperolehnya peralatan hamburan neutron yang teknologi dan instrumentasinya merupakan hasil karya bangsa sendiri dengan kandungan komponen lokal, sehingga dapat diandalkan untuk penelitian dan pengembangan iptek bahan menggunakan teknik nuklir yang menjadi kompetensi dan tanggung jawab BATAN. Dengan usaha pemberdayaan ini, beberapa peralatan telah selesai dikalibrasi dan siap digunakan untuk litbang iptek bahan, di antaranya adalah Spektrometer Neutron Hamburan Sudut Kecil (SANS) dan Difraktometer Neutron (DN1-M).

Pemanfaatan SANS untuk penentuan struktur dari makromolekul atau *self-assembly* bahan lunak (*soft material*) diharapkan dapat menunjang rekayasa bahan makromolekul untuk aplikasi obat-obatan, peralatan elektronik dan aplikasi lainnya. Bahan yang termasuk kedalam katagori bahan lunak adalah *liquid crystals*, *colloids*, *amphiphilics* atau *surfactants*, polimer (*melt* atau *solution*) termasuk juga biomaterial seperti protein, DNA, *enzyme*, *membrane* dan bahan lainnya. Berbeda dengan *hard materials*, seperti halnya logam dan bahan-bahan anorganik, sifat sifat kimia dan fisika dari

bahan lunak belum terlalu dipelajari dan diketahui, terlebih biomaterial yang memiliki struktur yang sangat kompleks [4,5]. Dengan mempelajari struktur molekul yang dibuat oleh alam, telah mendorong peluang dan tantangan peneliti untuk mulai merancang struktur molekul untuk bahan sintetik seperti biopolimer dan juga mengeksploitasi lebih dalam *nano technology* untuk membuat *devices* melalui mekanisme *self-organization* atau *self-assembly* molekul. Pengontrolan *self-assembly* molekul secara fisik dan kimia merupakan hal yang penting dalam menghasilkan struktur tertentu dengan sifat-sifat yang spesifik untuk diaplikasikan dalam formula obat-obatan, bahan elektronik dan aplikasi lainnya dalam skala 1-1000nm [7,9].

Secara lebih luas peluang dan tantangan aplikasi radiasi neutron dengan teknik hamburan neutron adalah untuk karakterisasi bahan-bahan industri dan bahan maju dalam bentuk logam, komposit, bahan magnet, bahan superionik dan bahan superkonduktor. Untuk itu pemanfaatan peralatan hamburan neutron yang lain seperti SANS, TAS, HRPD dan radiografi neutron diupayakan pemberdayaannya secara bertahap.

Aplikasi teknik difraksi neutron untuk pengukuran distribusi tegangan sisa pada baja lasan merupakan peluang dan tantangan bagi peneliti untuk memberikan sumbangan langsung terhadap rekayasa bahan konstruksi dan komponen mesin dalam industri. Proses pembentukan dan fabrikasi bahan struktur maupun komponen seperti pada reaktor nuklir tidak dapat dipisahkan dari proses pengelasan, yakni dengan melelehkan bagian tertentu bagian bahan untuk menyambungkannya dengan bahan lain. Dalam proses pengelasan terjadi pemanasan dan pendinginan setempat dalam waktu singkat, sehingga menimbulkan tegangan internal yang disebabkan oleh restriksi antara bagian lasan yang memiliki suhu tinggi dan bagian sekitar lasan yang memiliki suhu rendah. Tegangan ini cukup besar sehingga dapat menyebabkan terjadinya deformasi plastis bahan tersebut. Hal ini dapat menyebabkan tegangan sisa di dalam bahan atau komponen. Daerah di sekitar lasan yang masih mendapatkan pengaruh distribusi suhu yang tidak merata dikenal dengan istilah daerah terpengaruh panas (*heat affected zone, HAZ*). Tegangan sisa ini bertindak sebagai beban kerja yang diberikan dari luar, yang keberadaannya dapat mempengaruhi umur pakai bahan [6]. Oleh karena itu diperlukan teknik untuk dapat menguji secara tidak merusak distribusi tegangan sisa yang terjadi di dalam bahan akibat pengelasan.

Metode konvensional pengukuran tegangan sisa adalah dengan difraksi sinar-x. Tetapi daya tembusnya sangat rendah yaitu hanya sekitar 20 mikron pada bahan baja, sehingga hanya dapat melakukan pengukuran tegangan di daerah dekat permukaan cuplikan saja. Sementara itu, pengukuran lain seperti ultrasonik sangat dipengaruhi oleh keberadaan tekstur bahan. Sebaliknya dengan neutron yang memiliki daya

tembus yang tinggi dalam bahan memungkinkan untuk dilakukannya pengukuran dan diperoleh informasi tegangan pada arah kedalaman bahan tanpa merusak yang tidak mungkin diperoleh dengan metode lain [5].

Kerjasama antara KEK Jepang dengan BATAN yang telah berjalan secara resmi sejak naskah kerjasama (*Arrangement on Collaborative Research in Neutron Science and Technology*) ditandatangani oleh kepala KENS-KEK Jepang dan Kepala Puslitbang Iptek Bahan pada tanggal 12 Juni 2003,<sup>[10]</sup> memberi peluang dan tantangan kerjasama litbang dengan topik "*Joint Research and Developmen of The advanced Materials using Neutron from Accelerator*" [11]. Pada tahap pertama telah dilakukan kerjasama litbang bahan superionik gelas dengan menggunakan teknik hamburan neutron dari accelerator dan pengembangan perangkat lunak yang diharapkan dalam waktu mendatang dapat dimanfaatkan baik untuk fasilitas hamburan neutron di KENS-KEK maupun di Puslitbang Iptek Bahan – BATAN untuk litbang iptek bahan secara optimal.

### c. Analisis Aktivasi Neutron (AAN)

Hasil lokakarya FNCA (*Forum of Nuclear Cooperation in Asia*) tahun 2001 di Beijing – China untuk kelompok AAN memfokuskan pada dua kegiatan penting yaitu studi lingkungan dan penggunaan numerik K-Zero menggunakan teknik AAN.<sup>[12]</sup> Studi lingkungan difokuskan pada analisis partikulat udara berdasarkan pertimbangan bahwa setiap negara mempunyai permasalahan yang sama mengenai polusi udara sebagai akibat dari pertumbuhan industri dan kegiatan transportasi. Dua daerah pengambilan cuplikan ditetapkan untuk mengambil cuplikan partikulat masing-masing daerah urban dan daerah rural. Pengambilan cuplikan dilakukan menggunakan *GANT Smoked Filter Unit* yang memungkinkan dilakukan pengumpulan partikel halus (*fine particles, PM<sub>2.5</sub>*) dan partikel kasar (*coarse particles, PM<sub>10</sub>*). Analisis kuantitatif unsur-unsur yang terkandung dalam cuplikan partikulat udara dilakukan dengan teknik AAN menggunakan metode komparatif dan K-Zero (terkait dengan IAEA RAS 02/010, *QA and QC of Nuclear Analytical Techniques*)

Lokakarya tersebut juga menyepakati bahwa metode K-Zero perlu dikembangkan dan dijadikan sebagai metode baku untuk menggantikan metode komparatif. Ketidaktergantungan terhadap standar dan makin akuratnya data-data nuklir yang tersedia, merupakan salah satu pertimbangan penting dalam memilih metode ini. Pihak Jepang mengusulkan adanya data *common software non comercial* yang dapat digunakan oleh negara-negara anggota FNCA dalam mengevaluasi kandungan unsur-unsur dalam partikulat udara. Jepang juga akan mendistribusikan filter selulosa dan beberapa *standard reference materials* untuk keperluan jaminan kualitas (QA)

dan kontrol kualitas (QC)-nya.

Data yang diperoleh pada kegiatan FNCA tersebut akan memberikan kontribusi positif terhadap data polutan pada partikulat udara dan sangat penting bagi para pengambil keputusan dalam mengendalikan pencemaran udara lingkungan dalam usaha meningkatkan kualitas hidup masyarakat luas.

Pada lokakarya FNCA yang diselenggarakan di Serpong, Indonesia tanggal 13-17 Januari 2003, telah disepakati semua negara anggota untuk tetap melanjutkan program tersebut secara konsisten. Selain itu diusulkan kegiatan penelitian baru yang meliputi topik-topik: (1) *Marine Enviromental Pollutan Study*, (2) Penggunaan AAN untuk pertambangan, (3) Pengembangan *prompt gamma activation analysis* (PGAA) dan (4) *analysis sludge (solid waste sample)*.

Beberapa aplikasi AAN yang mendukung Landmark BATAN bidang bioteknologi dan kesehatan (2004-2010) antara lain adalah [13].

- 1) Studi pencemaran polutan lingkungan dengan AAN untuk mendukung program pemantauan kesehatan lingkungan
- 2) Penguasaan teknik deteksi kekurangan unsur gizi dan keracunan cemaran lingkungan dengan AAN

### Bidang Produksi Radioisotop dan Senyawa Bertanda (PISB)

Peluang dan tantangan litbang iptek bahan dalam bidang PISB, antara lain adalah pengembangan bahan pengemban organik untuk radiofarmaka [13]. Salah satu topik yang mendukung Landmark BATAN Bidang Bioteknologi dan Kesehatan (2010) adalah: "Pengembangan bola mikro (*microsphere*) berbasis *biodegradable polymer* untuk bahan Radiofarmaka" [14,15]. *Microsphere* yang mengandung partikel radioaktif pemancar sinar- $\gamma$  sangat berguna untuk terapi tumor hati. Proses terapi dilakukan dengan menyuntikkan *microsphere* tersebut ke dalam pembuluh darah yang menuju jaringan tumor, selanjutnya sinar- $\gamma$  akan menghancurkan jaringan tumor tanpa merusak jaringan normal sekitarnya. Proses terapi tumor hati dengan cara radiasi ini memberikan alternatif daripada operasi yang sering kali tidak mungkin dilakukan [14,16,17]. Pengembangan *microsphere* dibuat dengan cara membuat *microsphere* yang mengandung partikel, kemudian diaktifkan dengan cara diiradiasi dengan neutron sehingga terbentuk radioisotop dari partikel tersebut. Setelah diaktifkan *microsphere* yang ditandai dengan ytrium-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) atau fosfor-32 ( $^{32}\text{P}$ ) akan memancarkan sinar  $\gamma$ , sedang yang ditandai dengan rhenium-188/186 ( $^{188/186}\text{Re}$ ) atau Holmium-166 ( $^{166}\text{Ho}$ ) akan memancarkan sinar  $\beta$  dan sinar  $\gamma$ , dengan demikian selain bersifat *biodegradable*, *microsphere* yang dibuat juga harus tahan radiasi neutron yang digunakan untuk proses pengaktifan dan tahan sinar  $\alpha$  yang dipancarkan oleh radionuklida yang dikandungnya. Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk

mengembangkan *microsphere* dengan teknik *sonochemistry* yang dibuat dari bahan polimer yang bersifat *biodegradable* dan tahan radiasi untuk bahan radiofarmaka.

Selain itu peluang dan tantangan litbang iptek bahan dalam bidang PISB adalah pengembangan bahan-bahan pendukung yang digunakan dalam teknologi produksi isotop dan senyawa bertanda termasuk karakterisasinya dengan teknik hamburan neutron.

### Bidang Pengelolaan Limbah Radioaktif (PLR)

Dalam bidang PLR, litbang iptek bahan mempunyai peluang dan tantangan untuk membantu dalam litbang bahan-bahan utama dan strategis untuk mendukung dalam pengelolaan limbah baik untuk penyimpanan limbah sementara maupun untuk penyimpanan limbah lestari. Litbang bahan-bahan utama yang digunakan untuk pengelolaan limbah radioaktif tersebut adalah suatu peluang dan tantangan yang tidak bisa dihindari bagi BATAN untuk mempersiapkan teknologi pengelolaan limbah radioaktif dari PLTN dan limbah radioaktif non-PLTN yang semakin dituntut untuk menjamin keselamatan dan kesehatan masyarakat dan lingkungan pada generasi sekarang maupun yang akan datang. Untuk itu perlu dilakukan litbang bahan-bahan utama untuk mendukung pengelolaan limbah radioaktif sampai kepada penyimpanan lestari limbah aktivitas rendah dan sedang umur panjang pada formasi geologi dekat permukaan (*Near Surface Disposal*) maupun penyimpanan lestari limbah aktivitas tinggi dan bahan bakar bekas pada formasi geologi tanah dalam (*Deep Surface Disposal*). Litbang bahan utama untuk mendukung dalam pengelolaan limbah radioaktif tersebut antara lain adalah [18,19]:

- 1) Litbang pembuatan gelas limbah (melalui proses vitrifikasi) yang mampu mengungkung limbah aktivitas tinggi, tahan radiasi dan suhu (tidak pecah akibat radiasi dan panas dari *gamma heating*) serta umur panjang.
- 2) Litbang pembuatan bahan wadah (*canister*) untuk limbah aktivitas tinggi dan bahan bakar bekas.
- 3) Litbang pembuatan bahan *overpack* yang merupakan salah satu bahan penghalang rekayasa yang berfungsi melindungi limbah olahan (limbah yang siap disimpan /didisposal) dari kontak langsung dengan air tanah. *overpack* diperlukan pada sistim penyimpanan lestari limbah aktivitas tinggi atau bahan bakar bekas. Limbah olahan yang telah dilengkapi *overpack* akan disimpan pada tempat penyimpanan lestari sistem formasi geologi dalam dengan kedalaman 500-1000 meter di bawah permukaan tanah.
- 4) Litbang pembuatan limbah olahan jenis *synrock* (melalui proses *synrock*) sebagai alternatif pengolahan (imobilisasi) limbah aktivitas rendah

dan sedang umur panjang di samping proses sementasi yang sudah mapan. *synrock* adalah suatu bahan keramik dengan kepadatan tinggi yang dibuat melalui proses pengepresan pada suhu tinggi terhadap campuran limbah dengan mineral pembentuk *rock* ( *a Titanate- Based Variant of Synrock*) yang mengandung mineral-mineral yang sangat stabil sebagaimana terkandung dalam *Rock* (batu karang) yang mengikat unsur-unsur radioaktif alam selama jutaan tahun [20].

Peran litbang iptek bahan dalam bidang PLR ini adalah mendukung litbang bahan-bahan utama dalam PLR baik dalam sintesa maupun karakterisasi bahan dengan iptek nuklir.

### **Bidang Rekayasa dan Pembuatan Perangkat Nuklir (RPPN)**

Peluang dan tantangan dalam bidang RPPN adalah mengembangkan peralatan dan rancang bangun serta perawatan peralatan-peralatan fasilitas nuklir agar dicapai keandalan operasinya untuk mendukung litbang iptek bahan. Peralatan dan fasilitas nuklir tersebut antara lain adalah peralatan spektrometer hamburan neutron, peralatan AAN, fasilitas mesin berkas elektron, fasilitas akselerator, fasilitas sumber radiasi gamma dan reaktor riset yang ada di BATAN, serta peralatan-peralatan analisis pendukung seperti AAS, SEM, TEM, XRD, TGA/MSB, DTA/STA, ICP-MS dll.

Selain itu, peluang dan tantangan dalam bidang RPPN adalah penelitian dan pengembangan peralatan/perangkat nuklir yang mendukung kegiatan bidang bioteknologi dan kesehatan termasuk adalah keselamatan nuklir dan radiasi. Dalam bidang ini, litbang iptek bahan mempunyai peran untuk mendukung litbang bahan untuk perisai radiasi sinar gamma dan neutron, litbang bahan *chip* untuk alat ukur dosis radiasi (TLD) dan sebagainya.

### **Bidang Daur Bahan Bakar Nuklir (DBBN)**

Peluang dan tantangan litbang iptek bahan di bidang DBBN adalah untuk mendukung penguasaan dan litbang bahan bakar nuklir dan elemen bakar nuklir serta bahan-bahan yang terkait dengan DBBN baik dari segi sintesa bahan maupun karakterisasinya.

Sesuai dengan rencana program litbangyasa DBBN 2003-2005,<sup>[21]</sup> salah satu tujuan strategik program DBBN adalah mendukung kemandirian nasional dalam fabrikasi elemen bakar nuklir untuk reaktor riset dan reaktor daya (PLTN) dengan sasaran strategik diperolehnya kemampuan penguasaan teknologi elemen bakar yang berbasis bahan bakar U-Si densitas tinggi dan U-Mo (untuk reaktor riset) serta bahan-bahan UO<sub>2</sub>-alam, UO<sub>2</sub> pengayaan <5% dan uranium kernel (untuk reaktor daya). Program DBBN ini dilaksanakan atas kerjasama lintas pusat yaitu P2TBDU, P3TKN, P3TM, P3IB, P2BGN, P2SRM,

P2TKN, P2PN, P2PIR, PT Batan Teknologi dan P2TRR.

Peluang dan tantangan serta peran litbang iptek bahan untuk mendukung program ini adalah sangat besar antara lain termasuk pengembangan bahan struktur dan karakterisasi bahan setiap tahapan proses untuk penguasaan bahan bakar yang berbasis seperti tersebut di atas.

### **Bidang Reaktor Daya (RD)**

Peluang dan tantangan litbang di bidang RD adalah untuk mendukung berfungsinya *Nuclear Science and Technology Base* bidang material reaktor daya yang meliputi litbang bahan struktur operasi suhu tinggi, rekayasa permukaan paduan logam untuk meningkatkan ketahanan korosi pada suhu tinggi dan bidang kimia air pendingin reaktor [22].

Sebagaimana diketahui bahwa program pembangunan dan pengoperasian PLTN (reaktor daya) perlu persiapan dan didukung pemilihan bahan struktur yang dapat beroperasi pada suhu tinggi di daerah I, II dan III dalam sistem PLTN dengan mempertimbangkan faktor-faktor keamanan, keselamatan, ketahanan terhadap beban termal dan mekanik, korosi serta semua yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi. Bahan-bahan struktur tersebut khususnya antara lain untuk penukar panas, *pressure tube*, *boiler* dan turbin. Terhadap bahan yang dipilih seperti AKI-321, AISI-347, AISI-406 dan AISI-430 perlu dilakukan serangkaian analisis/karakterisasi bahan, uji mekanik dan uji fisik guna mendapatkan data untuk membuat rekomendasi bahan-bahan struktur PLTN yang memenuhi sifat-sifat esensial dalam sistem keselamatan dan keandalan operasinya, baik untuk jenis reaktor air ringan maupun jenis reaktor air berat. Kegiatan litbang ini dilaksanakan P3IB bekerjasama dengan P2TKN.

Korosi suhu tinggi merupakan permasalahan yang dihadapi industri dalam cakupan yang sangat luas mulai dari industri konvensional sampai industri nuklir (PLTN). Terdapat banyak bahan teknik yang sudah dipasarkan secara konvensional dan dianggap mempunyai ketahanan korosi suhu tinggi, namun dalam banyak kasus pemakaian bahan-bahan tersebut terdegradasi secara cepat sehingga berdampak pada keselamatan, kelancaran dan biaya operasi suatu instalasi yang pada gilirannya juga menimbulkan dampak ekonomi yang serius. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan cara mengembangkan bahan baru dengan unjuk kerja yang lebih baik atau melakukan modifikasi terhadap bahan-bahan konvensional yang ada.

Salah satu peluang dan tantangan untuk menjawab permasalahan tersebut adalah pengembangan bahan baru berupa paduan berbasis Fe-Al. Bahan ini dapat menjadi kandidat material untuk aplikasi suhu tinggi karena menunjukkan sifat ketahanan korosi (suhu tinggi di lingkungan korosif) yang unggul juga murah.<sup>[22,23]</sup> Selain itu dilakukan pula modifikasi atau

rekayasa permukaan terhadap paduan-paduan konvensional yang ada seperti *Cor Ten Steel*, *Stainless Steel* dan paduan FeCrAl. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan konstruksi yang sangat potensial digunakan pada industri dengan permasalahan korosi suhu tinggi, baik pada industri nuklir (terutama PLTN) maupun industri non-nuklir.

Di samping litbang bahan struktur reaktor nuklir, kualitas air pendingin primer reaktor akan sangat mempengaruhi integritas sistem reaktor karena pada dasarnya air bersifat agresif terhadap material yang dibasahnya. Tingkat agresifitas air ini tergantung pada konsentrasi dan jenis impuritas yang terdapat dalam air. Selama dalam penggunaan, sebagai pendingin reaktor dan sebagai moderator, air akan mengalami radiolisis. Interaksi antara air pendingin reaktor dengan material struktur reaktor akan mengakibatkan terjadinya reaksi korosi dan reaksi ini akan dipercepat dengan adanya produk radiolisis air. Terbentuknya kerak dan slime serta korosi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas air pendingin. Beberapa parameter kimia air yang perlu dikontrol adalah pH, kesadahan, konduktivitas, kandungan impuritas (padatan terlarut, garam terlarut, unsur-unsur atau ion-ion serta spesi-spesi yang terbentuk karena radiolisis dan aktivasi). Untuk mengurangi dampak negatif yang timbul akibat interaksi air reaktor dengan bahan struktur reaktor, maka kontrol kualitas air reaktor dan perlindungan korosi pada bahan struktur reaktor adalah suatu upaya yang harus dilakukan. Data-data litbang kualitas air pendingin reaktor dalam kaitannya dengan ketahanan korosi bahan struktur reaktor dapat digunakan sebagai masukan dalam mempertimbangkan pengembangan persyaratan dan kontrol kualitas air pendingin primer dalam rangka memperpanjang umur serta meningkatkan keselamatan dan keandalan reaktor nuklir (PLTN) [24].

Dalam bidang energi, selain persiapan

pembangunan dan litbang teknologi PLTN, BATAN juga mempunyai peran dan tantangan aplikasi iptek nuklir dalam litbang energi lainnya seperti eksplorasi dan manajemen sumber panas bumi (geotermal), *biofuel/biodiesel*, penggunaan MBE dalam pengurangan polusi udara dari pembangkit panas dan litbang sel bahan bakar (*fuel cell*) dan bahan bakarnya [25].

Dalam litbang sel bahan bakar, peran litbang iptek bahan di BATAN cukup besar terutama aplikasi iptek nuklir baik untuk sintesis bahan maupun karakterisasinya. Berbagai jenis sel bahan bakar dan temperatur operasinya dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Konsorsium *Fuel Cell* Indonesia (KFCI) memberikan rekomendasi litbang untuk memilih jenis PEMF dan SOFC sebagai alternatif pertama dan kedua. Peluang dan tantangan litbang iptek bahan untuk mendukung pengembangan sel bahan bakar ini adalah :

- ~ litbang pembuatan bahan *solid polymer electrolyte* atau *polymer membrane* menggunakan teknik proses radiasi dengan MBE atau iradiator -  $\gamma$
- ~ litbang elektrode sel bahan bakar berbasis  $NiZrO_2$  dan  $LaSrMnO_3$  dan berbagai paduan logam untuk interkoneksi
- ~ litbang bahan elektrolit untuk *solid oxide fuel cell* (SOFC) menggunakan ZrO yang distabilkan dengan ytrium.

Selain itu litbang bahan konduktor superionik sebagai penyimpan sumber energi padat juga telah dilakukan. Pada penelitian ini akan dikembangkan dua jenis padatan elektrolit yaitu berbasis keramik  $\beta'-Al_2O_3$  dan berbasis gelas fosfat [26].

Aplikasi teknik nuklir juga sangat potensial untuk pengembangan teknologi nano (*nano-technology*) yang mampu merambah ke berbagai aspek seperti pada bidang elektronik, material, biologi, kimia dan lain-lain yang telah membuat teknologi nano tersebut menjadi

Tabel 2. Berbagai Jenis Sel bahan bakar (*fuel cell*) dan Temperatur Operasinya [25]

Nama Jenis Fuel Cell	Temp (°C)	Elektrolit	Bahan Bakar	Efisiensi (%)	Aplikasi	Status
AFC (Alkaline Fuel Cell)	200	KOH	Hydrogen	70	Transportasi	50-100 kW (komersial)
PEMFC/PEFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)	80-90	Polymer (Nafion)	Hydrogen Methane Methanol	50-60	Transportasi Reformer	20 kW (rapat daya tinggi)
PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	200	Asam Fosfat	Hydrogen Methane	45-80	1-100MW (daya) 50-500 kW (thermal)	11 MW 50-500 kW
MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	650	Ca/Li/K-Carbonate	Hydrogen Methane	45-60	1-100MW (daya) 50-500 kW (panas)	100 kW (prototype)
SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)	850-1000	Zirkon Oksida	Hydrogen Methane Methanol	50-60	1-100MW (daya) 50-500 kW (panas)	25 kW (prototype)



Tabel 3. Peran (Peluang dan Tantangan) Litbang Iptek Bahan dalam mendukung Bidang Kompetensi BATAN dan Program Landmark BATAN

BIDANG KOMPETENSI	PERAN/ PELUANG DAN TANTANGAN LITBANG IPTEK BAHAN	FOKUS PROGRAM <sup>1)</sup>
1. Aplikasi Teknologi Isotop dan radiasi (ATIR)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aplikasi Radiasi Nuklir untuk Sintesa dan Modifikasi Bahan :                             <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Pengembangan teknologi produksi biomaterial dengan radiasi</li> <li>b. Pengembangan teknologi pembuatan polimer ramah lingkungan dengan radiasi</li> <li>c. Aplikasi akselerator untuk litbang iptek bahan (surface treatment dengan implantasi ion)</li> <li>d. Aplikasi radiasi neutron untuk modifikasi Topaz (batu permata)</li> <li>e. Litbang material polimer "Insulated Powder Magnet"</li> <li>f. Pembuatan pipa transfaran berbasis polimer</li> </ol> </li> <li>2. Aplikasi Radiasi Neutron dengan Teknik Hamburan Neutron untuk Karakteristisasi Bahan                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penentuan struktur dan fasa material lunak dengan SANS</li> <li>• Penentuan tegangan sisa pada paduan logam (baja) lasan dengan spectrometer neutron</li> <li>• Penerapan teknik hamburan neutron untuk pengembangan bahan maju (magnet, superionik dan superkonduktor)</li> </ul> </li> <li>3. Aplikasi AAN untuk Analisis Lingkungan</li> </ol>	<p>Biotek/ Kesehatan Biotek/ kesehatan</p> <p>Biotek/ kesehatan</p> <p>Energi Manufaktur Manufaktur</p> <p>Biotek/ kesehatan Manufaktur</p> <p>Energi Biotek/Kesehatan</p>
2. Produksi Radioisotop dan Senyawa Bertanda (PISB)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengembangan microsphere Biodegradable Polimer untuk bahan radiofarmaka</li> <li>2. Pengembangan teknologi proses pembuatan senyawa bertanda dan zat bioaktif</li> </ol>	<p>Biotek/ kesehatan Biotek/ kesehatan</p>
3. Pengelolaan Limbah Radioaktif (PLR)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Litbang pembuatan gelas limbah melalui proses Vitrifikasi</li> <li>2. litbang pembuatan wadah (canister) untuk limbah aktivitas tinggi dan bahan bakar bekas</li> <li>3. litbang pembuatan bahan "overpack" untuk penghalang rekayasa dalam penyimpanan limbah lestari</li> <li>4. litbang pembuatan olahan jenis "synrock" untuk imobilisasi limbah aaktivitas rendah umur panjang</li> </ol>	<p>Kelautan , kebumian Kelautan , kebumian</p> <p>Kelautan , kebumian</p> <p>Kelautan , kebumian</p>
4. Rekayasa dan Pembuatan Perangkat Nuklir (RPPN)	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Litbang pembuatan bahan chip untuk dosimeter TI LiF</li> <li>b. Litbang pembuatan bahan perisai radiasi gamma dan neutron</li> <li>c. pengembangan peralatan dan rancang bangun serta perawatan peralatan fasilitas nuklir</li> <li>d. pengembangan sistem kontrol peralatan spektrometer neutron dan peralatan nuklir lainnya</li> </ol>	<p>Biotek/ kesehatan Biotek/ kesehatan Manufaktur</p> <p>Manufaktur</p>
5. Daur Bahan Bakar Nuklir (DBBN)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pembuatan serbuk U-Mo untuk bahan bakar nuklir</li> <li>2. Pembuatan bahan bakar Kernel untuk reaktor temperature tinggi</li> <li>3. Pengembangan bahan struktur elemen bakar berbasis U-Mo, UO<sub>2</sub> alam, UO<sub>2</sub> diperkaya &lt;5% dan Uranium kernel dan karakterisasinya</li> </ol>	<p>Energi Energi Energi</p>
6. Reaktor Daya (RD)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengembangan Bahan Dasar Nuklir bidang Energi                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rekayasa permukaan paduan logam (struktur PLIN) untuk meningkatkan ketahanan korosi pada suhu tinggi</li> <li>• Litbang bahan struktur reaktor operasi suhu tinggi (termasuk eksperimen, pemodelan dan simulasi)</li> <li>• Pengembangan air pendingin reaktor</li> </ul> </li> <li>2. Aplikasi Teknik Nuklir untuk Pengembangan Bahan Dasar untuk Sumber Energi Fuel Cell                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Litbang pembuatan bahan sumber energi fuel cell</li> <li>• Litbang bahan konduktor siperionik sebagai penyimpan sumber energi padat berbasis gelas fosfat dan keramik "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></li> <li>• Litbang pembuatan bahan "solid polymer electrolyte atau polimer membrane" dengan teknik radiasi gamma dan elektron</li> <li>• Litbang elektrode sel bahan bakar berbasis NiZrO<sub>2</sub> dan LaSmMnO<sub>2</sub></li> <li>• Litbang teknologi bahan alloy penyimpanan hydrogen</li> <li>• Litbang bahan elektrolit untuk "solid state fuel cell" (SOFC) menggunakan ZrO yang distabilkan dengan ytrium</li> </ul> </li> </ol>	<p>Energi</p> <p>Energi</p>

teknologi saat ini. Teknologi nano itu sendiri adalah teknologi material/benda dalam skala nanometer yang tersusun dari beberapa atom atau puluhan atom saja. Dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir ini saja telah dikenal beberapa bahan baru seperti *carbon nano tube* (CNT), *fullerence*, *dendrimer* dll. yang memiliki karakteristik unik dan fantastik.

CNT mempunyai bentuk seperti pipa yang kulitnya tersusun atas unsur karbon dan di dalamnya terdapat rongga. CNT ditemukan oleh SUMIO Iijimma dari NEC – Jepang pada tahun 1991 [27]. CNT potensial sekali dipakai untuk divais *field – electron emitter* (untuk pembuatan plat panel display), untuk jarum pada mikroskop modern jenis *scanning probe macroscopy*; untuk elektrode tembus pandang yang dibutuhkan dalam pembuatan sel surya dan dapat digunakan sebagai bahan penyerap dan penyimpan gas hidrogen untuk pembuatan sel bahan bakar [27]. Kementerian Ristek merencanakan litbang teknologi nano dengan prioritas tinggi, dimulai dengan *nano composite polymer* dan bio-sensor serta pengembangan ke arah sel bahan bakar [28].

Selain kegiatan litbang iptek bahan melalui percobaan, kegiatan pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak (program komputasi) adalah suatu peluang dan tantangan serta peran yang potensial dan sangat penting sebagai pendukung litbang iptek bahan. Pemanfaatan *ANSYS-Programme Package for FEM Analysis* merupakan salah satu program bantuan atas kerjasama BATAN dengan pemerintah Jerman (1999-2002) yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mengkaji bahan-bahan struktur reaktor yang bekerja pada suhu tinggi [29].

Dari berbagai peluang dan tantangan litbang iptek bahan seperti telah diuraikan di atas, sebagian telah dan akan diusulkan dalam bentuk program Landmark BATAN dan program tematik pusat di lingkungan Deputi PDT yang secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 3. Dari Tabel 3 tersebut dapat dilihat bahwa litbang iptek bahan mempunyai peran utama dalam mendukung Landmark BATAN bidang energi, bioteknologi dan kesehatan dan manufaktur.

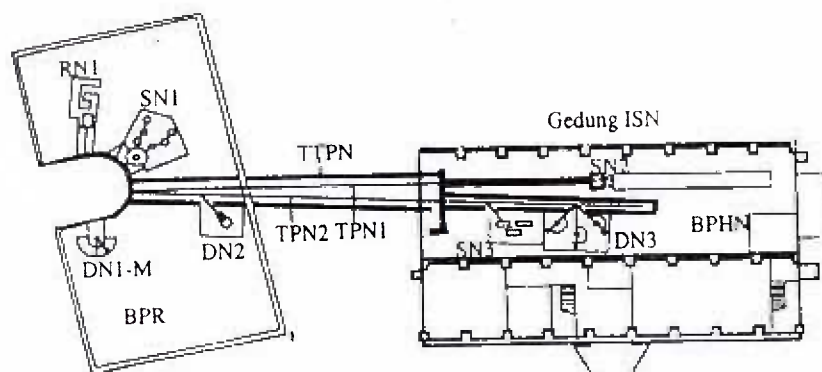
## FASILITAS LITBANG IPTEK BAHAN

Salah satu aspek litbang iptek nuklir di BATAN adalah penggunaan teknik hamburan neutron untuk litbang iptek bahan. Hal ini telah dikembangkan sejak Indonesia memiliki Reaktor Riset pertama di Bandung pada awal tahun 1960-an. Dalam rangka peningkatan perluasan sarana litbang iptek nuklir, pada awal tahun 1980-an, BATAN mulai membangun berbagai jenis fasilitas dan instalasi nuklir di Kawasan Puspipstek Serpong. Dari berbagai fasilitas dan instalasi nuklir yang dibangun itu, Reaktor Serbaguna GA Siwabessy (RSG-GAS) merupakan yang paling monumental dan menjadi pusat kegiatan ketenaga-nukliran BATAN di Serpong.

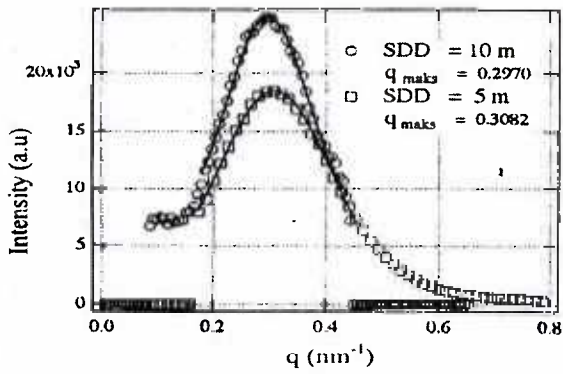
Reaktor Serbaguna GA Siwabessy diresmikan penggunaannya oleh Bapak Presiden RI pada bulan Agustus 1987 dengan daya maksimum 30MW termal dan fluks  $2,5 \cdot 10^{14} \text{n/cm}^2$  pada posisi pusat terasnya. Selain untuk memproduksi radioisotop dan kegiatan litbang untuk reaktor sendiri, RSG-GAS juga disiapkan untuk dimanfaatkan bagi litbang iptek bahan yang menggunakan neutron tabung berkas. Untuk itu telah dibangun Instalasi Spektrometri Neutron (ISN) yang

Tabel 4. Instalasi peralatan neutron dan lokasinya [30]

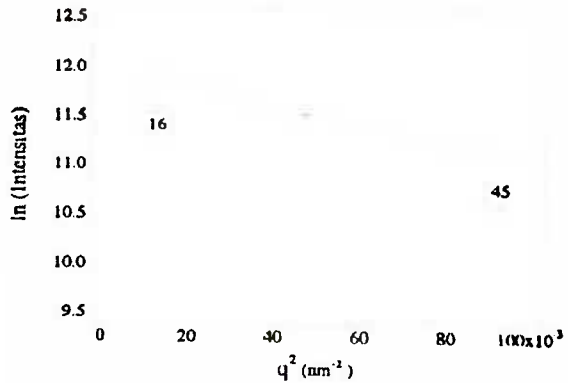
T Berkas	Nama Peralatan	Lokasi
S2	Fasilitas Radiografi Neutron (RN1)	Balai Percobaan Reaktor (Gedung RSG-GAS)
S4	Spektrometer Neutron Tiga Sumbu (SN1)	
S5	Difraktometer Neutron Empat Lingkaran/ Difraktometer Tekstur (DN2)	
S6	Difraktometer Neutron untuk Tegangan Sisa (DN1-M)	Balai Percobaan Hamburan Neutron
S5	Difraktometer Neutron Serbuk Resolusi Tinggi (DN3)	
S5	Spektrometer Neutron Sudut Kecil (SN2)	
S5	Spektrometer Neutron Sudut Kecil Resolusi Tinggi (SN3)	



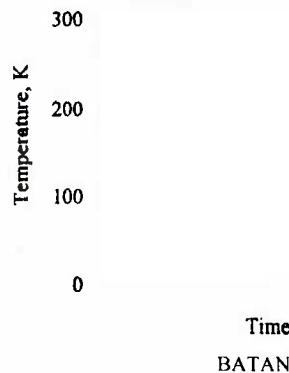
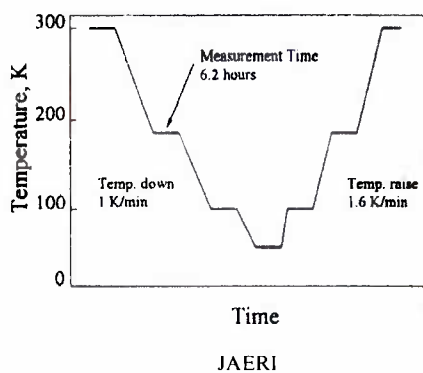
Gambar 1. Tata letak peralatan hamburan neutron[30]



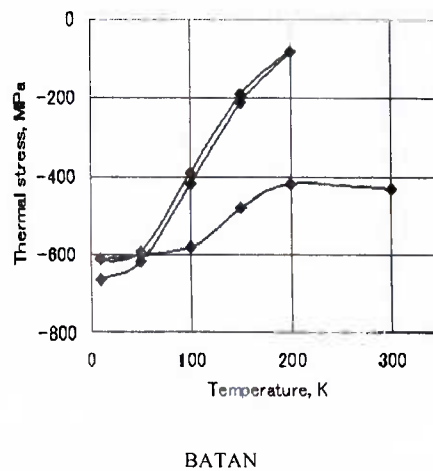
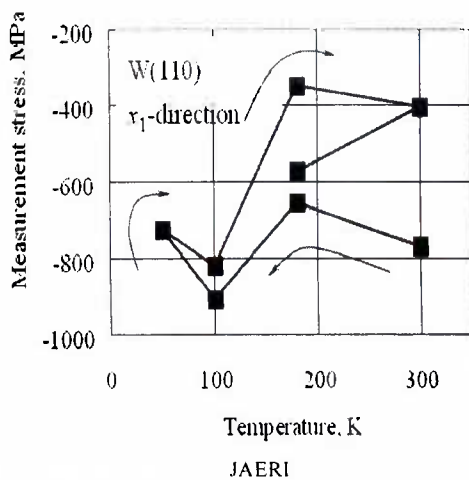
Gambar 2. Kurva Intensitas Cuplikan Porasil dari peralatan SANS BATAN pada posisi detektor 10 m dan 5 m[30]



Gambar 3. Guiner plot dari PSH/PSD[30]



Gambar 4. Program suhu pada pengukuran "in-situ stress [31,32]



Gambar 5. Perbandingan hasil pengukuran W-Fiber dari peralatan DN1-M BATAN dan JAERI [31,32]

dilengkapi dengan berbagai peralatan hamburan neutron beserta fasilitas pendukungnya yang diresmikan pengoperasiannya pada bulan Agustus 1992. Fasilitas ISN yang berada di bawah pengelolaan Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) tersebut dilengkapi dengan 7 (tujuh) peralatan yaitu 3 (tiga) buah difraktometer neutron (PD,FCD/TD, HRPD), 3 (tiga) buah spektrometer

neutron (TAS, SANS dan HRSANS) dan sebuah fasilitas radiografi Neutron. Gambar 1 memperlihatkan instalasi dan tata letak peralatan hamburan neutron di dalam Balai Percobaan Reaktor (BPR) dan Balai Percobaan Hamburan Neutron (BPHN). Tabel 4 menyajikan data dan lokasi masing-masing peralatan.

Ruang lingkup litbang iptek bahan diharapkan

Tabel 5. Fasilitas dan Instalasi Nuklir Utama untuk Litbang Iptek Bahan di BATAN

No.	Fasilitas/ Instalasi Nuklir	Pusat dan Lokasi
1	Reaktor Serbaguna GA Siwabessy, daya maksimum 30 MWt	P2TRR, Serpong
2	Instalasi Spektrometri Neutron yang dilengkapi . 3 buah Difraktometer Neutron (PD, FCD/TD, HRPD), 3 buah Spektrometer Neutron (TAS, SANS, HRSANS) dan Fasilitas Radiografi Neutron	P3IB, Serpong
3	Laboratorium Aktivasi Analisis Neutron (AAN)	P3IB, Serpong
4	Reaktor Kartini, 100 kWt dan Laboratorium AAN	P3TM, Yogyakarta
5	Akaselator Berkas Elektron untuk Implantasi Ion 350 keV	P3TM, Yogyakarta
6	Reaktor TRIGRA MARK II, 2 MWt	P3TKN, Bandung
7	Iradiator <sup>60</sup> Co (3 unit : 200kCi, 80 kCi; 10kCi)	P3TIR, Pasar Jum'at
8	Mesin Berkas Elektron (MBE) 300keV dan 2MeV	P3TIR, Pasar Jum'at

dapat mencakup kristalografi dan struktur magnetik, eksitasi struktur atomik, inhomogenitas dalam paduan logam seperti segregasi, agregasi dan presipitasi, makromolekul dan polimer. selain itu dikembangkan pula teknik uji tak merusak (analisis tegangan sisa dan cacat bahan) [30]. Kemampuan peralatan berdasarkan ukuran objek adalah Difraktometer neutron  $\sim 1\text{\AA}-40\text{\AA}$ , Spektrometer neutron sudut kecil  $10\text{\AA}-10.000\text{\AA}$  dan Radiografi Neutron  $\mu\text{m}-\text{mm}$  [30]. Beberapa contoh kemampuan peralatan di ISN dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 2 dan Gambar 3 untuk SANS dan Gambar 4 dan Gambar 5 untuk Difraktometer Neutron (DN-1M) yang dapat dibandingkan dengan peralatan yang sama di JAERI.

Selain di Serpong, fasilitas dan instalasi nuklir utama lainnya juga tersedia di P3TM Yogyakarta, P3TKN Bandung dan di P3TIR Pasar Jum'at. Fasilitas dan instalasi nuklir utama untuk litbang iptek bahan tersebut secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.

Mengingat sangat luasnya ruang lingkup litbang iptek bahan, maka fasilitas dan instalasi nuklir tersebut di atas di lengkapi pula dengan peralatan-peralatan pendukung seperti XRD, SEM, TEM, ICP-MS, MSB/TGA dll yang ada di P3IB maupun di pusat-pusat lain di bawah Deputi PDT seperti AAX, XRF, Spektrograph Emisi dll yang saling melengkapi.

Pemberdayaan fasilitas nuklir khususnya fasilitas hamburan neutron di Serpong telah memasuki tahun ke lima pada tahun 2004 ini, dan telah diperoleh peralatan difraktometer neutron (FCD/TD) dan HRPD berfungsi kembali dengan sistem kendali alternatif buatan sendiri (menggunakan komponen lokal). Pada tahun 2004 pemberdayaan dilakukan untuk Spektrometer Neutron Tiga Sumbu (TAS) dengan sistem kendali buatan sendiri. Pemberdayaan ini terus dilakukan secara bertahap untuk mencapai kehandalan dan kemandirian operasi termasuk kemandirian dalam perawatan dan pengembangannya.

## KESIMPULAN

Kebijaksanaan litbang iptek bahan di BATAN diarahkan berdasarkan pada Visi dan Misi dan bidang kompetensi BATAN serta tugas dan fungsi pusat (unit kerja) untuk mendukung tercapainya tujuan dan sasaran utama (*Landmark*) BATAN. Ada tiga ruang lingkup litbang iptek bahan di BATAN yaitu : litbang bahan nuklir dan bahan bakar nuklir, bahan yang berfungsi di dalam teknologi nuklir, dan aplikasi teknik nuklir dalam bidang iptek bahan baik untuk sintesa maupun karakterisasi bahan. Berdasarkan bidang kompetensi BATAN litbang iptek bahan memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung tercapainya sasaran utama (*Landmark*) BATAN khususnya pada fokus program bidang energi, bioteknologi/kesehatan dan manufaktur. Fasilitas nuklir utama untuk litbang iptek bahan perlu terus dikembangkan untuk mencapai keandalan dan kemandirian operasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Undang-undang No. 10 tahun 1997 Tentang Ketenaga-nukliran
- [2]. Rencana Strategik BATAN 2020, Jakarta, (2003)
- [3]. Profil Badan Tenaga Nuklir Nasional, PPINK, (2003)
- [4]. ROHADI AWALUDIN, Mengelas Molekul Menggunakan Radiasi Nuklir, *Kompas*, Rabu, 21 April 2004 Hal. 42 Kolom 1-5
- [5]. SUTIARSO, Pendayagunaan Berkas Neutron Reaktor G.A. Siwabessy untuk Penelitian Bahan, Usulan Program Kegiatan Tahun Anggaran 2005, P3IB-BATAN
- [6]. HAMLEY, I.W, *Introduction to Soft Mater*, Jhon Wiley & Sons, (2003)
- [7]. SHULTZ, L., ZIMMERMANN, S., *Pharmaceutical News*, 6 (3) (1999)

- [8]. ARBE, A., et. Al, *Soft Condensed Matter*
- [9]. OUELETTE, J., *Exploiting Molecular Self-Assembly, The Industrial Physicist, American Institute of Physics*, (2003)
- [10]. *Arrangement of Collaborative in Neutron Science and Technology between P#IB-BATAN, Indonesia and KENS-KEK Japan*, (2003)
- [11]. EVVY KARTINI, *MasterPlan for The Joint Rresearch and Development of The Advance Materials by Using Neutron from Accelerator*, (2003)
- [12]. SUTISNA, Laporan AAN untuk kegiatan FNCA Tahun 2002, (2003)
- [13]. Landmark BATAN Bidang Bioteknologi dan Kesehatan 2004-2020, *Pusat Acuan dan Kepahaman Kesehatan Masyarakat Berbasis Teknologi Nuklir*
- [14]. ALOMA KARO-KARO, Pengembangan Microsphere berbasis Biodegradable Polymer untuk Bahan Radiofarmaka, *Pengembangan Bahan-bahan Industri Kecil dan Menengah, Proposal Usulan Kegiatan Tahun Anggaran 2002*, P3IB-BATAN
- [15]. SUDARYANTO, Pembuatan Mutu Karakterisasi Microsphere Berbasis Polimer Biodegradable untuk Bahan Radiofarmaka, *RUTX* (2003)
- [16]. RICHARD BRADLEY, *Radiation Technology Handbook*, Marcel Dekker Inc., New York, (1984)
- [17]. MASCIA L., *Thermoplastics, Materials Engineering*, Elsevier Applied, London, (1989)
- [18]. SUSUMU MURAOKA, *Radwaste Management Program in Japan - W2 in Proc 5th International Seminar on Management of Radwaste and Spent Fuel*, Tokyo Japan, (1998)
- [19]. AISYAH dkk., Estimasi Korosi pada Overpack, *Buletin Limbah*, P2PLR-BATAN, 3 (2) (1998) 24-26
- [20]. LUBI DIMITROVSKI and JOHN HARRIES, *Radioactive Waste Management in Australia, The FNCA Workshop on RWM*, Sydney - Australia, (2000)
- [21]. Rencana Program Litbangyasa Daur Bahan Bakar Nuklir, 2003-2005, BATAN, (2003)
- [22]. MOHAMMAD DANI, Pengembangan Mutu Bahan-bahan Dasar untuk Industri, Usulan Kegiatan Orogram TA 2005, P3IB-BATAN
- [23]. SYAHRIL, dkk., *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 4 (2) (2003) 11-15
- [24]. SUMIJANTO, Kontrol Kualitas Air dan Korosi Material Sistem Pendingin Primer Reaktor Nuklir, SIGMA EPSILON, *Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir*, 8 (1) (2004)
- [25]. SOEDYARTONO SOENTONO, Litbang Fuel Cell di BATAN, Seminar / Diskusi Interaktif Fuel Cell di KRT, Jakarta, (2003)
- [26]. RIDWAN, Penerapan Iptek Nuklir pada Pengembangan Iptek bahan Maju, Usulan Program Kegiatan Tahun 2005, P3IB-BATAN
- [27]. RATNO NURYADI, Carbon Nano Tube dan Teknologi Nano, *Sinar Harapan*, Hal. 12, Kol. 1-7, 28 Juni 2004
- [28]. SYAHRIL, Workshop Rencana Litbangyasa Teknologi Nano, Informasi (E-mail), (2004)
- [29]. GUNANDJAR et. Al., *Report for Indonesia-German Bilateral Cooperation (BATAN-GFE RWTH Aachen Research Center Jue'ich)*, Project IDN 99/004 (June 1999-June 2002), Jakarta, Sept. 2, 2003
- [30]. ABARRUL IKRAM, Hamburan Neutron di BATAN-Serpong, Current Status, *Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X ke-5*, Serpong, (2003)
- [31]. NISHIDA M. And M REFAI MUSLICH, *Final report of Joint Research, Internal Stress Measurement of Fiber-reinforced Composite Materials by Neutron Diffraction with In-Situ Low Temperature Stress Measurement System, Cobe City College of Technology and P3IB-BATAN, March 2004*
- [32]. NISHIDA M, REFAI MUSLICH M, IKEUCHI Y, MINAKAWA N., HANABUSA T., " *Internal Stress Measurement of Fiber Reinforced Composite Materials by Neutron Diffraction with In-situ Low Temperature Stress Mesurement System*", *subbitted to The Seventh International Conference on Residual Stress (ICRS-7) in Xian, China, 14-17 Juny 2004*