

## KAJIAN APLIKASI AKSELERATOR ION ENERGI RENDAH UNTUK LINGKUNGAN

Djoko S. Pudjorahardjo

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta

### ABSTRAK

**KAJIAN APLIKASI AKSELERATOR ION ENERGI RENDAH UNTUK LINGKUNGAN.** Telah dilakukan kajian aplikasi akselerator ion energi rendah untuk lingkungan. Hal ini berkaitan dengan program jangka panjang BATAN yaitu pembangunan fasilitas laboratorium berbasis akselerator di PTAPB-BATAN Yogyakarta, yang rencana pemanfaatannya juga mencakup bidang lingkungan. Pemanfaatan akselerator ion energi rendah di bidang lingkungan terutama adalah untuk pemantauan dan pengendalian pencemaran lingkungan. Dalam hal ini berkas ion dari akselerator ion digunakan untuk analisis cuplikan lingkungan untuk mengetahui jenis dan kadar unsur-unsur pencemar lingkungan. Diantara teknik analisis cuplikan lingkungan menggunakan berkas ion yang banyak digunakan adalah teknik PIXE (Proton Induced X-ray Emission). Proton untuk teknik PIXE biasanya mempunyai energi 1 sampai 3 MeV yang dihasilkan oleh akselerator ion jenis elektrostatik. Selain teknik PIXE, analisis cuplikan lingkungan juga dapat dilakukan dengan teknik AANC (Analisis Aktivasi Neutron Cepat), yaitu analisis menggunakan neutron cepat 14 MeV yang dihasilkan oleh suatu generator neutron. Realisasi dari rencana pemanfaatan laboratorium akselerator di bidang lingkungan memerlukan pengadaan akselerator ion jenis elektrostatik sebagai peralatan utama dan peralatan analisis teknik PIXE beserta fasilitas pendukungnya.

### ABSTRACT

**STUDY ON THE APPLICATION OF LOW ENERGY ION ACCELERATOR FOR ENVIRONMENT CARE.** The study on the application of low energy ion accelerator for environment care has been carried out. The study is related to the long-term planning program of BATAN, i.e. the establishment of accelerator based laboratory facility at PTAPB-BATAN Yogyakarta. The utilization planning of the facility includes the application in environment for monitoring and controlling the environment pollution. In this case the ion beam from ion accelerator is used for analysis of environment samples, by which the elements and its content in environment samples can be determined. Among the analytical techniques for environment samples using ion beam, the most applicable one is PIXE (Proton Induced X-ray Emission) technique. Proton used for PIXE usually has energy of 1 MeV up to 3 MeV, which can be produced by an electrostatic ion accelerator. Environment samples can be analysed also using FNAAC (Fast Neutron Activation Analysis) technique, which uses fast neutron (14 MeV) produced by a neutron generator. The implementation of accelerator facility utilization planning for environment care needs the procurement of electrostatic ion accelerator as a main tool as well as the equipments of PIXE technique including its supporting facilities.

### PENDAHULUAN

Pembangunan fasilitas laboratorium berbasis teknologi akselerator di PTAPB-BATAN Yogyakarta merupakan rencana program jangka panjang BATAN. Secara umum tujuan pembangunan fasilitas laboratorium tersebut adalah untuk peningkatan litbang pendayagunaan akselerator untuk mendukung peran serta BATAN dalam rangka membantu menyelesaikan permasalahan pembangunan nasional. Melalui teknologi akselerator diharapkan PTAPB-BATAN dapat berperan serta dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat dan kinerja industri nasional. Disamping itu laboratorium akselerator juga dapat dimanfaatkan untuk pendidikan

dan pelatihan dalam rangka pembinaan dan peningkatan kemampuan SDM untuk mendapatkan personil yang terampil dan berpengetahuan<sup>[1]</sup>.

Salah satu pemanfaatan dari fasilitas laboratorium akselerator yang akan dibangun adalah di bidang lingkungan untuk pemantauan (*monitoring*) lingkungan dalam upaya pengendalian pencemaran lingkungan hidup. Akhir-akhir ini masalah pencemaran lingkungan menjadi perhatian yang serius, terutama di lingkungan kota-kota besar. Dampak dari pembangunan di bidang industri adalah pertumbuhan kawasan industri yang demikian pesat di daerah pinggiran kota-kota besar dan telah memberikan banyak peluang lapangan kerja dan

pemasukan devisa negara. Tetapi pengembangan kawasan industri harus berwawasan lingkungan, yaitu harus memperhatikan dampak yang ditimbulkan oleh industri terhadap lingkungan melalui AMDAL. Hal yang sering menjadi masalah di kemudian hari adalah pencemaran lingkungan akibat limbah industri berupa bahan-bahan beracun yang dapat merusak keselamatan lingkungan dan menurunkan kualitas kesehatan masyarakat sekitarnya. Oleh karena itu sedini mungkin perlu dilakukan pemantauan kualitas lingkungan sehingga dapat ditekan atau dikurangi terjadinya pencemaran lingkungan oleh limbah industri.

Penguasaan teknologi akselerator dan pemanfaatannya dapat memberikan peran yang sangat berarti bagi penanggulangan masalah lingkungan hidup. Akselerator ion dapat digunakan untuk pemantauan lingkungan hidup dalam upaya meningkatkan pengendalian pencemaran lingkungan hidup. Saat ini berkas ion yang dihasilkan oleh suatu akselerator telah banyak dimanfaatkan dalam teknik analisis untuk menentukan komposisi dan jumlah kandungan unsur dari suatu cuplikan, termasuk unsur-unsur dalam cuplikan lingkungan. Teknik analisis menggunakan berkas ion dari akselerator dikenal dengan teknik **analisis berkas ion (IBA = Ion Beam Analysis)** yang jenisnya bermacam-macam tergantung pada jenis ion yang digunakan dan fenomena fisis yang terjadi ketika berkas ion berinteraksi dengan atom-atom cuplikan. Diantara teknik analisis berkas ion tersebut antara lain adalah *Particle Induced X-ray Emission (PIXE)*, *Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS)*, *Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)*, *Nuclear Reaction Analysis (NRA)*, *Charged Particle Activation Analysis (CPAA)*, *Accelerator Mass Spectrometry (AMS)*, dan lain-lain<sup>[2]</sup>.

Dalam rangka mendukung rencana pembangunan fasilitas laboratorium akselerator di PTAPB-BATAN Yogyakarta yang salah satu pemanfaatannya di bidang lingkungan untuk pemantauan lingkungan hidup, maka telah dilakukan kajian teknis aplikasi akselerator ion energi rendah untuk bidang lingkungan. Kajian merupakan salah satu kegiatan dalam Subkegiatan "Kajian Tekno-ekonomi Pembangunan Laboratorium Berbasis Akselerator" yang tercantum dalam DIPA P3TM-BATAN Yogyakarta tahun anggaran 2005.

## OBJEK KAJIAN

Beberapa hal yang perlu dikaji dalam kajian aplikasi akselerator ion energi rendah untuk lingkungan adalah:

1. Sumber dan jenis pencemaran lingkungan:  
Objek ini perlu dikaji untuk mengenal apa saja yang dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan dan jenis pencemaran lingkungan.
2. Kemampuan teknologi akselerator ion di bidang lingkungan:  
Objek ini perlu dikaji untuk mengenal kemampuan akselerator ion untuk penanganan masalah pencemaran lingkungan melalui analisis unsur-unsur polutan yang terkandung dalam cuplikan lingkungan menggunakan berkas ion.
3. Akselerator ion yang diperlukan:  
Objek ini perlu dikaji untuk mengetahui jenis akselerator ion yang diperlukan untuk aplikasi di bidang lingkungan, khususnya berkaitan dengan teknik analisis berkas ion.
4. Status akselerator ion yang telah ada di PTAPB:  
Objek ini perlu dikaji untuk mengetahui kemampuan akselerator ion di PTAPB saat ini dan peluangnya untuk aplikasi di bidang lingkungan.

## HASIL KAJIAN DAN PEMBAHASAN

### *Sumber dan Jenis Pencemaran Lingkungan*<sup>[3]</sup>

Pencemaran lingkungan memiliki hubungan yang erat dengan kegiatan manusia. Manusia, sebagaimana makhluk lainnya, memiliki keterkaitan dan ketergantungan terhadap alam dan lingkungannya. Oleh karena itu seharusnya manusia menyadari bahwa alam dan lingkungan tidak dapat dieksploitasi secara semena-mena. Namun pada akhir-akhir ini justru telah terjadi peningkatan kerusakan lingkungan secara keseluruhan di permukaan bumi ini sebagai hasil dari kegiatan manusia. Hal ini diperparah lagi oleh keadaan di mana jumlah populasi manusia dari masa ke masa selalu bertambah dengan pesat, sedangkan hasil teknologi pengolahan limbah tidak dapat mengimbangnya sehingga terjadi korelasi positif antara kecepatan peningkatan populasi manusia dengan kenaikan kuantitas limbah di bumi ini.

Hasil survai dari beberapa definisi pencemaran menyimpulkan bahwa pencemaran adalah sesuatu zat atau benda yang berada dalam tempat yang salah, pada waktu yang salah, dan jumlah yang salah. Jenis pencemaran lingkungan ditentukan oleh sumber pencemaran lingkungan yang dapat dibedakan menjadi sumber pencemaran alami, domestik dan industri.

- **Sumber pencemaran alami** tidak secara langsung berkaitan dengan kegiatan manusia. Sebagai contoh, keberadaan gas radon yang secara alami berasal dari peluruhan uranium di dalam lapisan bumi dapat merembes melalui tanah ke dalam sumber mata air, sehingga mengurangi kualitas air.
- **Sumber pencemaran domestik** adalah limbah domestik hasil buangan dari rumah tangga yang secara langsung dibuang ke lingkungan sekitarnya. Seiring dengan kemajuan teknologi saat ini maka jenis limbah domestik menjadi lebih beragam. Salah satu contoh adalah penggunaan pembungkus yang terbuat dari bahan plastik yang sukar terurai telah menggantikan posisi bahan alami (daun dan kulit batang tanaman) yang jauh lebih mudah terurai secara alami. Proses kimia, fisika dan biologi selama ini telah memegang peranan penting dalam mekanisme penguraian limbah domestik, sepanjang kuantitas dan intensitas pembuangan limbah masih dalam batas yang normal. Namun peningkatan populasi manusia telah menyebabkan peningkatan kuantitas dan intensitas pembuangan limbah domestik sehingga membuat proses penguraian limbah secara alami menjadi tidak seimbang. Bila hal ini terjadi secara terus menerus, diperkirakan akan terjadi peningkatan kadar BOD, COD, N dan K di sungai-sungai. Banyak sumur dan sumber air penduduk lainnya mengandung bakteri coli yang menunjukkan telah terjadi pencemaran oleh tinja dan pada akhirnya dapat memacu pertumbuhan gulma air.
- **Pencemaran lingkungan oleh limbah industri** pada umumnya bersifat limbah anorganik yang memiliki keragaman yang luas. Limbah industri dapat berbentuk gas, cair maupun padat sebagai hasil sampingan dari kegiatan-kegiatan pabrik, petanian, peternakan, kehutanan dan lain-lain. Seringkali limbah industri yang bercampur dengan limbah domestik yang dibuang ke dalam suatu sistem perairan justru lebih meningkatkan dampak kerusakan yang lebih total pada sumber daya perairan tersebut. Peningkatan pemakaian obat-obat pertanian (pestisida dan pupuk) secara signifikan telah memberikan kontribusi yang besar terhadap pencemaran lingkungan.

### ***Kemampuan Teknologi Akselerator Ion di Bidang Lingkungan***

Pengendalian pencemaran lingkungan hidup merupakan kewajiban sebagaimana ditetapkan dalam Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Ketidaktahuan, kelalaian, atau pelanggaran atas kewajiban

tersebut diancam dengan sejumlah kemungkinan sanksi, baik sanksi administratif maupun sanksi pidana. Kasus pencemaran lingkungan hidup juga dapat menjadi perkara perdata. Dalam rangka penataan, penegakan hukum, dan penyelesaian sengketa lingkungan diperlukan fakta dan/atau bukti yang menunjukkan terjadinya pencemaran lingkungan hidup. Adapun fakta dan/atau bukti tentang pencemaran lingkungan hidup harus didasarkan pada definisi pencemaran lingkungan hidup yang ditetapkan dengan peraturan perundang-undangan<sup>[4]</sup>.

Dalam praktek operasionalnya, pencemaran lingkungan hidup tidak pernah ditunjukkan secara utuh, melainkan sebagai pencemaran dari komponen-komponen lingkungan hidup, seperti pencemaran air, pencemaran air laut, pencemaran air tanah, pencemaran udara, dan sebagainya. Dengan demikian pengendalian pencemaran lingkungan hidup juga diartikan sebagai pengendalian pencemaran komponen-komponen lingkungan hidup tersebut<sup>[4]</sup>. Di dalam pengendalian pencemaran lingkungan hidup, misalnya pencemaran udara, maka diperlukan informasi tentang jenis dan jumlah zat pencemar atau polutan di udara dan apakah jumlah polutan tersebut telah melebihi ambang batas yang ditentukan. Informasi tentang jenis dan jumlah polutan diperoleh dengan melakukan analisis cuplik-an lingkungan dimaksud. Saat ini telah dikenal beberapa metode analisis yang dapat diterapkan untuk tujuan pengendalian pencemaran lingkungan hidup, salah satunya adalah metode analisis menggunakan berkas ion yang dihasilkan oleh akselerator.

**Akselerator** adalah perangkat untuk mempercepat gerak partikel bermuatan (elektron, proton, ion) serta mengendalikan karakteristiknya (intensitas, ukuran berkas, energi kinetik, dan sebagainya). Bila partikel bermuatan yang telah dipercepat tersebut kemudian mengenai suatu bahan, maka akan terjadi interaksi yang memberikan efek beraneka ragam. Dari efek yang beraneka ragam tersebut maka aplikasi berkas partikel bermuatan yang dihasilkan oleh akselerator saat ini telah menjangkau ke segala bidang. Diantara aplikasi-aplikasi tersebut adalah aplikasi berkas ion untuk analisis, sehingga akhirnya dikenal dengan **teknik analisis dengan berkas ion**.

**Teknik analisis dengan berkas ion** telah memberikan manfaat yang sangat besar di berbagai bidang, termasuk di bidang lingkungan. Dengan teknik analisis berkas ion dapat dianalisis cuplikan lingkungan dengan hasil yang sangat akurat sehingga dapat diketahui jenis dan kadar unsur-unsur pencemar atau polutan di dalam lingkungan, bahkan dengan kadar yang sangat rendah yang biasanya dikenal sebagai unsur kelumit (*trace element*). Pencemar yang bersifat kelumit sulit untuk dideteksi kecuali dengan teknik analisis berkas ion<sup>[5]</sup>.

Pada prinsipnya fenomena fisis yang terjadi pada beberapa jenis teknik analisis dengan berkas ion tersebut adalah sama, yaitu ketika berkas ion masuk ke dalam cuplikan terjadi interaksi antara ion dengan inti atom dan elektron dalam cuplikan.

- Secara makro efek interaksi tersebut adalah penyerapan berkas ion secara total oleh bahan cuplikan dan penembusan bahan cuplikan oleh berkas ion. Penyerapan berkas ion secara total oleh bahan cuplikan diakibatkan oleh tumbukan berulang kali antara berkas ion dengan elektron atau inti atom bahan cuplikan sehingga secara bertahap akan kehilangan energi kinetiknya dan akhirnya berhenti pada kedalaman tertentu. Sedangkan penembusan bahan cuplikan oleh berkas ion karena bahan cuplikan tidak dapat menghentikan gerakan ion.
- Secara mikro efek interaksi antara berkas ion dengan elektron dan inti atom bahan cuplikan adalah peristiwa eksitasi dan/atau ionisasi atom/molekul bahan cuplikan. Eksitasi terjadi karena atom atau molekul cuplikan mendapat tambahan energi dari berkas ion, sehingga elektron-elektron dari atom atau molekul bahan cuplikan terangkat ke orbit yang lebih tinggi. Secara alamiah kelebihan energi elektron akan dilepaskan dalam bentuk foton. Sedangkan ionisasi adalah peristiwa terlepasnya elektron dari atom atau molekul cuplikan. Ionisasi dapat diikuti oleh peristiwa rekombinasi, pemulihan kembali atom atau molekul ke keadaan semula (*molecular rearrangement*) atau dapat juga peristiwa kimia sehingga terbentuk molekul baru.

Interaksi berkas ion dengan cuplikan baik secara makro maupun secara mikro dapat menghasilkan suatu *product* yang dipancarkan dari bahan cuplikan dengan kebolehdan yang ditentukan oleh tampang lintang (*cross-section*) interaksinya. *Product* tersebut dapat berupa foton, sinar X atau partikel lain, yang kemudian diukur sebagai spektrum yang

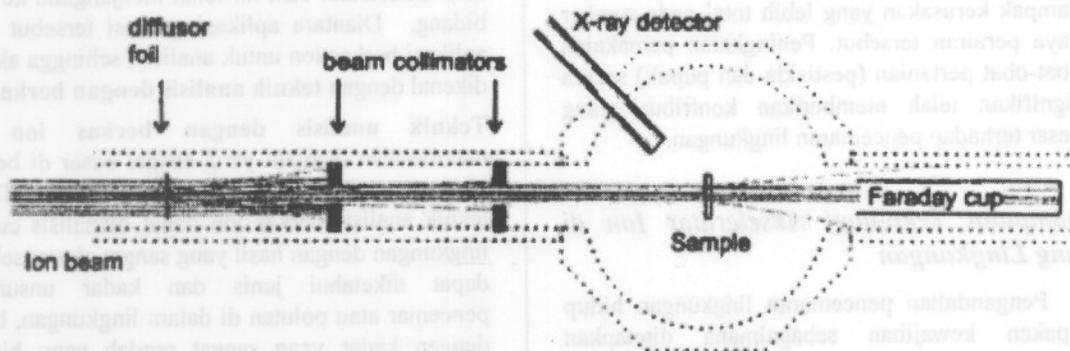
dapat memberikan informasi tentang komposisi cuplikan.

Pada umumnya untuk analisis berkas ion diperlukan berkas ion tertentu dengan energi ion dari beberapa ratus keV hingga beberapa MeV, tergantung pada jenis teknik analisis berkas ion. Dari sekian banyak jenis teknik analisis berkas ion, yang banyak digunakan di bidang lingkungan untuk analisis cuplikan lingkungan untuk mengetahui unsur-unsur polutan adalah teknik PIXE dan APNC.

### Teknik PIXE

PIXE (*particle induced X-ray emission*) merupakan salah satu jenis teknik analisis menggunakan berkas ion. Dalam hal ini jenis ion yang digunakan adalah proton, yaitu inti atom hidrogen  ${}^1\text{H}$ . Proton untuk PIXE biasanya berenergi orde MeV yang dihasilkan oleh akselerator jenis elektrostatik tandem. PIXE banyak diterima sebagai teknik analisis yang handal di berbagai laboratorium akselerator di dunia.

Peralatan untuk PIXE secara skema ditampilkan pada Gambar 1. Peralatan pokok untuk teknik PIXE adalah berupa *target chamber* di mana cuplikan yang akan dianalisis ditempatkan. Sedangkan peralatan pendukung yang terkait langsung dengan *target chamber* terdiri dari *diffusor foil*, kolimator berkas, detektor sinar X, *Faraday cup*, sistem vakum, *sample holder*<sup>[2]</sup>. Teknik PIXE juga memerlukan sistem spektrometer sinar X untuk mengolah sinar X yang terdeteksi menjadi spektrum sinar X. Selanjutnya untuk mengolah data yang terkandung pada spektrum tersebut diperlukan sistem pengolah data yang dilengkapi dengan perangkat lunak analisis data. Saat ini banyak tersedia perangkat lunak untuk teknik PIXE sehingga memudahkan pemanfaatan teknik PIXE untuk analisis.



Gambar 1. Skema peralatan untuk PIXE<sup>[2]</sup>.

Ditinjau dari aspek teknis maka teknik PIXE mempunyai beberapa keunggulan dibanding teknik-teknik analisis lainnya yaitu<sup>[6]</sup>:

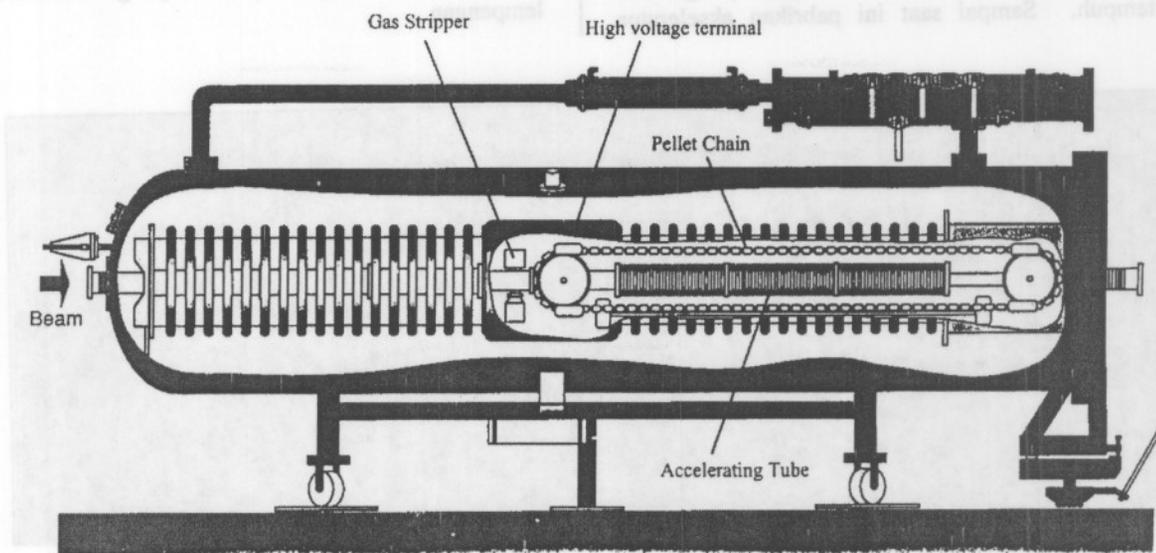
- PIXE merupakan analisis tidak merusak (*non destructive analysis*).
- Preparasi cuplikan sederhana dan hanya dalam jumlah yang sedikit (~ 0,1 mg).
- Dapat untuk menentukan unsur-unsur ringan sampai berat (nomor atom  $Z > 12$ , termasuk Pb, Si, N, O dan F) secara serentak dalam waktu yang pendek.
- Kepekaan deteksi tinggi (10 sampai 100 kali dari teknik lainnya).
- Latar pencacahan rendah (orde 0,01 sampai 1 ppm).
- Dapat untuk analisis unsur kelumit secara internal dan eksternal.
- Dapat untuk analisis polutan asli dan migrasinya.

Beberapa jenis polutan di lingkungan mempunyai kadar yang sangat rendah dan disebut sebagai unsur kelumit (*trace element*). Untuk pencemaran yang bersifat kelumit hanya dapat dideteksi dengan teknik analisis tertentu termasuk teknik PIXE yang mempunyai kepekaan tinggi dan latar pencacahan rendah. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keakuratan dan kepresisian PIXE sebagai teknik analisis meliputi: energi partikel datang, *total exposure* cuplikan oleh berkas partikel, geometri cuplikan, efisiensi deteksi, komposisi matrix cuplikan, dan ketidakpastian statistik pada penentuan luas puncak spectrum<sup>[2]</sup>.

Banyak negara-negara di dunia telah memanfaatkan teknik PIXE sebagai alat analisis. Bahkan beberapa negara berkembang telah mendapat bantuan berupa sistem akselerator energi rendah dan instrumentasi PIXE dari IAEA. Bantuan ini diberikan melalui program *technical co-operation projects, co-ordinated research projects*, dan lain-lain. Indonesia juga berpeluang untuk mendapatkan bantuan serupa asalkan kita dapat membuat suatu program yang jelas arah dan manfaatnya yaitu untuk menyelesaikan masalah pembangunan nasional khususnya di bidang lingkungan. Program tersebut tidak hanya penting untuk BATAN, tetapi secara nasional merupakan program yang harus didukung dan dilaksanakan secara terpadu oleh beberapa instansi terkait.

### Akselerator Ion Yang Diperlukan

Seperti telah disebutkan di muka bahwa berkas ion yang digunakan untuk teknik analisis berkas ion dihasilkan oleh perangkat akselerator ion. Akselerator yang banyak digunakan untuk teknik PIXE adalah akselerator jenis elektrostatik seperti akselerator jenis Van de Graaff dan jenis tandem. Kecenderungan saat ini laboratorium-laboratorium akselerator di dunia menggunakan akselerator tandem. Akselerator jenis ini mampu menghasilkan berbagai jenis partikel seperti proton, ion-ion ringan hingga berat dengan energi orde MeV sampai puluhan MeV (sesuai dengan massa ionnya) dan arus ion orde  $\mu\text{A}$  sampai ratusan  $\mu\text{A}$ . Pada Gambar 2 ditampilkan skema sistem akselerator tandem<sup>[7]</sup>.



Gambar 2. Skema sistem akselerator tandem<sup>[7]</sup>.

Tegangan tinggi searah pada akselerator tandem dibangkitkan oleh suatu generator tegangan tinggi tipe pelletron. Generator ini prinsip kerjanya mirip dengan generator Van de Graaff, tetapi sistem sabuk pembawa muatan yang biasanya terbuat dari bahan karet diganti dengan sistem rantai yang terdiri dari banyak silinder logam. Tipe pelletron mempunyai beberapa keunggulan dibanding dengan tipe Van de Graaff yaitu: tegangan terminal lebih stabil, bebas dari kerusakan akibat lucutan, bebas dari timbulnya debu, umur rantai pelletron lebih panjang<sup>[7,8]</sup>.

Sistem pemercepat ion-ion pada akselerator elektrostatik tandem adalah sebagai berikut: terminal tegangan tinggi digunakan untuk menarik ion-ion negatif dari suatu sumber ion, setelah sampai terminal tegangan tinggi ion-ion negatif tersebut dilucuti menjadi ion-ion positif dan kemudian didorong menggunakan terminal tegangan tinggi tersebut sehingga ion-ion positif mengalami percepatan. Ion-ion positif memperoleh energi yang berlipat bila dibandingkan dengan cara pemercepatan biasa. Sistem pemercepat dan generator tegangan tinggi pelletron tersebut dikonstruksi di dalam suatu tangki bertekanan tinggi ( $> 1$  atm) berisi gas freon atau gas  $SF_6$  sebagai gas isolator terhadap tegangan tinggi dengan maksud untuk menghindari adanya lucutan pada bagian-bagian sistem pemercepat akibat tegangan tinggi yang terpasang (lihat Gambar 2).

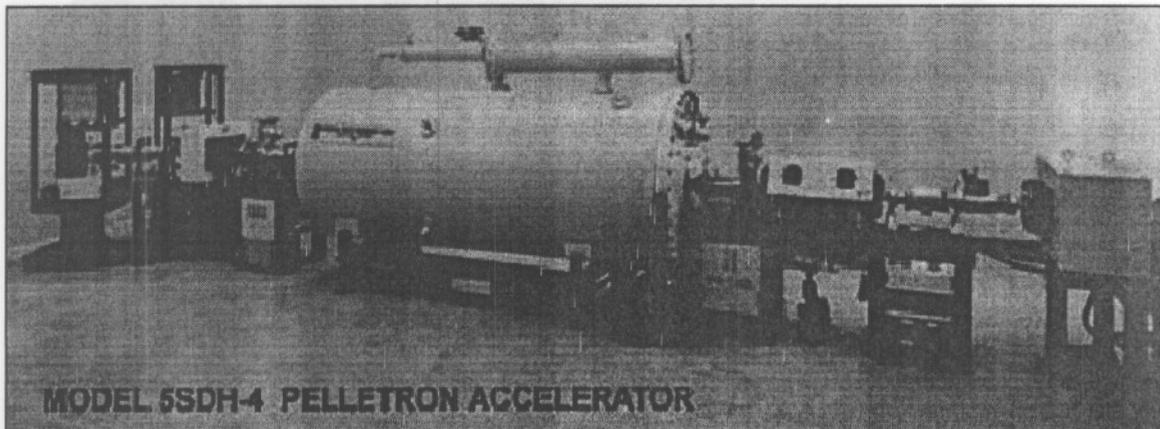
Agar dapat merealisasikan pemanfaatan teknik PIXE untuk analisis cuplikan lingkungan, maka mutlak diperlukan akselerator sebagai pembangkit berkas proton. Dalam hal ini pengadaan akselerator tandem merupakan langkah yang harus ditempuh. Sampai saat ini pabrikan akselerator

elektrostatik tandem terkemuka di dunia adalah NEC (*National Electrostatics Corporation*), USA. Salah satu produk NEC adalah akselerator elektrostatik tandem tipe 5SDH sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3<sup>[8]</sup>. Akselerator tandem tipe 5SDH sudah banyak digunakan oleh laboratorium-laboratorium analisis di dunia. Tipe ini mempunyai jangkauan tegangan terminal dari 50 kV sampai 1,7 MV, sehingga jangkauan energi proton yang dapat dihasilkan oleh akselerator ini dari 0,1 sampai 3,4 MeV.

Disamping itu beberapa peralatan instrumentasi untuk PIXE dan peralatan pendukung lainnya juga harus dipenuhi. Pada Tabel 1 ditampilkan kebutuhan pengguna (*user requirement*) minimal yang harus dipenuhi apabila kita akan memanfaatkan teknik PIXE untuk bidang lingkungan.

### Status Akselerator Ion di PTAPB Saat Ini

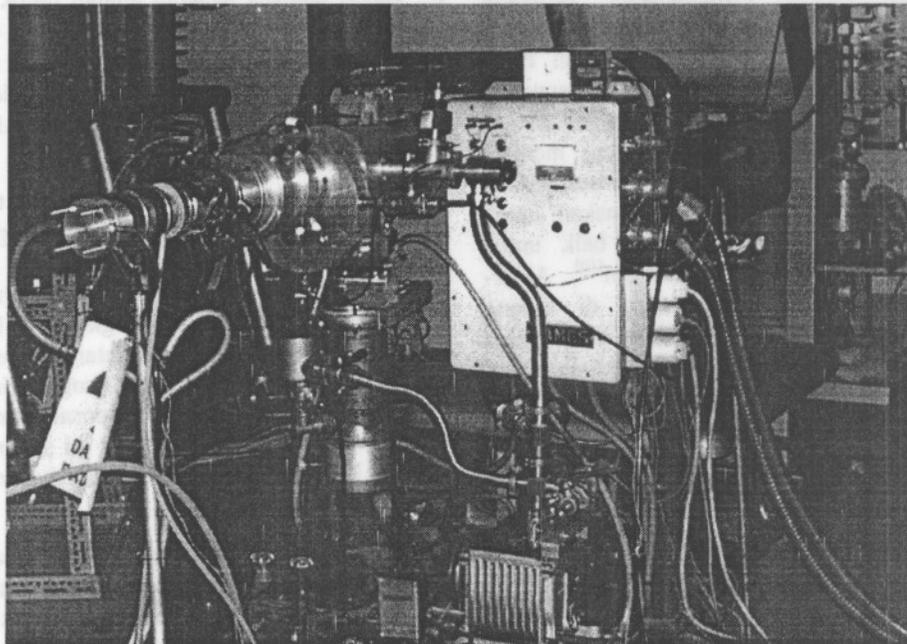
Saat ini PTAPB mempunyai 2 buah akselerator ion energi rendah, satu diantaranya adalah generator neutron tipe J-25 buatan SAMES Perancis seperti ditampilkan pada Gambar 4. Generator neutron ini termasuk jenis akselerator ion elektrostatik energi rendah 150 keV. Tegangan tinggi searah pada generator neutron tersebut dihasilkan oleh sumber tegangan tinggi tipe *felici*. Ion-ion deuteron dihasilkan oleh sumber ion tipe RF melalui ionisasi gas deuterium, kemudian dipercepat di dalam tabung pemercepat menggunakan tegangan tinggi yang dihasilkan oleh sumber tegangan tinggi tersebut. Generator neutron berfungsi untuk menghasilkan neutron cepat 14 MeV melalui reaksi fusi  $T(d,n)He^4$  yaitu dengan menumbukkan ion-ion deuteron pada target tritium yang berbentuk lempengan.



Gambar 3. Akselerator tandem model 5SDH buatan NEC, banyak digunakan pada laboratorium analisis<sup>[8]</sup>.

Tabel 1. Kebutuhan pengguna pemanfaatan teknik PIXE untuk analisis cuplikan lingkungan.

Jenis akselerator	Elektrostatik tandem
Energi ion	Variabel, 1 – 3 MeV
Arus ion	Variabel, stabil, orde nA hingga $\mu$ A
Struktur berkas ion	Homogen, diameter $\mu$ m hingga mm
Jenis ion	p, He, Na, dll
Peralatan PIXE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target chamber (<i>internal</i>)</li> <li>• External probe system</li> <li>• Current integrator</li> <li>• Energy dispersed X-ray Si(Li) detector (<i>in situ</i>)</li> <li>• Vacuum system</li> <li>• Software: AMPTEC or SAPIX</li> <li>• Sample collector (<i>air, liquid, solid</i>)</li> <li>• Diffusor foil</li> <li>• Beam collimator</li> <li>• Faraday cup</li> </ul>
Utilitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power untuk sistem vakum (kontinyu 24 jam)</li> <li>• Power untuk peralatan utama dan pendukung (saat dioperasikan)</li> <li>• Power untuk pintu <i>shielding</i></li> <li>• Power untuk peralatan preparasi</li> <li>• Power untuk AC (kontinyu 24 jam)</li> <li>• Sarana air bersih untuk preparasi, pendingin, toilet/ kamar mandi</li> </ul>
Kebutuhan ruangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruang akselerator dan PIXE</li> <li>• Ruang penyiapan sampel (preparasi)</li> <li>• Ruang kontrol</li> <li>• Ruang staf</li> <li>• Gudang</li> <li>• Toilet</li> </ul>



Gambar 4. Generator neutron J-25 buatan SAMES yang ada di PTAPB.

Secara teknis unjuk kerja generator neutron tersebut saat ini mengalami sedikit penurunan, di mana pada operasi selama 20 jam terjadi penurunan fluks neutron dari orde  $10^9$  menjadi orde  $10^8$ . Sehingga untuk mempertahankan fluks neutron pada operasi generator neutron yang cukup lama harus dilakukan dengan menaikkan arus ion deuteron<sup>[9]</sup>. Namun demikian generator neutron tersebut telah banyak dimanfaatkan untuk analisis unsur, termasuk unsur-unsur dalam cuplikan lingkungan. Teknik analisis yang digunakan adalah teknik APNC (Analisa Pengaktifan Neutron Cepat), yaitu teknik analisis menggunakan berkas neutron cepat 14 MeV.

Prinsip APNC adalah apabila neutron cepat mengenai suatu cuplikan, maka akan terjadi reaksi inti antara neutron cepat dengan inti atom cuplikan yang menyebabkan inti atom cuplikan menjadi radioisotop. Jenis radioisotop yang terbentuk ditentukan oleh jenis dan energi partikel penumbuk (dalam hal ini neutron), jenis unsur dalam cuplikan dan jenis reaksi inti yang terjadi. Radioisotop bersifat tidak stabil dan akan meluruh menjadi inti semula dengan memancarkan sinar  $\gamma$ , di mana energi sinar  $\gamma$  yang dipancarkan tergantung pada jenis unsur yang ada pada cuplikan. Selanjutnya dengan perangkat spektrometer  $\gamma$  dilakukan analisis spektrum  $\gamma$  yang dihasilkan dan dapat diketahui jenis unsur pada cuplikan yang dianalisis. Perangkat spektrometer  $\gamma$  yang ada di lab generator neutron PTAPB meliputi detektor HPGe, komputer yang dilengkapi dengan MCA card dan perangkat lunak AccuSpec, NIM, dan lain-lain.

Teknik APNC menggunakan generator neutron untuk analisis unsur telah lama dilakukan di BATAN Yogyakarta sejak namanya masih Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta (PPNY), kemudian menjadi Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju (P3TM) dan sekarang menjadi Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB). Teknik APNC dapat digunakan untuk analisis semua unsur, tetapi paling baik untuk analisis unsur ringan kecuali hidrogen<sup>[10]</sup>. Akhir-akhir ini teknik APNC digunakan di bidang lingkungan antara lain untuk analisis unsur-unsur dalam limbah industri kulit, tekstil, dan lain-lain. Bahkan IAEA telah mendukung pemanfaatan generator neutron untuk *monitoring* lingkungan sungai Code dengan memberikan bantuan melalui program TC untuk tahun 2005 sampai dengan 2006.

## KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan akselerator ion

energi rendah untuk lingkungan pada dasarnya adalah pemanfaatan berkas ion yang dihasilkan oleh akselerator ion tersebut untuk analisis cuplikan lingkungan menggunakan teknik analisis berkas ion. Analisis cuplikan lingkungan bertujuan untuk pemantauan lingkungan hidup dalam upaya pengendalian pencemaran lingkungan hidup. Pemantauan kualitas lingkungan perlu dilakukan untuk mengetahui apakah suatu lingkungan telah tercemar oleh berbagai macam polutan, atau sebaliknya cukup aman dan sehat bagi kehidupan.

Keadaan lingkungan berpengaruh terhadap kualitas hidup manusia, hewan dan tumbuhan yang hidup di lingkungan tersebut. Lingkungan yang kurang sehat, terlebih karena adanya berbagai macam polutan yang berbahaya, dapat menyebabkan berbagai penyakit yang dapat diderita baik oleh manusia maupun hewan. Oleh karena itu lingkungan harus senantiasa dijaga agar tidak tercemar oleh berbagai polutan berbahaya. Beberapa langkah konkrit harus dilakukan misalnya pengelolaan limbah industri secara profesional dan memenuhi persyaratan amdal, pengurangan pelepasan gas beracun dari kendaraan bermotor, pengurangan pemakaian pestisida untuk pemupukan tanaman, dan lain-lain.

Teknologi akselerator dapat diaplikasikan untuk pemantauan kualitas lingkungan, yaitu dengan memanfaatkan **teknik analisis berkas ion**. Cuplikan lingkungan dianalisis untuk mengetahui jenis dan kadar polutan yang terkandung dalam cuplikan lingkungan. Fungsi akselerator dalam teknik analisis tersebut adalah untuk menghasilkan berkas ion dengan energi mulai dari beberapa ratus keV hingga beberapa MeV. Teknik analisis berkas ion yang sudah banyak dimanfaatkan di bidang lingkungan adalah teknik PIXE dan APNC.

Akselerator yang diperlukan untuk teknik PIXE adalah akselerator elektrostatik tandem beserta fasilitas pendukungnya. Untuk pengadaan akselerator ini kita harus membuat suatu program yang fokus, terpadu dan didukung oleh semua pihak yang terkait dengan masalah lingkungan. Peluang untuk mendapatkan bantuan peralatan dan tenaga ahli dari IAEA sangat terbuka untuk program ini apabila kita dapat membuat suatu proposal dan meyakinkan pihak IAEA bahwa program ini sangat penting dan ada komitmen dari pemerintah Indonesia terhadap program ini.

Berdasarkan hasil kajian, akselerator ion energi rendah cukup layak untuk diaplikasikan di bidang lingkungan, terutama untuk pemantauan lingkungan mengenai jenis dan kadar polutan yang ada di lingkungan. Untuk saat ini terutama dengan telah tersedianya generator neutron maka aplikasi

akselerator ion energi rendah di PTAPB untuk bidang lingkungan telah dapat dilakukan, meskipun dengan tingkat akurasi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan teknik PIXE. Sedangkan untuk teknik PIXE diperlukan pengadaan akselerator elektrostatik tandem beserta seluruh fasilitas pendukungnya, termasuk pembangunan gedung akseleratornya. Semua itu memerlukan investasi yang tidak sedikit, maka untuk sementara masih sebatas rencana program jangka panjang. Namun demikian teknologi akselerator merupakan teknologi maju yang harus disosialisasikan dan ditawarkan sebagai salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk penanganan masalah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. M. IYOS R. SUBKI, *Program Pengembangan Teknologi Akselerator dan Aplikasinya di Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.1, No.2, Desember 1999.
2. -----, *Instrumentation for PIXE and RBS*, IAEA-TECDOC-1190, December 2000.
3. IDA FARIDA RIVAI, Prof., Dr., *Pendekatan Terpadu Pengolahan Pencemaran Lingkungan*, <http://www.unila.ac.id>.
4. HENDRA SETIAWAN, *Pengertian Pencemaran Air, Dari Perspektif Hukum*, <http://www.menlh.go.id/airnet/artikel.htm>.
5. A. TAFTAZANI, DARSONO, WISYACHUDIN F., *Application of Accelerator for Environmental Samples Analysis*, Makalah Rakor Akselerator I, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 22 Juni 1999.
6. A. TAFTAZANI, DARSONO, SUDJATMOKO, *Studi Kemampuan Akselerator (PIXE) Untuk Pemantauan Kualitas Lingkungan Hidup*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.5, No.1, Oktober 2003.
7. SIGIT HARIYANTO, dkk, *Kajian Teknologi Akselerator Tandem dan Prospeknya*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.2, No.1, November 2000.
8. [Http://www.pelletron.com](http://www.pelletron.com).
9. SLAMET SANTOSA, RANY SAPTAAJI, LELY SUSITA, DJASIMAN, *Kajian Aspek Kelayakan Teknik dan Ekonomi Operasi Generator Neutron Untuk Produksi Isotop Mo-99*, Laporan Teknis, P3TM-BATAN, Yogyakarta, Tahun 2005.
10. DARSONO, *Aplikasi Teknologi Akselerator Untuk Analisis*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.3, No.1, Februari 2001.

## TANYA JAWAB

### Ridwan

- Pemanfaatan teknologi nuklir untuk penanganan limbah tentunya sangat menarik, namun sering kita harus menghitung kembali nilai ekonomisnya jika ingin diaplikasikan di industri. Untuk ini apakah Pak Djoko mempunyai data-data perbandingan apabila masalah yang sama ingin diselaraskan dengan teknik lainnya.

### Djoko SP

- Data pembanding secara ekonomis antara pemanfaatan teknologi akselerator untuk penanganan limbah dengan metode-metode lainnya belum diperoleh secara rinci, tetapi secara garis besar pemanfaatan akselerator dalam hal ini memerlukan investasi awal yang tidak sedikit. Tetapi secara teknis, analisis menggunakan berkas ion merupakan metode uji tak merusak, yang sekali tembak dengan berkas ion diperoleh informasi unsur-unsur polutan secara serentak. Ini merupakan keunggulan teknik analisis berkas ion terhadap teknik-teknik lain.

### Heny Suseno

- Saya belum melihat perbandingan hasil analisis menggunakan aplikasi akselerator ion energi rendah dengan metode-metode konvensional lainnya atau hasil analisis unsur-unsur lingkungan dengan metode aplikasi akselerator ion energi rendah pada *Certificate Reference Material*.

### Djoko SP

- Teknik analisis berkas ion unggul dibandingkan dengan metode-metode konvensional lainnya, yaitu merupakan teknik uji tak merusak, dalam waktu yang sama diperoleh informasi unsur-unsur pencemar lingkungan secara serentak. Teknik PIXE telah diakui secara internasional dan banyak dipakai di laboratorium-laboratorium analisis di negara-negara maju.

**Utaja**

- Untuk PIXE, energi 1 – 3 MeV, bagaimana realisasi dengan membeli atau kerjasama dengan Serpong (ada siklotron 30 MeV).

**Djoko SP**

- Realisasinya dengan membeli akselerator jenis elektrostatik tandem, kerjasama dengan siklotron di Serpong perlu dipertimbangkan dan dikaji dulu apakah berkas proton yang dihasilkan memenuhi syarat untuk teknik PIXE.

**Saefurrochman**

- Ruang lingkup lingkungan disini meliputi apa saja? (lingkungan seperti apa?). Sebagai contoh : apakah akselerator ini dapat mengetahui jenis gas yang bocor seperti yang terjadi di Jawa Timur?

**Djoko SP**

- Lingkungan dapat meliputi lingkungan udara (untuk mengetahui polutan pencemar udara), lingkungan tanah (untuk mengetahui pencemaran tanah akibat limbah) dan juga air (pencemaran sumber-sumber air akibat limbah).

**Budi Santosa**

- Bagaimana cara mengendalikan pencemaran lingkungan dengan teknik akselerator?

**Djoko SP**

- Pengendalian pencemaran lingkungan yang dimaksud disini adalah dengan diketahuinya unsur-unsur polutan maka selanjutnya dilakukan langkah-langkah/usaha-usaha untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan. Unsur-unsur polutan tersebut diketahui melalui analisis unsur dengan teknik analisis berkas ion, antara lain teknik PIXE dan APNC.