

# TEKNOLOGI DAN APLIKASI PEMERCEPAT ELEKTRON

M. Natsir

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN



ID0000122

## ABSTRAK

**TEKNOLOGI DAN APLIKASI PEMERCEPAT ELEKTRON.** Teknologi akselerator elektron (pemercepat elektron) berkembang sangat cepat di beberapa negara maju. Yang diaplikasikan untuk penelitian dan pengembangan (*R&D*) dan berbagai jenis industri secara komersil. Aplikasi akselerator elektron dalam industri tersebut mencakup bidang industri polimer, sterilisasi peralatan kedokteran, modifikasi permukaan bahan dan pengelolaan lingkungan. Proses radiasi dengan berkas elektron adalah proses ionisasi radiasi. Dalam rangka penelitian dan pengembangan teknologi proses radiasi untuk demonstrasi ke industri di Indonesia, dua fasilitas akselerator elektron skala pilot telah dibangun di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - BATAN Jakarta. Akselerator yang pertama mempunyai spesifikasi energi elektron rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300, yang kedua energi menengah 2 MeV, 10 mA model dinamitron tipe GJ-2 dengan kemampuan penetrasi elektron masing-masing 0,6 mm dan 12 mm untuk iradiasi dua sisi dalam bahan yang kerapatannya  $1 \text{ g/cm}^3$ . Penampang berkas elektron berukuran panjangnya 120 cm dan lebarnya 10 cm disajikan di atmosfer untuk keperluan iradiasi sampel atau produk industri. Dosis radiasi pada sampel dapat diatur dengan tepat dengan mengatur arus berkas elektron dan kecepatan konveyor. Kedua fasilitas ini menghasilkan kapasitas produksi (output) cukup tinggi dan telah digunakan untuk penelitian dan pengembangan dosimetri, pelapisan permukaan papan kayu, crosslinking polimer, heatshrinkable tube, grafting polimer, degradasi plastik, pengawetan, sterilisasi, dan lain-lain. Faktor-faktor *engineering* desain proses iradiasi dan tinjauan umum berbagai potensi aplikasi dalam berbagai bidang penelitian dan pengembangan ke industri di Indonesia akan diuraikan secara ringkas.

## ABSTRACT

**TECHNOLOGY AND APPLICATIONS OF ELECTRON ACCELERATOR.** Technology of electron accelerator have been developed so fast in the advanced countries. It was applied in the research and development (*R&D*) and commercially in various industries. The industries applying electron accelerator includes polymer industry, sterilization of medical tools, material surface modification, and environmental management. The radiation process using electron beam is an ionization radiation process. Two facilities of electron accelerator have been established in pilot scale at the Center for the Application of Isotope and Radiation CAIR-BATAN, Jakarta, for the *R&D* of radiation process technology and in demonstrating the electron accelerator application in industry in Indonesia. The first has low energy specification of 300 keV, 50 mA, EPS-300 type and the second has medium energy specification of 2 MeV, 10 mA dynamitron model of GJ-2 type. Both the electron accelerators have an electron penetration depth capability of 0.6 and 12 mm, respectively, for the double side irradiation in the materials with density of  $1 \text{ g/cm}^3$ . They also highly capacity production and the electron beam cross-section of 120 cm length and 10 cm width. The beam will go through the atmosphere for irradiation samples or industrial products. The radiation dose can be selected precisely by adjusting the electron beam current and conveyor speed. Both of these facilities were applied in many aspects *R&D*, for examples dosimetry, wood surface coating, cross-linking of polymer, heatshrinkable tube, polymer grafting, plastic degradation, food preservation, sterilization and so on. Engineering factors of radiation design process and general observation of electron accelerator application in *R&D* for various industries in Indonesia are briefly discussed.

## PENDAHULUAN

Teknologi akselerator elektron di beberapa negara maju seperti Jepang, USA, Rusia dan Europe telah diaplikasikan dalam berbagai bidang baik untuk penelitian dan pengembangan (*R&D*) dan komersial dalam industri. Secara umum aplikasi tersebut dapat dikelompokkan dalam tiga bidang. Yang pertama digunakan dalam dunia industri misalnya industri polimer dan sterilisasi peralatan kedokteran, dan yang kedua untuk modifikasi bahan serta yang terakhir untuk pengelolaan lingkungan. Teknologi akselerator elektron mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan teknik konvensional baik proses thermal atau kimia, keunggulan tersebut antara lain adalah menghasilkan produk unggul, hemat energi, proses

berlangsung pada suhu kamar, ramah lingkungan (tidak menimbulkan polusi pada lingkungan), proses mudah dikontrol, teknologi aman, output cukup tinggi dan kompetitif baik kuantitas maupun kualitas (proses cepat, mutunya baik) serta biaya produksi lebih murah untuk produksi massal [1].

Dalam pembangunan jangka panjang kedua dan era globalisasi akan tumbuh banyak industri di Indonesia. Terobosan teknologi akselerator dalam sektor industri tersebut sangat penting artinya karena dapat menghasilkan produk yang berkualitas unggul, aman dan kompetitif sehingga dapat bersaing di pasar global yang pada gilirannya nanti dapat meningkatkan ekonomi nasional. Teknologi akselerator merupakan IPTEK nuklir yang basisnya adalah Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN). Pusat Aplikasi

Isotop dan Radiasi - BATAN sedang mengoperasikan dua buah fasilitas akselerator elektron yaitu akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 dengan daya maksimum 15 kW buatan Jepang dibangun pada tahun 1985, dan akselerator elektron energi menengah 2 MeV, 10 mA tipe dynamitron model GJ-2 dengan daya maksimum 20 kW buatan China dibangun pada akhir tahun 1993 [2].

Kedua akselerator elektron tersebut diatas dioperasikan untuk penelitian dan pengembangan serta introduksi ke industri, yang dimanfaatkan oleh lembaga penelitian pemerintah baik Batan maupun luar Batan, universitas, IAEA dan UNDP serta JAERI melalui kerja sama bilateral dan Industri (swasta) dalam berbagai bidang yaitu dosimetri, polimerisasi, sterilisasi, modifikasi permukaan bahan (logam, kayu, keramik, porselin), penelitian limbah industri, dll. Diharapkan mampu menghasilkan produk-produk baru yang berkualitas misalnya melalui industri polimer yaitu proses ikatan silang (crosslinking) yang terdiri dari kabel tahan panas dan tahan tegangan tinggi, film atau pipa tabung plastik yang dapat mengerut atau mengempes ukurannya bila dipanaskan (heat shrinkable tubes and films), plastik busa, vulkanisasi karet alam, pelapisan permukaan papan kayu, serta grafting polimer, dll. Aplikasi komersil juga dapat dilakukan pada fasilitas tersebut misalnya untuk pelapisan permukaan bahan (kayu lapis, logam, keramik, porselin, marmer, dll.) dan isolasi kabel.

Beberapa aplikasi yang cukup potensial dilakukan pada kedua akselerator tersebut, misalnya dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), disinfeksi sludge dan sewage, dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dll. dan dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan dan buah-buahan, dan dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian sel terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain masih perlu dikaji, yaitu efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran dan lain-lain yang tidak disebutkan contohnya satu-persatu dalam paper ini.

PAIR-BATAN saat ini menerima kerjasama dengan pihak SWASTA/BUMN untuk alih teknologi polimerisasi radiasi berkas elektron khususnya untuk pelapisan permukaan papan kayu dan pembuatan isolasi kabel yang tahan panas dan tegangan tinggi [1]. Dalam kertas kerja ini akan diuraikan deskripsi akselerator elektron, faktor-faktor *engineering* desain proses iradiasi dan status aplikasi akselerator elektron baik dalam maupun luar negeri serta tinjauan secara umum berbagai potensi aplikasi dalam bidang penelitian dan industri di Indonesia.

## DESKRIPSI AKSELERATOR ELEKTRON

Komponen-komponen utama akselerator elektron secara umum adalah sumber elektron, sistem vakum, sumber tegangan tinggi, sistem pemokus, tabung pemercepat

elektron, tabung scanning, sistem pengeluaran elektron dari ruang vakum ke atmosfer serta sistem konveyor. Gambar konstruksi dari akselerator elektron 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 diberikan pada gambar 1. Tabung pemercepat dan scanner dibuat dari stainless steel divakumkan hingga mencapai  $< 10^{-7}$  Torr dengan menggunakan sistem pompa vakum bertingkat, biasanya pompa rotary, pompa cryo-pump, pompa turbomeleuler dan pompa ion. Elektron dipancarkan dari filamen tungsten yang dipanaskan dengan aliran listrik AC, diekstrak dengan tegangan ekstraktor yang dipasang pada celah antara anoda dan katoda dan difokuskan serta diarahkan kedalam celah atau kanal yang menghasilkan arus berkas elektron dalam range mili Ampere. Kemudian elektron-elektron tersebut difokuskan dan dipercepat dalam tabung akselerator oleh tegangan pemercepat yang dipasang secara gradient potential pada tabung pemercepat, dan elektron-elektron discan (ditayarkan) dengan menggunakan pengaruh medan listrik dan magnet yang dipasang pada leher tabung *scanning horn* serta diarahkan pada target titanium window foil dengan ukuran penampang berkas elektron tertentu. Untuk keperluan industri berkas elektron dalam tabung vakum disajikan ke atmosfer udara luar melalui target titanium window foil tipis 17,5 mikron. Ukuran penampang berkas elektron tersebut umumnya 120 cm x 10 cm dan dapat diatur, yang disesuaikan dengan kebutuhan produk industri atau sampel yang akan diiradiasi. Sampel iradiasi atau produk industri yang diproses diangkut dengan menggunakan sistem konveyor kedalam ruang iradiasi, dosis radiasi yang diterima sampel dapat diberikan dengan tepat dengan mengatur kecepatan konveyor, energi dan arus berkas elektron [2].

## FAKTOR-FAKTOR ENGINEERING DESAIN PROSES PRODUKSI [3]

Sebelum proses iradiasi dengan berkas elektron dilakukan, kita perlu mengevaluasi 4 faktor desain *engineering* proses yaitu dosis iradiasi dan kecepatan dosis (laju dosis) yang dibutuhkan, penetrasi berkas elektron (range elektron) dalam bahan, ukuran dan bentuk bahan yang diiradiasi, dan kapasitas produksi yang diperlukan.

### 1. Range elektron (penetrasi berkas elektron)

Range elektron atau daya tembus elektron dalam bahan merupakan suatu faktor penting dan menentukan kemampuan aplikasi akselerator tersebut. Semakin besar range elektron dalam bahan semakin luas bidang aplikasi akselerator elektron dapat dimanfaatkan. Ketika elektron berinteraksi dengan suatu bahan yang diiradiasi, elektron akan kehilangan energi kinetiknya, terutama oleh interaksi listrik dengan elektron atomik. Kemudian elektron tersebut naik keadaan eksitasi, atau lebih sering terlepas dari atom induknya sehingga terbentuknya molekul-molekul tereksitasi dan sebagian besar elektron yang terlepas memiliki energi cukup untuk mengionisasi atom yang berada pada lintasannya, sehingga terbentuknya ion-ion selanjutnya molekul yang tereksitasi akan terurai menjadi radikal-radikal yang sangat reaktif.

Elektron cepat yang datang dari tabung vakum mempunyai energi mula-mula  $E_0$ , pertamakali berinteraksi dengan titanium *window foil* dan menembus *window foil* akan kehilangan energinya  $dE_w$ , kemudian melewati celah udara ruang iradiasi, akan kehilangan energinya  $dE_{air}$ , yang akhirnya berinteraksi dengan bahan dengan energinya  $E$ . Dari uraian diatas energi elektron yang mula-mula  $E_0$  dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (1) :

$$E_0 = dE_w + dE_{air} + E \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- $E_0$  adalah energi mula-mula yang sesuai dengan tegangan tinggi pemercepat elektron (MeV)
- $dE_w$  adalah energi hilang dalam titanium window foil (MeV)
- $dE_{air}$  adalah energi hilang dalam udara ruang iradiasi diantara permukaan titanium foil dan permukaan konveyor (MeV).

Dalam prakteknya energi hilang dalam titanium window foil dan energi dicelah udara biasanya diabaikan, karena  $E_0 \gg dE_w + dE_{air}$ . Interaksi berkas elektron dengan bahan yang diiradiasi, lambat laun elektron mengalami perlambatan sampai akhirnya elektron itu berhenti (stop) dalam bahan yang disebut dengan range elektron (jangkauan elektron atau kedalaman penetrasi).

Elektron berenergi mula-mula  $E_0$  memiliki range dalam bahan tertentu, yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\int_0^{E_0} E dE / dX \dots\dots\dots (2)$$

- dimana : R range elektron dalam bahan (cm)
- $dE/dX$  stopping power elektron atau kehilangan energi (MeV/cm<sup>2</sup>).

Secara empiris, range elektron atau tebal bahan yang efisien digunakan dalam pemrosesan iradiasi dua sisi dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = \frac{0.8 \text{ (gram/cm}^2 \cdot \text{MeV)} \cdot E \text{ (MeV)}}{\rho \text{ (gram/cm}^3)} \dots\dots (3)$$

- dimana :  $\rho$  kerapatan bahan (gram/cm<sup>3</sup>) dan E energi elektron (MeV).

**2. Dosis dan Laju Dosis**

Satuan dosis dalam proses radiasi adalah Gray (Gy), yaitu energi 1 Joule (Watt.sec) terserap dalam 1 kg bahan. Jika suatu dosis dengan nilai 10 kGy (1 Mrad) berhubungan dengan serapan dari 10 kW.sec/kg. Jadi 1 kWatt berkas elektron terserap sempurna pada bahan yang diiradiasi, setara dengan 1 kg/kGy.sec yaitu 3600 kg/kGy.hr. Ini berarti bahwa 1 kWatt berkas elektron dapat meradiasi 360 kg bahan pada dosis 10 kGy dalam 1 jam. Perhitungan

secara teoritis ini diperlukan untuk mengetahui faktor koreksi dan efisiensi proses radiasi. Pengukuran dosis serap biasanya dilakukan dengan menggunakan dosimeter berbentuk film, seperti Celulosa triasetat, radiochromic yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.

Untuk satuan kecepatan dosis (laju dosis) sering digambarkan dalam kGy/sec atau kGy/min. Secara teori total dosis yang diserap dalam bahan yang diiradiasi adalah perkalian laju dosis ( $D_r$ ) dengan waktu (t), diberikan berdasarkan persamaan berikut :

$$D = D_r \times t \dots\dots\dots (3)$$

dimana D total dosis radiasi (kGy),  $D_r$  laju dosis (kGy/min) dan t waktu iradiasi (min). Waktu Iradiasi biasanya ditentukan dengan mengatur kecepatan konveyor dalam ruang iradiasi. Dalam aplikasi teknologi akselerator untuk industri, laju dosis pada suatu energi elektron tertentu bergantung pada arus berkas elektron dan luas permukaan bahan yang diiradiasi (rapat arus berkas elektron) serta jarak pemisah antara celah window titanium foil dengan permukaan bahan yang diiradiasi, secara matematik dapat dituliskan [4] :

$$D_r = K \times \frac{I}{B \times S} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- $D_r$  laju dosis (kGy/min)
- I arus berkas elektron (mA)
- B ukuran lebar berkas elektron (m), pada bahan yang diiradiasi
- S ukuran panjang berkas elektron (m), pada bahan yang diiradiasi
- K stopping power elektron terhadap bahan (MeV/gram.cm<sup>2</sup>).

“Stopping power” K bergantung pada perhitungan energi elektron mula-mula ( $E_0$ ) dan kerapatan bahan ( $\rho$ ) yang diiradiasi dapat diperoleh dari tabel dalam referensi. Secara praktis pada umumnya laju dosis meningkat sesuai dengan meningkatnya energi elektron dan arus berkas elektron, serta berkurangnya laju dosis apabila jarak antara celah window dan bahan yang diiradiasi bertambah jauh.

**3. Kapasitas Produksi**

Kapasitas produksi bahan yang dapat diproses dengan menggunakan akselerator elektron energi rendah berkaitan erat dengan parameter berikut yaitu efisiensi radiasi (h), dosis radiasi (D) dan arus berkas elektron. Secara kasar kapaitas produksi dapat dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$I = h \times S \times D \dots\dots\dots (5)$$

dimana S kapasitas produksi m<sup>2</sup>/min. Untuk akselerator energi sedang, kapasitas produksi dapat diperkirakan jumlahnya berdasarkan persamaan berikut :

$$S = 360 \frac{P}{D} \times \frac{h}{100} \dots\dots\dots (6)$$

dimana S kapasitas produksi yang dinyatakan dalam (km/ min) dan P daya berkas elektron (kWatt).

**STATUS APLIKASI AKSELERATOR ELEKTRON DI INDONESIA**

Aplikasi akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA tipe EPS-300 (15 kW).

Fasilitas skala pilot plant untuk proses pengeringan lapisan permukaan (curing of coating) dengan radiasi berkas elektron yang terdiri dari sebuah akselerator elektron energi rendah 300 keV, 50 mA, seperangkat peralatan pelapisan permukaan papan kayu, serta mesin pengerjaan kayu dibangun di PAIR-BATAN pada tahun 1985. Energi dan arus berkas elektron pada akselerator ini dapat divariasikan masing-masing mulai dari energi 150 keV hingga sampai dengan 300 keV dan arus berkas elektron dapat divariasikan mulai dari 10 mA hingga sampai dengan 50 mA. Dengan adanya kemampuan variasi energi elektron, maka tebal lapisan cairan (polimer-monomer) pada permukaan papan kayu dalam range 60 - 100 µ dapat dikeringkan, karena elektron dapat menembus tebal lapisan tersebut. Akselerator elektron energi rendah ini telah diaplikasikan untuk pelapisan permukaan papan kayu, permukaan logam, list profile, marmer, teraso dan penelitian pengolahan cairan limbah pestisida dan vulkanisasi latek alam [5].

Aplikasi teknologi pelapisan permukaan papan kayu dengan radiasi berkas elektron secara komersial masih ada beberapa faktor penghambat, hal ini disebabkan oleh karena belum dapat dioperasikan secara masal (pihak industri masih mencoba-coba), sehingga menimbulkan kesan biaya operasi tinggi, dan mutu bahan baku panel kayu kurang memenuhi syarat untuk diproses, serta sarana dan prasarana penunjang untuk penanganan kayu masih konvensional. PAIR-BATAN menerima kerja sama dengan pihak swasta/BUMN untuk alih teknologi pelapisan permukaan kayu baik dalam skala besar maupun kecil.

Penggunaan akselerator elektron tipe ini untuk penelitian vulkanisasi latek alam yang dicampur dengan monomer (stirena metil atau metil meta acrylat) telah menghasilkan produk baru yaitu lem sol sepatu dan lem kayu lapis pada dosis radiasi berkas elektron masing-masing 5 kGy (metil meta acrylat) dan 45 kGy (stirena). Lem kayu lapis ataupun sol sepatu hasil radiasi berkas elektron mempunyai keunggulan jika dibandingkan dengan teknik konvensional. Keunggulan yang disebut-sebutkan adalah tidak mengandung gas trimoline (gas beracun terhadap kesehatan manusia) dan lem mempunyai kestabilan yang lama waktu simpannya. Menurut Marga Utama sebuah perusahaan swasta yaitu P.T. Koja Terramarin telah menarik perhatian tentang hasil penelitian pembuatan lem kayu atau lem sepatu tersebut dan berminat untuk membangun fasilitas iradiator untuk pembuatan lem kayu, kemungkinan kerja sama antara P.T. Koja Terramarin dan BATAN untuk

mendirikan pabrik lem kayu atau sepatu dalam skala industri dengan teknik iradiasi berkas elektron. [6].

Aplikasi akselerator elektron energi menengah 2 MeV, 10 mA (20 kW).

Akselerator elektron tipe ini banyak digunakan untuk penelitian dan pengembangan polimerisasi ikatan silang (crosslinking). Produk-produk yang dihasilkan melalui industri polimer yaitu proses ikatan silang polimer untuk bahan isolasi kabel yang terdiri dari kabel tahan panas dan tahan tegangan tinggi, film atau pipa tabung plastik yang dapat mengkerut atau mengempes ukurannya apabila dipanaskan (heat shrinkable tubes and films), plastik busa, vulkanisasi karet, serta grafting polimer. Dosis radiasi yang diperlukan Untuk membentuk ikatan silang isolasi kabel dengan bahan LDPE biasanya diperlukan dosis radiasi 100 - 250 kGy. [5]. Penelitian pengelolaan lingkungan melalui kontrol gas buang industri NOx dan SOx, pemrosesan sewage dan sludge, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain) dapat dilakukan dengan fasilitas ini. Minat para peneliti untuk menggunakan akselerator jenis ini cukup banyak, tetapi kadang-kadang macet pengoperasiannya karena performance mesinnya masih perlu ditingkatkan dan sparepart untuk perawatan belum dapat disediakan dengan optimal. Status pemakaian akselerator ini disajikan dalam tabel 1.

Kerja sama penelitian tentang isolasi kabel antara PAIR-BATAN dengan industri kabel telah dilakukan, tetapi aplikasi secara komersial sedang disiapkan dan saat ini belum berhasil dilaksanakan. Hal ini disebabkan oleh peralatan penunjang yang digunakan untuk teknik iradiasi kabel misalnya alat pengangkut konveyor kabel belum dapat memenuhi sesuai dengan kebutuhan industri (diameter kabel tertentu tidak dapat divariasikan) dan dosimetri berkas elektron untuk industri kabel dari segi teknisnya masih perlu dikembangkan.

**PROSPEK APLIKASI AKSELERATOR ELEKTRON DI INDONESIA**

Aplikasi akselerator elektron dalam industri di beberapa negara maju berkembang dengan sangat cepat misalnya di Jepang mulai dimanfaatkan akhir tahun 1950 an, yaitu untuk proses ikatan silang (crosslinking) PE isolasi kabel (kawat). Proses tersebut menggunakan akselerator elektron yang mempunyai daya 10 - 100 kW dengan energi berkas elektron bervariasi dari 0,2 - 3 MeV. Sebagai gambaran beberapa pemakaian akselerator elektron dalam berbagai bidang di negara maju diberikan pada tabel 2 [4]. Semua pengembangan aplikasi tersebut telah mencapai tahap yang kompetitif jika dibandingkan dengan teknik lain misalnya katalis, panas. Keunggulan aplikasi teknologi ini dibandingkan dengan metode konvensional yaitu kecepatan produksi, kepraktisan, dan kontrol proses mudah dan aman, dapat memperbaiki sifat fisika bahan, proses tidak menggunakan pelarut organik, energi bersih tidak menghasilkan NOx dan SOx, lebih ekonomis untuk produksi secara kontinyu. Juga kompetitif dibandingkan dengan

teknologi proses radiasi gamma, dimana teknologi radiasi berkas elektron lebih unggul dalam beberapa hal yaitu laju dosis radiasi sangat tinggi yang menyebabkan kapasitas produksi tinggi (output besar), proses iradiasi dapat dihentikan operasinya (lebih aman) serta penetrasi elektron rendah (proses khusus hanya untuk permukaan).

Indonesia sebagai negara yang paling banyak sumber daya alam dan negara agraris, banyak menghasilkan bahan pangan, bahan mentah yang berasal dari pertanian, perikanan, peternakan maupun perkebunan. Fasilitas akselerator elektron yang ada di PAIR-BATAN cukup mempunyai potensi untuk digunakan dalam memecahkan problem nasional berbagai bidang tersebut, baik untuk penelitian dan pengembangan ke industri dimasa akan datang. Aplikasi yang potensial antara lain meliputi :

- Ikatan silang untuk isolasi kabel dan wayer
- Ikatan silang lapisan plastik, busa dan selang
- Modifikasi tekstil
- Grafting polimerisasi lapisan tipis, film dan kertas
- Vulkanisasi latek dan karet alam
- Sterilisasi peralatan dan produk medis (kedokteran)
- Sterilisasi permukaan dan pasteurisasi
- Pengawetan makanan
- Perlakuan sampel padat dan cair, serta pemerosesan sludge dan sewage
- Pengelolaan lingkungan atau kontrol gas buang industri
- Pelapisan permukaan

Aplikasi yang cukup potensial dalam sektor industri untuk pengelolaan lingkungan dan ilmu bahan juga memegang peranan penting dimasa datang, karena dapat menghasilkan produk yang berkualitas unggul, aman dan kompetitif sehingga dapat bersaing di pasar global internasional. Contoh aplikasi dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), disinfeksi sludge dan sewage. Dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dan lain-lain dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan, buah-buahan. Dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain yang masih perlu dikaji tentang efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran dan lain-lain.

Industri-industri yang dapat memanfaatkan teknologi akselerator di Indonesia meliputi industri kabel melalui proses ikatan silang polyvinil chlorida (PVC), polyetilene (PE), dan bahan elastomers, industri alat kesehatan, bahan baku obat, sediaan farmasi, kosmetika, makanan dan pengemas melalui proses sterilisasi atau pasteurisasi. Industri kayu, marmer, plastik, kertas dan logam melalui proses pelapisan permukaan. Industri yang membuat ban radial dan karet melalui proses vulkanisasi radiasi berkas elektron. Salah satu industri besar ban mobil nasional akan menggunakan teknologi dan aplikasi

akselerator elektron untuk membuat ban radial. Pabrik ban mobil P.T. Gajah Tunggal sedang melaksanakan pembangunan sebuah fasilitas akselerator elektron dengan luas gedungnya sekitar 100 m<sup>2</sup> dengan spesifikasi energi menengah 500 keV dan arus berkas elektron maksimum 150 mA tipe Cockroft Walton, yang dimulai pada bulan Maret 1998. Akselerator tipe ini akan diaplikasikan untuk vulkanisasi karet dengan teknik radiasi berkas elektron yang dapat memproduksi ban radial yang mempunyai keunggulan antara lain ikatan silangnya sangat kuat, output (produksi) ban radial dapat mencapai 14.000 ban/hari dan stabilitas terhadap panas cukup baik serta mempunyai ketahanan gesekan yang kuat. Teknologi pembuatan ban radial pada prinsipnya cukup praktis yaitu lembaran karet (berbentuk sheet) yang bakal dibuat ban ditempel dengan benang nilon, kemudian diiradiasi dengan berkas elektron, akan menghasilkan ikatan silang antara nilon dan lembaran karet sangat kuat. Lembaran karet yang telah tertempel benang nilon tersebut dipakai untuk membuat ban radial untuk automobil.

## PENUTUP

Elektron berkecepatan tinggi terserap pada bahan, energi ditransfer untuk mengikat elektron dari atom dan molekul bahan, menaikkan kekeadaan eksitasi yang lebih tinggi menghasilkan ion dan radikal. Ion-ion dan radikal yang terbentuk itu memulai membentuk reaksi-reaksi kimia dalam bahan yang tereksitasi, dan melalui reaksi-reaksi kimia tersebut sifat fisika dan struktur bahan bisa berubah.

Dua fasilitas pemercepat elektron (akselerator elektron) energi rendah 300 keV, 540 mA, dan energi menengah 2 MeV, 10 mA sedang dioperasikan di kawasan pusat penelitian tenaga atom Pasar Jumat Pair-Batan, telah dimanfaatkan untuk penelitian dan pengembangan ke industri oleh lembaga penelitian pemerintah baik Batan maupun luar Batan, universitas, industri (swasta), IAEA dan UNDP serta JAERI melalui kerja sama bilateral diharapkan mampu memadukan riset, pendidikan, dan industri melalui teknologi akselerator elektron.

Industri yang dapat memanfaatkan teknologi akselerator elektron secara komersil antara lain industri kayu, keramik, marmer, plastik, kertas dan metal melalui proses pelapisan permukaan ataupun modifikasi bahan industri kabel melalui proses ikatan silang yaitu "heat shrinkable tube", dan isolasi kabel.

Aplikasi yang cukup potensial untuk dilakukan pada kedua fasilitas akselerator tersebut, misalnya dalam pengelolaan lingkungan yaitu kontrol gas buang industri NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> skala laboratorium, degradasi bahan plastik (PE, PP, PVC dan lain-lain), *disinfeksi sludge* dan *sewage*, dalam bidang ilmu bahan misalnya modifikasi bahan yaitu pelapisan permukaan bahan, modifikasi tekstil, dll. dan dalam bidang pangan misalnya sterilisasi, pengawetan makanan, buah-buahan, dan dalam bidang pertanian misalnya untuk mutasi (efek radiasi berkas elektron pada bagian sel terkecil DNA), mutasi radiasi padi, dan dalam bidang kesehatan misalnya sterilisasi peralatan kesehatan, serta masih banyak bidang-bidang yang lain masih perlu

dikaji, yaitu efek/pengaruh radiasi berkas elektron misalnya dalam bidang peternakan, biologi, kedokteran, dan lain-lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. LEALET, “ Instalasi Mesin Berkas Elektron “ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi-BATAN

2. NATSIR, M, “ Perangkat Mesin Berkas Elektron untuk Industri “ Seminar Instrumentasi Nuklir, 11-12 September 1996. SPIN 96 (Prosiding SPIN 96), 1996.

3. INDO-USSR SEMINAR ON INDUSTRIAL APPLICATIONS OF ACCELERATORS, Vol. II, November 1-3, 1988.

4. ABRAMYAN, E.A, “Industrial Electron Accelerators and Application “ Institute for High Temperature USSR Academy of Sciences, 1988.

5. LAPORAN TAHUNAN Kelompok MBE, INSTALASI IRADIASI, 1994 s/d 1996 (Tidak dipublikasikan).

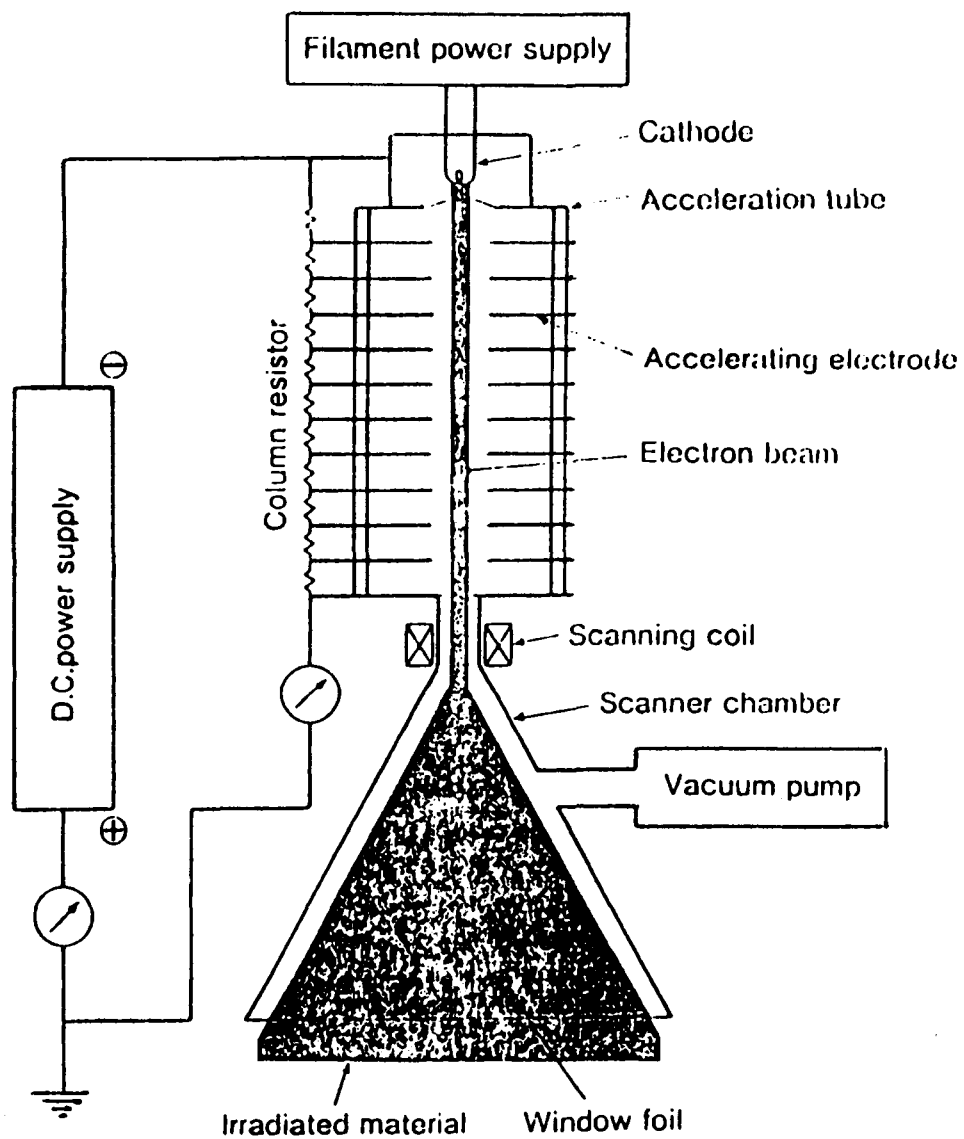
6. MARGA UTAMA, (komunikasi pribadi), Januari 1998.

Tabel 1. Status pemakaian akselerator elektron 2 MeV, 10 mA

Tahun	Jumlah Waktu Operasi (Jam)	Prosentase %	Kondisi Akselerator	Aplikasi Untuk peneliti
1993	39,5	2,5	Mesin sering macet	Komissioning, dosimetri, polimerisasi, pengikatan silang (crosslinking), heat shrinkable tube, grafting, sterilisasi, pasteurisasi, pengolahan limbah, kondisioning, dan lain-lain.
1994	296	18,5	Mesin kadang-kadang macet	
1995	307	19,5	Mesin kadang-kadang macet	
1996	954	59,6	Mesin aktif setelah semi over Haul	
1997	78	5	Pompa vakum “Turbo molekuLer” rusak	

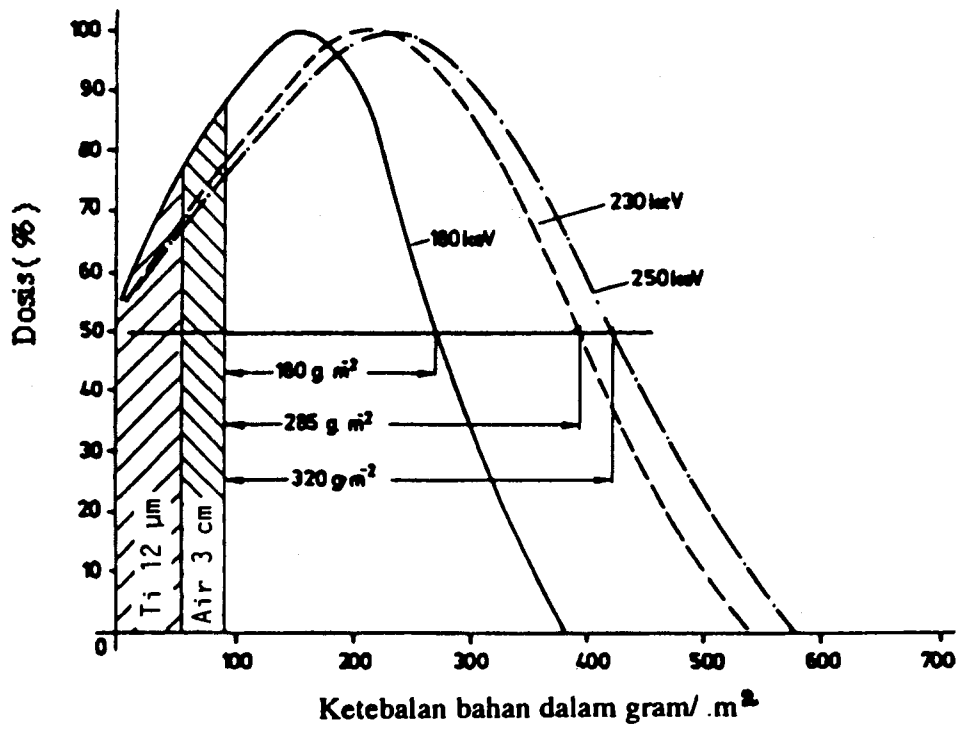
Tabel 2. Aplikasi Teknik Pemercepat Berkas Elektron di Jepang (Japan Atomic Industrial Forum, July, 1980)

Penggunaan	Produk/Hasil	Perusahaan atau Laboratorium	Kapasitas Total (kW)
	Isolasi kabel (wayer)	Sumitomo, Hitachi Furukawa, Fujikura, Showa Dainich, Yazaki, Taisho, Tokai, Hirakawa, Oki	800
Ikatan silang plastik	Tabung yang dapat mengkerut atau bungkus	Pabrik kabel, Nitto	60
	Busa polietilen	Sekisui, Toray	140
	Lapisan tipis, lembaran	Nitto, Ashokaei, etc.	250
Pengeringan cat	Lembaran logam, panel kayu	Shin-Nippon Iron & Steel, Mitsubishi Rayon, Nippon yushi	220
	Bagian peralatan mobil	Suzuki	
Ikatan silang	Ban mobil (Ban radial)	Tidak diperlihatkan	150
Sterilisasi, Pengawetan makanan	Sterilisasi, Pengawetan makanan	Research Laboratories on Foods (Ministry of Agriculture and Forestry) Hirakawa, Oki	0.6
Untuk penelitian		JAERI, dan lain-lain	200
TOTAL			1820.6



Gambar 1. Kontruksi dan blok diagram mesin berkas elektron 300 keV tipe EPS-300 (7).





Gambar 2. Prosentase dosis serap dalam bahan (Dosimeter CTA) pada 3 variasi energi 180 keV, 230 keV dan 250 keV.