

STUDI KONVERSI LIMBAH LUMPUR MENJADI PUPUK DENGAN BERKAS ELEKTRON

Herry Poernomo, Djoko Sardjono

Puslitbang Teknologi Maju - Batan

ABSTRAK

STUDI KONVERSI LIMBAH LUMPUR MENJADI PUPUK DENGAN BERKAS ELEKTRON. Studi ini bertujuan untuk identifikasi metoda penurunan kadar ion logam toksis dan mikroba patogen yang hidup di dalam limbah lumpur dengan berkas elektron agar dapat dikonversi menjadi pupuk. Dari hasil studi diketahui bahwa energi dan dosis radiasi berkas elektron, tebal lumpur, kandungan zat padat dalam lumpur berpengaruh terhadap fraksi hidup bakteri dalam lumpur dan reduksi ion-ion logam toksis dalam larutan yang ada dalam lumpur. Kemampuan penetrasi berkas elektron yang dibangkitkan oleh setiap energi 1 MeV untuk dapat membunuh bakteri patogen dalam lumpur kira-kira 3 mm. Kapasitas minimum limbah lumpur yang ekonomis untuk dikonversi menjadi pupuk dengan menggunakan energi berkas elektron 1,5 MeV dan dosis 5 kGy adalah 50 ton/hari.

ABSTRACT

CONVERSION STUDY ON THE SLUDGE WASTE TO FERTILIZER BY USING ELECTRON BEAM. The objective of study is to identify the reduction method of toxic metal ion content and pathogen bacteria which is in the sludge waste using electron beam in order to be converted to a fertilizer. From the study's results known that energy and electron beam radiation dose, sludge thickness, solid content of the sludge influence on the population of bacteria in the sludge and the reduction of toxic metal ions in the solution of the sludge. The intensity of penetration of the beam generated by energy of 1 MeV for killing the pathogen bacteria in the sludge is about 3 mm. The minimum capacity of the sludge waste which is economically converted to fertilizer using electron beam energy of 1.5 MeV and radiation dose of 5 kGy is 50 tones/day.

Key words : *electron beam, pathogen bacteria, sludge waste, toxic.*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri kimia, logam dasar, dan aneka industri seperti industri makanan, kulit, tekstil, industri produk rumah tangga dimasa yang akan datang diperkirakan akan semakin meningkat seiring dengan populasi manusia yang menggunakan barang-barang produksi dari beberapa industri tersebut. Populasi manusia yang menghuni kota besar sebagai pusat perdagangan dan kawasan industri menimbulkan masalah tersendiri, yaitu limbah cair dan padat yang ditimbulkan dari rumah tangga akan semakin besar. Limbah cair rumah tangga yang dibuang ke saluran pembuangan kota biasanya tidak diolah terlebih

dahulu sehingga dampak negatif dari pembuangan limbah tersebut adalah terakumulasi-nya bahan pencemar seperti logam berat dan toksis serta bakteri parasit pada air limbah yang selanjutnya bahan pencemar tersebut akan terkonsentrasi pada sedimen saluran pembuangan limbah kota.

Dengan banyaknya penduduk kota besar, terutama di negara berkembang yang cenderung semakin tidak peduli terhadap lingkungan hidup di sekitarnya, maka akan semakin menambah terkontaminasinya tanah dan sumber air tanah oleh logam berat dan toksis serta bakteri parasit yang terdapat dalam air dan sedimen pada saluran limbah kota. Kemudian dengan per-

timbangan penekanan terhadap biaya produksi, maka kebanyakan industri kurang peduli terhadap prosedur pembuangan akhir limbah B3 sehingga limbah padat hasil dari pengurangan kandungan air pada lumpur (*dewatering sludge*) dari proses *filter press* yang masih mengandung unsur toksis seperti Cr^{6+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} tersebut hanya dibuang sebagai tanah urug tanpa dilakukan proses stabilisasi terlebih dahulu seperti yang dipersyaratkan oleh Bapedal. Terlepasnya limbah lumpur maupun limbah padat tanpa direduksi unsur B3 dan didisinfeksi akan sangat membahayakan kesehatan masyarakat maupun lingkungan. Hal ini disebabkan unsur toksis dan bakteri patogen yang terkandung di dalam limbah padat tersebut dapat terdispersi ke lingkungan melalui jalur kritis (*pathways*) : tanah-tanaman-hewan-manusia sehingga akan mengkontaminasi tanah, makanan, sumber air tanah.

Teknik proses pembersihan lumpur secara konvensional seperti pengapuran, pengolahan aerobik dan anaerobik, pengomposan, dijesti secara termal dan sebagainya tidak memberikan reduksi yang memadai pada bakteri patogen dan terutama tidak efektif untuk merusak telur-telur bakteri parasit. Pembersihan lumpur dengan iradiasi diharapkan akan aman, efisien dan dapat mengatur reduksi sesuai jenis patogen sehingga memberikan hasil

lumpur yang nilai penggunaannya tinggi dalam bidang pertanian^[2].

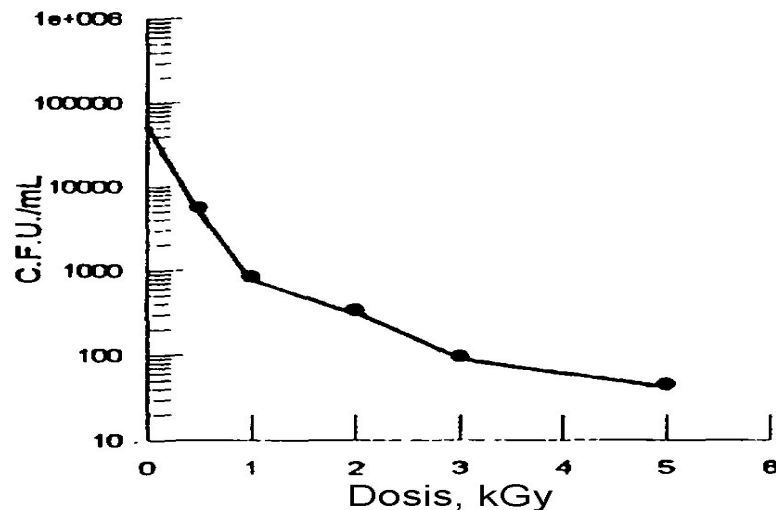
Sehubungan dengan hal itu, untuk mereduksi dispersi unsur toksis dan infeksi bakteri patogen ke lingkungan melalui jalur kritis lumpur-tanah-tumbuhan-hewan-manusia maka salah satu metode yang diperkirakan cukup efektif adalah dengan menggunakan teknologi iradiasi berkas elektron. Lumpur pasca iradiasi dapat digunakan sebagai aditif pupuk/kompos, penstabil tanah, dan bahkan suplemen makanan ternak^[2].

TATA KERJA

Identifikasi Dosis Radiasi Terhadap Mikroba Dalam Lumpur

Dosis radiasi berpengaruh terhadap harapan hidup bakteri di dalam lumpur. Sebagai contoh adalah pengaruh dosis radiasi terhadap total bakteri di dalam lumpur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1^[1].

Scott dan Ahlstron dari New Mexico - USA telah mengukur nilai D yaitu dosis terserap dari radiasi yang diperlukan untuk membunuh mikroorganisme patogen dalam lumpur seperti ditunjukkan pada Tabel 1^[2].



Gambar 1. Pengaruh dosis terhadap kehidupan bakteri coliform di dalam lumpur.

Tabel 1. Nilai D untuk membunuh mikroba patogen dalam lumpur.

| Mikroorganisme | Nilai D (kGy) |
|------------------------|---------------|
| Bacterium | < 0,22 - 0,36 |
| E - coli | 1,4 |
| Micrococcus sp | 0,36 - 0,92 |
| Enterobacter sp | 0,34 - 0,47 |
| Salmonella typhimurium | < 0,5 - 1,40 |
| Potreus mirabilis | < 0,22 - 0,5 |
| Streptococcus faecalis | 1,10 - 2,50 |
| Viruses | 1,5 - 5,0 |
| Poliovirus | 3,5 |
| Coxsackievirus | 2,0 |
| Echovirus | 1,7 |
| Reovirus | 1,65 |
| Adenovirus | 1,50 |
| Parasit : | |
| Ascaris sp | < 0,66 |
| Fungi : | |
| Aspergillus fumigatis | 0,5 - 0,6 |

Lumpur dari saluran pembuangan air limbah kota dapat digunakan sebagai pupuk produksi tanaman pangan dengan batasan bahwa bakteri yang terdapat dalam lumpur adalah sebagai berikut : *fecal coliform* : kurang dari 1000 *Most Probable Number* per gram total padatan, *viable helminth ova* : kurang dari 1 per 4 gram total padatan, *enteric viruses* : kurang dari 1 *Plaque-forming Unit*/4 gram total limbah padatan^[7].

Identifikasi Reduksi Logam Toksik Dalam Limbah Dengan Berkas Elektron

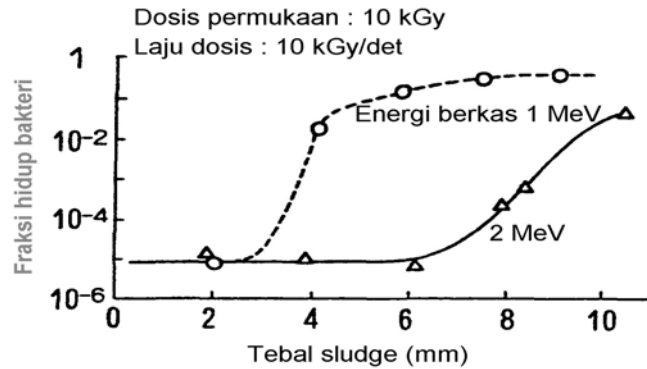
Penelitian yang telah dilakukan oleh Pikaev dari *Institute of Physical Chemistry of the Russian Academy of Sciences* mendapatkan hasil bahwa kombinasi berkas elektron dan ozone dapat mengolah air limbah selokan perkotaan. Air limbah disemprotkan membentuk aliran aerosol dalam ruang iradiasi sehingga berkas elektron yang dihasilkan dari akselerator elektron dengan dosis tertentu berkontak dengan aerosol limbah. Elektron akan terhidrasi menjadi e_{aq}^- yang akan mereduksi ion-ion logam sehingga dimungkinkan dapat membersihkan logam berat (Pb, Cd, Hg,

Cr) yang terdapat dalam limbah.^[9]

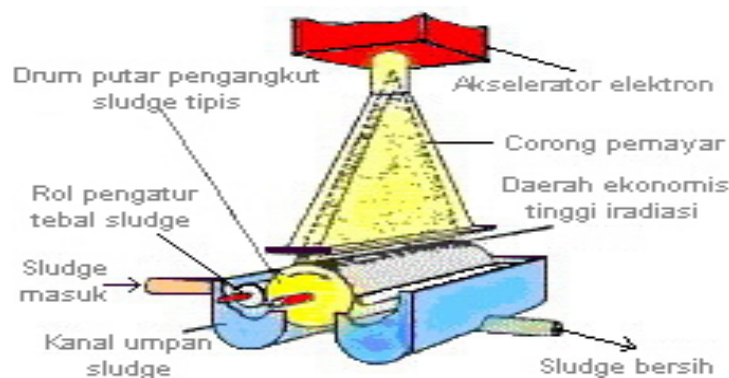
Identifikasi Teknologi Iradiasi Lumpur Dengan Berkas Elektron

Beberapa peneliti Jepang telah meneliti pengaruh energi berkas dan tebal lumpur terhadap fraksi hidup bakteri dan coliform total. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa, untuk membunuh bakteri secara efektif, maka tebal lumpur harus kurang dari 6 mm untuk energi berkas 2 MeV dan 3 mm untuk 1 MeV seperti ditunjukkan pada Gambar 2^[2].

Pada tahun 1976, sistem iradiasi berkas elektron terhadap lumpur telah dilakukan oleh pabrik pengolahan air limbah di Dear Island pada distrik metropolitan Boston-USA. Fasilitas tersebut dapat menangani lumpur dengan kandungan zat padat 5 % di atas 15,8 m³/jam dengan dosis 4 kGy dan terutama digunakan untuk tujuan penelitian. Elektron dibangkitkan dengan akselerator elektron 750 kV, 50 kW. Lapisan lumpur dengan tebal 2 mm pada puncak bagian atas drum berputar diiradiasi dengan menggunakan berkas elektron seperti pada Gambar 3^[1,2].



Gambar 2. Pengaruh tebal lumpur terhadap fraksi hidup bakteri.

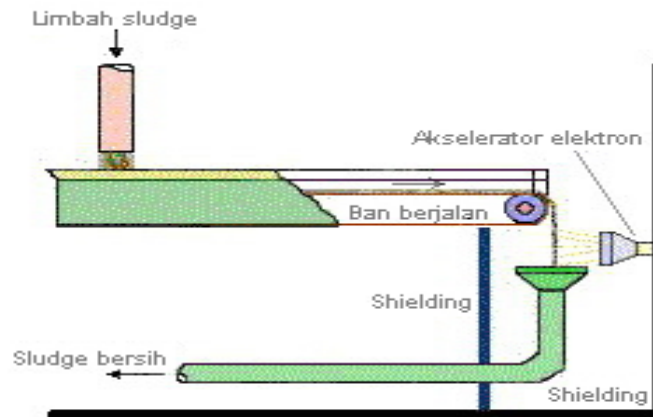


Gambar 3. Proses iradiasi lumpur sistem drum berputar pada pabrik pengolahan air limbah di pulau Dear dekat Boston, Massachusetts.

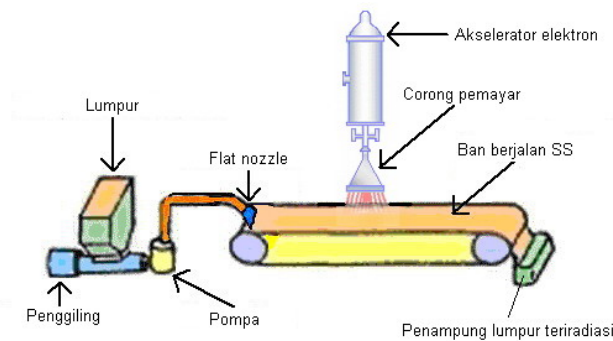
Berdasarkan penelitian di Dear Island, otoritas penanganan air dan air limbah Miami - Florida diputuskan untuk menempatkan iradiator lumpur dengan menggunakan akselerator elektron pada pabrik pengolahan air limbah di Key-Virginia. Iradiator mulai beroperasi pada September 1984 dengan energi 1,5 MeV yang diatur dengan lebar berkas maksimum 1,2 m dan dosis 3,5-4 kGy. Lapisan tipis diperoleh dengan menerjunkan lumpur dari atas ban berjalan sehingga diperoleh tirai lumpur dengan tebal kira-kira 2-5 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem perpindahan lumpur pada ban berjalan dengan kecepatan 27 m/jam dan lumpur mengandung 2 % padatan kering. Instalasi di Key-Virginia dapat mengolah 20-25 % total limbah selokan yang dihasilkan. Lumpur yang teriradiasi dikurangi kandungan air dalam centrifuge. Lumpur disimpan selama

beberapa bulan supaya kering. Selanjutnya lumpur diayak dan didistribusikan untuk pupuk pertanian^[2].

Di Jepang, iradiasi berkas elektron untuk mengolah lumpur dari limbah selokan terutama dilakukan oleh *Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment* - JAERI. Gambar 5 menunjukkan peralatan untuk iradiasi lumpur dengan berkas elektron. Lumpur dengan kandungan air 80% disemprotkan pada ban berjalan dari bahan baja tahan karat melalui flat nozzle dan didisinfeksi dengan berkas elektron. Lebar nozzle datar adalah 20 cm dan tebal lumpur bervariasi dari 1 - 10 mm. Kecepatan aliran umpan adalah 300 kg/jam. Akselerator elektron yang digunakan untuk iradiasi adalah tipe Cockcroft-Walton. Energi maksimum berkas adalah 2 MeV dan arus 30 mA.^[2]



Gambar 4. Proses iradiasi *lumpur* sistem curah pada pabrik pengolahan air limbah di Virginia Key Miami, Florida.



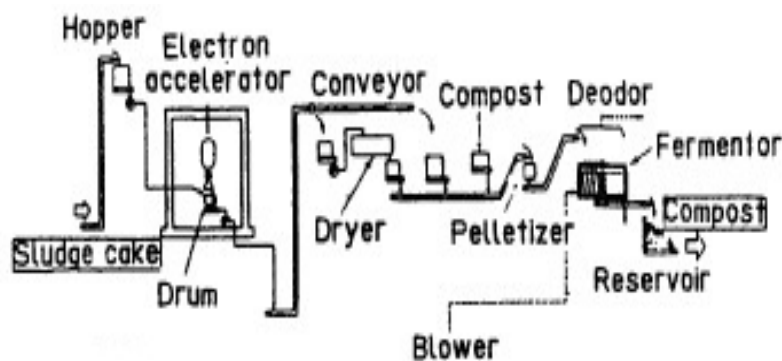
Gambar 5. Proses iradiasi *lumpur* dengan berkas elektron sistem ban berjalan.

Identifikasi Konversi Lumpur Menjadi Kompos Dengan Berkas Elektron

Peneliti Jepang dari *Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment* mengevaluasi kelayakan ekonomi pabrik iradiasi-pengomposan *lumpur* pada saluran buangan limbah kota. Analisis perancangan dan biaya dibuat untuk pabrik pengolahan *lumpur* selokan (kapasitas 25 - 250 ton *lumpur*/hari) dengan akselerator elektron. Diagram alir proses pengolahan *lumpur* menjadi kompos ditunjukkan pada Gambar 6.

Lumpur kering dipancarkan pada drum berputar melalui nozzle datar (*flat nozzle*) dan

didisinfeksi dengan iradiasi elektron pada dosis 5 kGy. Tegangan akselerasi elektron dan kapasitas akselerator masing-masing 1,5 MeV dan 15 kW. Iradiasi-pengomposan *lumpur* juga dibuat pada suhu optimum (kira-kira 50 °C) selama 3 hari (pengomposan konvensional membutuhkan 10 - 12 hari). Volume total fermenter kira-kira 1/3 dari proses pengomposan konvensional, karena pengomposan dengan iradiasi dengan waktu yang lebih pendek. Dari analisis biaya, menunjukkan bahwa biaya modal pabrik iradiasi-pengomposan lebih kecil daripada pabrik pengomposan konvensional, bila kapasitas pengolahan > 50 ton/hari.



Gambar 6. Diagram alir proses pembuatan kompos dari lumpur teriradiasi berkas elektron.

PEMBAHASAN

Kajian Prospek Lumpur Sebagai Pupuk/Kompos

Di negara tropis seperti India, lumpur yang telah diolah mempunyai potensi kegunaan yang sangat luas, terutama dalam bidang pertanian yaitu sebagai penstabil tanah, sebagai komplemen pupuk untuk efisiensi pemakaian pupuk kimia, dan dalam peternakan sebagai suplemen makanan ternak, karena ekonomi India sebagian besar berdasarkan pada pertanian dan peternakan^[2].

- A. **Penstabil tanah** : Tanah akan kehilangan unsur organik melalui beberapa proses alam, khususnya daerah tropis seperti India. Suhu yang relatif tinggi dan lembab menyebabkan percepatan pertumbuhan pertumbuhan bakteri dalam tanah. Energi yang diperlukan bakteri ini untuk hidup berasal unsur organik dalam tanah yang kemudian mendegradasi tanah sepanjang tahun. Frekuensi dan penambahan yang teratur unsur organik pada tanah adalah sangat penting untuk menjaga dan memperbaiki kesuburan tanah dan produksi panen, maka lumpur akan membentuk kualitas tanah semakin baik.
- B. **Bahan tambahan (complement) pupuk** : Pupuk kimia apabila dicampur dengan lumpur akan berpotensi mengoptimalkan produksi pertanian. Penanaman dengan hasil panen yang tinggi yaitu mengusahakan produktivitas dengan intensifikasi pemakai-

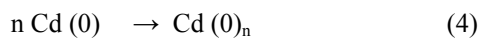
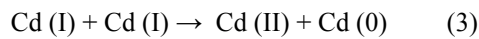
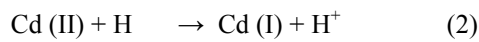
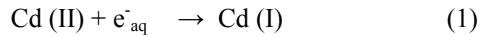
an pupuk pada skala yang luas, akan tetapi mempercepat kekosongan tanah terhadap unsur organik dan mikronutrient. Pengambilan nutrient seperti nitrogen, phosphor, dll. dari pupuk yang diperoleh juga bergantung pada beberapa faktor, termasuk kesetimbangan karbon atau kandungan organik dalam tanah. Salah satu cara mereduksi limbah lumpur adalah dengan menggunakan campuran mineral-organik dari lumpur dan pupuk kimia pada perbandingan yang sesuai dimana saling menguntungkan keduanya dan mengamankan harga pupuk kimia. Keuntungan yang lain adalah dapat mereduksi polusi air tanah dalam, karena pemakaian pupuk nitrat untuk menyuburkan tanah akan terlarut oleh air hujan yang selanjutnya akan terinfiltrasi ke dalam tanah.

- C. **Bahan pakan ternak** : Penggunaan lumpur sebagai bahan pakan ternak mempunyai potensi yang besar, limbah dari setiap kota yang berasal dari lumpur dari saluran buangan yang telah didisinfeksi dapat digunakan untuk makanan ternak binatang pemamah biak.

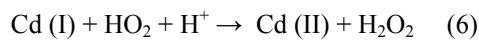
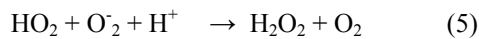
Dari uraian di atas, maka penggunaan lumpur hasil iradiasi berkas elektron sebagai penstabil tanah, bahan tambahan pupuk, dan suplemen pakan ternak untuk kasus di India tersebut dapat diterapkan di Indonesia yang kondisinya mirip seperti di India yang beriklim tropis dan perekonomian negara masih tergantung dari sektor pertanian, dan peternakan.

Kajian Dosis Radiasi Terhadap Reduksi Logam Toksik Dalam Limbah

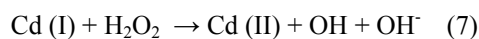
Air limbah disemprotkan dalam suatu ruangan dalam aliran aerosol dan diiradiasi dengan berkas elektron. Partikel aerosol air limbah yang mengandung kation logam berat akan terkena elektron sehingga terjadi reaksi antara ion-ion dengan elektron terhidrasi dan atom H yang terbentuk dari radiolisis air dengan contoh reduksi Cd (II) sebagai berikut :^[9]



Jika air dijenuhkan dengan udara, oksigen juga bereaksi dengan e_{aq}^- dan H, sebagian atau menyerang reaksi (1) dan (II). Molekul radikal O_2^- dan HO_2 yang terbentuk dari interaksi oksigen dengan e_{aq}^- dan atom H, pelan-pelan bereaksi dengan Cd (II), dan terutama bergabung dengan hydrogen peroksida membentuk dan mereaksidasi reduksi ion :

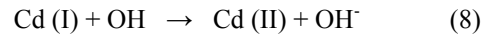


Hydrogen peroksida dapat juga mereksidasi ion-ion menjadi :



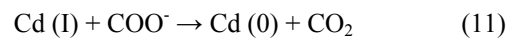
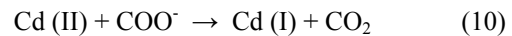
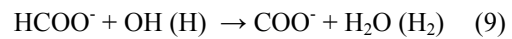
Radikal hidroksil yang terbentuk dari radiolisis

air dan dari reaksi (7), maka akan bereaksi mereduksi ion-ion :



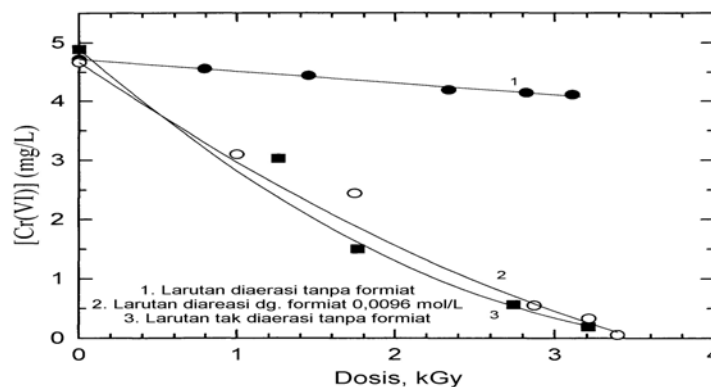
Hydrogen peroksida yang terbentuk dari radiolisis air dan dalam reaksi (5) dan (6) juga teroksidasi mereduksi ion-ion dalam reaksi (7). Pengaruh keseluruhan tersebut terdapat dalam kenyataan bahwa ion-ion logam akan tidak direduksi menjadi logam-logam bebas.

Untuk mencegah pengaruh negatif radikal OH, dimungkinkan dengan menggunakan bahan pemakan yang mengkonversi radikal ke dalam reaksi reduksi. Salah satu bahan yang seperti bahan pemakan adalah ion formiat. Dalam reaksi dengan radikal OH (dan dengan atom H), ion radikal COO^- dapat mereduksi ion-ion metal :



Karena radikal O_2^- dan HO_2 yang ada di udara akan mereksidasi ion-ion yang sudah tereduksi dengan elektron terhidrasi (e_{aq}^-), maka udara dihilangkan dari air (sebagai contoh dengan gelembung gas inert) sebelum atau selama iradiasi limbah.

Dosis radiasi dari berkas elektron berpengaruh terhadap reduksi logam toksik di dalam limbah. Sebagai contoh adalah pengaruh dosis radiasi dan konsentrasi formiat terhadap penurunan konsentrasi Cr^{6+} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh dosis radiasi dan konsentrasi formiat dalam limbah terhadap penurunan konsentrasi Cr (VI).

Kajian Aplikasi Berkas Elektron Di Indonesia Untuk Litbang Pengolahan Limbah

Teknologi iradiasi lumpur dengan berkas elektron di beberapa negara maju yang telah dilakukan sampai dengan saat ini adalah dengan membuat target iradiasi lumpur menjadi lapisan tipis. Peneliti di Jepang telah melakukan penelitian pengaruh tebal lumpur yang diiradiasi berkas elektron terhadap fraksi hidup bakteri yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2. Data pada Gambar 2 menunjukkan bahwa untuk energi berkas elektron 1 MeV pada dosis iradiasi permukaan 10 kGy, maka tebal lumpur 3 mm adalah tebal lumpur optimum untuk membunuh bakteri dalam lumpur. Penelitian di *Sandia National Laboratories* di Albuquerque, New Mexico-USA melakukan penelitian iradiasi lumpur dengan kondisi operasi : tebal lumpur yang berada di bagian atas drum berputar adalah 2 mm yang diiradiasi dengan elektron (seperti Gambar 3). Akselerator elektron yang digunakan dengan energi 0,75 MeV dan dosis permukaan 4 kGy. Penelitian serupa telah dilakukan oleh pabrik pengolahan air limbah di Key Virginia-USA yang mengiradiasi tabir lumpur setebal 3 mm yang mengandung 2 % padatan kering dengan cara dicurahkan dari sabuk berjalan (seperti Gambar 4). Akselerator elektron yang digunakan dengan energi 1,5 MeV dan dosis 3,5 – 4 kGy. Sedangkan penelitian iradiasi lumpur yang mengandung 80 % kandungan air telah dilakukan oleh *Takasaki Radiation Chemistry*

Research Establishment-JAERI. Penelitian dilakukan dengan variasi tebal lumpur 1-10 mm yang diperoleh dari hasil penyemprotan lumpur oleh nozzle datar ke atas sabuk berjalan (seperti Gambar 5). Lumpur tipis di atas ban berjalan diiradiasi berkas elektron dengan energi 2 MeV dan arus 30 mA.

Dari kajian teknologi iradiasi lumpur yang menggunakan berkas elektron pada energi, dosis, tebal lumpur, dan teknologi iradiasi lumpur tipis sebagai target yang dikenai berkas elektron menunjukkan perbedaan satu sama lain seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan data pada Gambar 2 dan Tabel 2, maka mesin berkas elektron (MBE) dengan energi 0,35 MeV/10 mA yang ada di P3TM dimungkinkan dapat digunakan untuk penelitian iradiasi lumpur dari air limbah perkotaan maupun dari pengolahan air limbah industri yang ada di Indonesia. Dari data ketebalan lumpur pada energi berkas elektron yang berbeda, maka untuk melakukan penelitian iradiasi lumpur dengan menggunakan MBE 0,35 MeV/10 mA yang ada di P3TM perlu dibuat tebal efektif lumpur agar dapat mereduksi logam toksis dan membunuh bakteri patogen. Apabila dilakukan adopsi kondisi proses pada teknologi iradiasi lumpur secara drum berputar dan teknologi iradiasinya yang mirip secara sabuk berjalan, maka untuk MBE di P3TM akan efektif dapat mengiradiasi lumpur apabila tebal lumpur sekitar 1 mm.

Tabel 2. Kondisi operasi iradiasi lumpur menggunakan berkas elektron dengan sistem teknologi iradiasi yang berbeda.

| No. | Kondisi Proses | Teknologi Iradiasi Lumpur Tipis | | |
|-----|--------------------------------|---------------------------------|--------------|----------------|
| | | Drum berputar | Lumpur curah | Sabuk berjalan |
| 1. | Tegangan (MeV) | 0,75 | 1,5 | 2 |
| 2. | Dosis (kGy) | 4 | 3,5 - 4 | 10 |
| 3. | Kadar padatan kering (% berat) | 5 | 2 | 20 |
| 4. | Tebal lumpur (mm) | 2 | 2 – 5 | 1 - 10 |

Kajian Prospek Iradiasi Lumpur Limbah Di Indonesia Dengan Berkas Elektron

Salah satu andalan komoditi ekspor Indonesia yang menunjukkan peningkatan baik jumlah maupun nilainya adalah bahan-bahan kulit yang meliputi kulit samak + barang-barang dari kulit (A), kulit mentah (B), kulit samak (C), barang-barang dari kulit (D), dan kulit mentah + kulit samak (E). Ekspor bahan-bahan kulit tersebut berdasarkan data statistik ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut :^[3, 4, 5]

Dampak positif industri perkulitan antara lain dapat diukur dari parameter jumlah dan nilai ekspor yang semakin meningkat seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Sedangkan dampak negatif dari kegiatan industri perkulitan, terutama dari industri penyamakan kulit adalah timbulnya limbah baik padat maupun cair. Jumlah limbah padat dari industri penyamakan kulit di Indonesia disajikan pada Tabel 4 sebagai berikut :^[6]

Dengan melihat data jumlah dan nilai ekspor barang-barang dari kulit pada Tabel 3 dan data jumlah limbah *lumpur* yang dihasilkan dari industri kulit pada Tabel 4, maka dapat diprediksi bahwa limbah *lumpur* akan terus bertambah apabila kondisi perekonomian Indonesia dapat pulih seperti tahun 1998-1999. Apabila dengan asumsi bahwa jumlah kulit mentah dan tersamak yang dapat diekspor adalah meningkat 1000 ton/tahun mulai tahun 2006, maka dapat diperkirakan mulai tahun 2010 setiap tahun industri kulit di Indonesia dapat mengekspor kulit mentah dan tersamak sekitar 10.000 ton. Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa limbah *lumpur* yang dihasilkan oleh industri kulit sekitar 300 kg per ton kulit mentah. Dengan demikian apabila prediksi ekspor kulit mentah + tersamak dapat terealisasi pada tahun 2010, maka limbah lumpur yang dihasilkan dari industri kulit sekitar 3000 ton/tahun atau sekitar 8-9 ton/hari.

Tabel 3. Data ekspor Indonesia bahan-bahan kulit menurut jumlah dan nilainya.

| Periode | Jenis Bahan Kulit | | | | |
|----------|-------------------|-----------|------------|-------------|------------|
| | A | B | C | D | E |
| | Jumlah (kg) | | | | |
| | Nilai (US \$) | | | | |
| Jan-Juni | 9.811.701 | 25.630 | 1.154.093 | 9.144.251 | 656.279 |
| 1997 | 127.035.728 | 152.529 | 22.046.069 | 104.642.284 | 21.999.753 |
| Jan-Juni | 10.420.180 | 355.790 | 2.475.461 | 7.639.201 | 2.578.497 |
| 1998 | 127.478.466 | 1.220.443 | 47.303.005 | 78.971.203 | 48.150.006 |
| Jan-Juni | 18.413.704 | 409.360 | 3.337.624 | 14.571.385 | 3.632.243 |
| 1999 | 127.218.588 | 2.495.156 | 29.080.642 | 95.699.735 | 30.956.312 |

Tabel 4. Jumlah limbah padat dari beberapa industri penyamakan kulit di Indonesia.

| No. | Bahan | Berat (kg) Bahan Limbah per ton Kulit Awet Garam Basah |
|-----|----------|--|
| 1. | Bulu | 234 – 312 |
| 2. | Fleshing | 78 – 234 |
| 3. | Split | 232 |
| 4. | Shaving | 20 |
| 5. | Buffing | 5 – 10 |
| 6. | Lumpur | 250 - 333 |

Menurut peneliti Jepang dari *Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment* yang mengevaluasi kelayakan ekonomi pabrik iradiasi-pengomposan lumpur pada saluran buangan limbah kota menyebutkan bahwa biaya modal investasi untuk mendirikan pabrik pengomposan dengan teknologi iradiasi berkas elektron akan dapat lebih kecil daripada pabrik pengomposan konvensional, bila kapasitas pengolahan lebih besar dari 50 ton/hari.

Pertumbuhan industri kimia, logam dasar, dan aneka industri seperti industri makanan, kulit, tekstil, industri produk rumah tangga setelah tahun 2010 diprediksi akan semakin meningkat seiring dengan populasi manusia yang menggunakan barang-barang produksi dari beberapa industri tersebut. Dengan demikian apabila dilakukan pengolahan limbah terpadu pada kawasan industri terpadu yang disediakan oleh pemerintah dapat dilakukan dengan baik, maka aplikasi teknologi berkas elektron untuk pengolahan limbah lumpur secara ekonomis dimungkinkan akan dapat direalisasi. Hal ini dapat terwujud apabila teknologi pembuatan mesin berkas elektron dipersiapkan dan direncanakan mulai dari sekarang secara serius, konsisten dan berkesinambungan. Salah satu cara yaitu bekerjasama dengan industri lokal dibidang logam dasar, mesin, elektrik dan elektronik untuk mengupayakan penggunaan beberapa komponen lokal yang lebih murah daripada harga komponen impor. Apabila dapat digunakan komponen lokal yang lebih banyak dari beberapa industri lokal terkait, maka diharapkan dapat dibuat mesin berkas elektron yang lebih murah, teruji dan terbukti kualitasnya. Apabila hal ini dapat terwujud, maka aplikasi mesin berkas elektron untuk penanganan pencemaran lingkungan, dan kegunaan yang lain akan mempunyai daya saing dibandingkan dengan alat dan teknologi lain yang sudah digunakan sebelumnya.

Menurut *Environment Protection Agency of USA (USEPA)*, batasan maksimum kandungan logam dalam tanah adalah sebagai berikut : As (75 mg/kg), Cd (85 mg/kg), Cr (3000 mg/kg), Cu (4300 mg/kg), Hg (57 mg/kg), Ni (420 mg/kg), Pb (840 mg/kg), Se (100 mg/kg), Zn (7500 mg/kg) berdasarkan basis sampel kering^[8].

Indonesia tidak merupakan negara maju seperti di USA dengan tingkat ekonomi yang sangat kaya dan penguasaan teknologi sangat maju. Batasan maksimum kandungan logam berbahaya dalam tanah yang diberlakukan oleh pemerintahan di Indonesia biasanya lebih kecil daripada batasan yang berskala internasional. Namun demikian agar lumpur limbah dapat digunakan sebagai penstabil tanah, aditif pupuk, suplemen pakan ternak, maka perkembangan teknologi aplikasi akselerator elektron untuk reduksi kandungan ion-ion logam berbahaya dalam lumpur limbah perlu dipelajari untuk diketahui, dikuasai, disosialisasikan dan diaplikasikan oleh lembaga litbang terkait yang bermitra dengan kalangan industri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi terhadap pengetahuan ilmiah teknis iradiasi berkas elektron untuk mereduksi mikroba dan unsur toksis berbahaya dalam limbah, dapat disimpulkan :

1. Berkas elektron sangat efektif untuk membunuh bakteri patogen yang terkandung di dalam lumpur limbah.
2. Semakin besar kandungan zat padat dalam lumpur, maka diperlukan dosis radiasi yang lebih besar untuk dapat membunuh bakteri patogen dan mereduksi ion-ion logam toksis.
3. Berkas elektron akan efektif dapat mereduksi ion-ion logam toksis seperti Cr^{6+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} yang terkandung dalam limbah menjadi ion-ion logam yang tidak berbahaya apabila udara di sekitar limbah diusir atau diganti dengan gas inert.
4. Pengetahuan dan teknik pembuatan lapisan tipis lumpur dan dosis radiasi perlu dikuasai agar mikroba patogen dan ion-ion logam toksis dalam lumpur dapat maksimal direduksi dengan berkas elektron.
5. Pembersihan lumpur limbah dari kandungan mikroba dan unsur toksis berbahaya dengan menggunakan berkas elektron akan layak secara ekonomi apabila kapasitas produksi lumpur limbah lebih besar dari 50 ton/hari.

6. Lumpur limbah kota dan limbah industri di Indonesia apabila dikelola dan diolah dengan baik dengan menggunakan berkas elektron, maka akan mempunyai prospek yang baik untuk dikonversi menjadi pupuk, penstabil tanah, dan suplemen pakan ternak.
7. Mesin berkas elektron 350 keV/10 mA yang ada di P3TM dimungkinkan dapat digunakan untuk litbang konversi limbah kota dan limbah industri menjadi penstabil tanah, pupuk dan suplemen pakan ternak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] LAVALE, D.S., SHAH, M.R., RAWAT, K.P., GEORGE, J.R., *Sewage Sludge Irradiators Batch and Continuous Flow*, In : Radiation Technology Conservation of Environment, Proceedings of Symposium Held in Zakopane, Poland, 8 - 12 September 1997, pp. 289 – 301. LAVALE, D.S., SHAH, M.R., RAWAT, K.P., GEORGE, J.R., “Sewage Sludge Irradiators Batch and Continuous Flow”, In : Radiation Technology Conservation of Environment, Proceedings of Symposium Held in Zakopane, Poland, 8 - 12 September 1997, pp. 289 – 301.
- [2] BORONG, B., MINGKHONG, W., RUIMIN, Z., JINLIANG, Z., *Irradiation Treatment of Sewage Sludge : History and Prospects*, In : Radiation Technology Conservation of Environment, Proceedings of Symposium Held in Zakopane, Poland, 8 - 12 September 1997, pp. 433 – 442.
- [3] ANONIM, *Buletin Statistik Luar Negeri Ekspor*, BPS, Jakarta, 1997.
- [4] ANONIM, *Buletin Statistik Luar Negeri Ekspor*, BPS, Jakarta, 1998.
- [5] ANONIM, *Buletin Statistik Luar Negeri Ekspor*, BPS, Jakarta, 1999.
- [6] ANONIM, *Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit*, Buku Panduan, Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, Jakarta, 1995.
- [7] ANONIM, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan Penjelasannya*, Jakarta, 2001.
- [8] MAGNAVACCA, C., GRAINO, J.G., *Agriculture Reuse Feasibility Studies of Sludges for the Sewage Sludge Irradiation Plant in Argentina*, In : Radiation Technology Conservation of Environment, Proceedings of Symposium Held in Zakopane, Poland, 8 - 12 September 1997, pp. 311 – 320.
- [9] PIKAEV, A.K., *New Environmental Applications of Radiation Technology*, In : Radiation Technology Conservation of Environment, Proceedings of Symposium Held in Zakopane, Poland, 8 - 12 September 1997, pp. 243 – 254.

TANYA JAWAB

Sanda

- Studi ini salah satunya limbah lumpur kulit. Kita tahu limbah itu bau :
 - Kapan limbah lumpur itu diteliti.
 - Bagaimana dengan limbah lain seperti limbah batu bara, limbah kayu, garmen, pabrik baja, pabrik kimia dan bisakah dikonversi menjadi pupuk, bagaimana caranya.

Herry Poernomo

- Limbah lumpur diteliti yaitu limbah lumpur dari reduksi polutan dengan proses shokulasi-koagulasi sebelum disaring dengan filter press.
- Limbah lumpur dari pabrik atau industri lain pada prinsipnya dapat dikonversi menjadi pupuk apabila kandungan unsur hara makro (N, P, K) dalam limbah lumpur cukup layak secara ekonomis sebagai nutrisi dalam pupuk tanaman.

Tjipto Sujitno

- Yang dimaksud disini limbah lumpur apa?
- Secara kimia kalau limbah lumpur diiradiasi dengan elektron akan menjadi apa?
- Apa yang dimaksud dengan limbah lumpur jenuh.

Herry Poernomo

- Limbah lumpur yang dimaksud adalah limbah lumpur dari industri kimia dan limbah lumpur domestik kota.

- Limbah lumpur yang diiradiasi dengan elektron, maka unsur toksis seperti (Cd^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cr^{6+}) akan direduksi oleh elektron terhidrasi (e_{aq}^-) dan radikal bebas H menjadi (Cd^{1+} , Pb^{1+} , Hg^{1+} , Cr^{3+}) yang bersifat tidak toksis.
- Limbah lumpur jenuh adalah limbah lumpur yang jenuh dengan air.