

PERANAN BAHAN MAGNET DAN KEMAGNETAN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH NUKLIR DAN NON NUKLIR

Bardi Murachman

Jurusan Teknik Kimia, FT - UGM

Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta.

ABSTRAK

PERANAN BAHAN MAGNET DAN KEMAGNETAN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH NUKLIR DAN NON NUKLIR. Sistem magnet dan elektromagnet telah ditemukan lebih dari satu abad yang lalu. Pada awalnya sistem ini diaplikasikan pada pembuatan generator untuk menghasilkan energi listrik. Dalam perkembangannya berbagai bidang seperti industri, kedokteran, pertambangan, perminyakan dan lingkungan juga memanfaatkan sistem ini. Manajemen limbah pada umumnya telah banyak dipresentasikan dengan berbagai prosedur alternatif penanganan limbah dan sistem magnet dan elektromagnet banyak dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti : separasi komponen, pencegahan korosi, menurunkan tegangan muka, pembentukan kristal, meningkatkan fungsi desinfektan dan pertumbuhan kecambah. Walaupun belum diketahui secara pasti bagaimana mekanisme efek sistem magnet dan elektromagnet berfungsi untuk beberapa tujuan, terutama pada teknik separasi atau bioteknologi, namun alat komersial yang menggunakan sistem magnet dan elektromagnet telah beredar luas, misalnya unit pengolahan air, pengolahan limbah (gas, cairan, dan padatan), berbagai alat medis, dan alat industri terutama pertambangan dan perminyakan. Sejak tiga dasa warsa ini, sistem magnet dan elektromagnet banyak diteliti dan dikembangkan, untuk pengolahan limbah berbahaya termasuk bahan radioaktif atau nuklir. Dimana polemik tentang limbah terutama bahan nuklir dewasa ini makin terasa. Di satu sisi manfaat bahan nuklir untuk berbagai bidang seperti industri energi, medis, dan pertanian telah dapat dibuktikan, disisi lain masyarakat masih trauma dengan resiko dan akibat yang ditimbulkan pada limbah yang dihasilkan dan ketika terjadi insiden kecelakaan.

Kata kunci : Bahan magnet, Kemagnetan, Limbah nuklir, limbah non nuklir

ABSTRACT

THE ROLE OF MAGNET MATERIALS AND MAGNETISM TO PROCESS NUCLEAR AND NON-NUCLEAR WASTE. The magnet and electromagnet systems were invented more than a century ago. In the beginning, these systems were applied in manufacturing generator to generate electrical power. During their development, the utilization of these systems were widely spread such as industry, medicine, mining, petroleum and environment. Generally, waste management have been presented with varied alternative of waste processing procedure; and magnet as well as electromagnet systems were developed for many purposes such as: component separation, corrosion prevention, surface stress decreament, crystal formation, increasing the function of desinfectant, seeds growth, etc. Although the mechanism of of the effect of magnet and electromagnetsystems were functionalized for several purposes, particularly in separation and biotechnology techniques, commercial devices using magnet and electromagnet systems, however, have been used widely, such as water treatment unit, waste treatment (gas, liquid and solid), medical and industrial equipment, particularly mining and petroleum. Since three decades, magnet and electromagnet systems have been studied and developed for dangerous waste treatment including radioactive and nuclear materials. The polemic concerning the nuclear waste is come to sense nowadays. In one hand, the application of nuclear in many fields such as energy industry, medical, and agriculture have been approved, and in other hand, people still keep in their mind the incident and potential risk they have to take concerning the nuclear waste.

Key words : Magnet materials, magnetism, Nuclear waste, Non Nuclear waste

PENDAHULUAN

Dewasa ini bahan berdaya magnet baik yang diperoleh secara langsung dari alam dan hasil buatan telah dimanfaatkan secara luas di berbagai bidang kegiatan. Industri yang bergerak di bidang energi, pertambangan, perminyakan, kedokteran, pertanian, bioteknologi dan lingkungan, menggunakan dan mengembangkan bahan magnet dan elektromagnet yang dapat menghasilkan medan magnet.

Bahan magnet yang ditemukan lebih dari satu abad yang lalu, telah dibuat dan dimodifikasi, serta dikembangkan sistem kemagnetannya untuk berbagai keperluan. Sebagai contoh aliran listrik dalam kumparan dapat menghasilkan medan listrik atau elektromagnet, kemudian dirubah menjadi tenaga mekanis. Sebaliknya bahan magnet yang dilingkupi dengan kumparan, jika digerakkan berputar menghasilkan tenaga listrik. Alat yang disebut generator listrik tersebut telah memberi manfaat besar bagi manusia.

Teknologi magnet, elektromagnet, dan sistem kemagnetan digunakan pada kegiatan industri, misalnya untuk pemisahan bahan (logam, non logam, senyawa organik dan petrokimia), pencegahan korosi dan kerak, perubahan tegangan antar muka, kristalisasi dan lain-lain. Di bidang biomedis dan pertanian teknologi magnet dan kemagnetan dikembangkan misalnya pada pemberdayaan desinfektan, mempercepat pertumbuhan kecambah, mencegah pertumbuhan algae, bakteri dan virus.

Problema lingkungan terutama dalam menangani limbah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia menjadi perhatian utama masyarakat dan pemerintah. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan pertumbuhan penduduk, jenis dan kuantitas limbah yang dihasilkan makin bervariasi dan banyak. Selama limbah yang dihasilkan tidak berbahaya, pembuangan limbah ke lingkungan tidak sulit penanganannya. Namun untuk limbah berbahaya bagi lingkungan termasuk limbah yang mengandung bahan radioaktif, maka penanganannya dan pengolahannya memerlukan teknologi khusus.

Manajemen limbah yang meliputi pengumpulan, transportasi, pengolahan dan pembuangan limbah yang diterapkan di berbagai lokasi, daerah, dan negara berbeda, tergantung pada karakteristik limbah, kepadatan penduduk, dan luas lahan, serta kebijakan pemerintah setempat. Sebagai contoh Australia memakai sistem *landfill* dalam pembuangan limbah tidak berbahaya karena lahannya luas, sebaliknya Jepang menggunakan teknologi insinerasi karena padat penduduknya. Prosedur umum dengan berbagai alternatif metoda pengolahan limbah banyak disebarluaskan di berbagai peraturan, journal maupun forum seminar namun keputusan aplikasinya selalu dikaitkan dengan efektivitas, biaya dan waktu.

Pengolahan limbah cair, padat maupun gas menggunakan teknologi magnet, dalam tiga dasawarsa ini banyak dikembangkan. Pemisahan kontaminan seperti logam, non logam, minyak, terutama bahan berbahaya termasuk bahan radioaktif, baik untuk fasa cair, padat dan gas, banyak diteliti dan diaplikasikan. Teori fenomena magnet untuk pengolahan limbah dalam beberapa hal masih diperdebatkan, namun beberapa jenis alat pengolah limbah bahkan telah dikomersialkan dan digunakan di perumahan, pemukiman, hotel, rumah sakit dan industri. Alat tersebut dipasang pada saluran air minum, sanitasi, AC, boiler,

dan unit-unit operasi seperti evaporator dan kristalisator, sedimentasi dan separasi.

Sejak tiga dasawarsa ini, sistem magnet dan elektromagnet banyak diteliti dan dikembangkan, untuk pengolahan limbah berbahaya termasuk bahan radioaktif atau nuklir. Belakangan ini polemik tentang limbah terutama bahan nuklir makin terasa. Di satu sisi manfaat bahan nuklir untuk berbagai bidang seperti industri energi, medis, dan pertanian telah dapat dibuktikan, disisi lain masyarakat masih trauma dengan resiko dan akibat yang ditimbulkan pada limbah yang dihasilkan, terutama ketika terjadi insiden kecelakaan.

Makalah ini dimaksudkan untuk sosialisasi penggunaan bahan magnet dan elektromagnet dan sistem kemagnetan yang dewasa ini banyak dikembangkan untuk pengolahan limbah baik limbah nuklir maupun non nuklir.

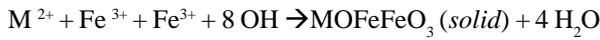
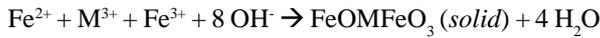
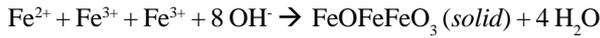
MAGNET DAN KEMAGNETAN

Bagi sebagian orang, magnet adalah suatu hal sangat misteri. Penjual benda atau peralatan magnet sering menggunakan ketidaktahuan untuk keuntungannya. Oleh karena itu memahami dan familiar dengan ilmu dasar tentang magnet dapat membantu pengguna dalam mendeteksi barang yang meragukan.

Lebih dari satu abad lalu manusia mengetahui bahwa bumi yang berputar mengelilingi matahari adalah benda berdaya magnet, dengan dua kutub berlawanan yaitu kutub utara dan kutub selatan, serta mempunyai medan magnet disekitarnya. Di alam beberapa unsur yang dapat dimagnetkan, utamanya mengandung unsur besi, kobal dan nikel.

Medan magnet diproduksi oleh adanya gerakan partikel bermuatan. Misalnya elektron yang mengalir melalui kawat akan menghasilkan medan magnet disekitar kawat. Medan magnet yang dihasilkan dari gerakan elektron digunakan untuk berbagai keperluan rumah tangga, automobil, dan mesin-mesin industri. Sebagai contoh dasar adalah elektromagnet, yang dibentuk dari berbagai kumparan kawat yang membungkus sekitar pusat batang/pipa besi. Medan magnet hanya terbentuk jika arus listrik mengalir melalui kumparan kawat. Magnet permanen sebaliknya tidak menggunakan arus listrik. Medan magnet dari magnet permanen dihasilkan dari medan magnet sangat kecil, yang diproduksi oleh masing-masing atom didalam bahan magnet dan saling meluruskan. Medan magnet setingkat atom ini utamanya dihasilkan dari putaran orbit elektron. Sementara itu dari berbagai bahan yang menjalani pelurusan medan setingkat atom, hanya bahan feromagnetik yang dapat diluruskan tingkat atomnya. Dengan demikian semua magnet permanen dikomposisikan dari bahan feromagnetik. Bahan feromagnetik yang banyak digunakan adalah besi, kobal dan nikel. Contoh mekanisme sintesis bahan magnetik pada *magnetite/ferrite* adalah sebagai berikut :

Peranan Bahan Magnet dan Kemagnetan untuk Pengolahan Limbah Nuklir dan Non Nuklir (Bardi Murachman)



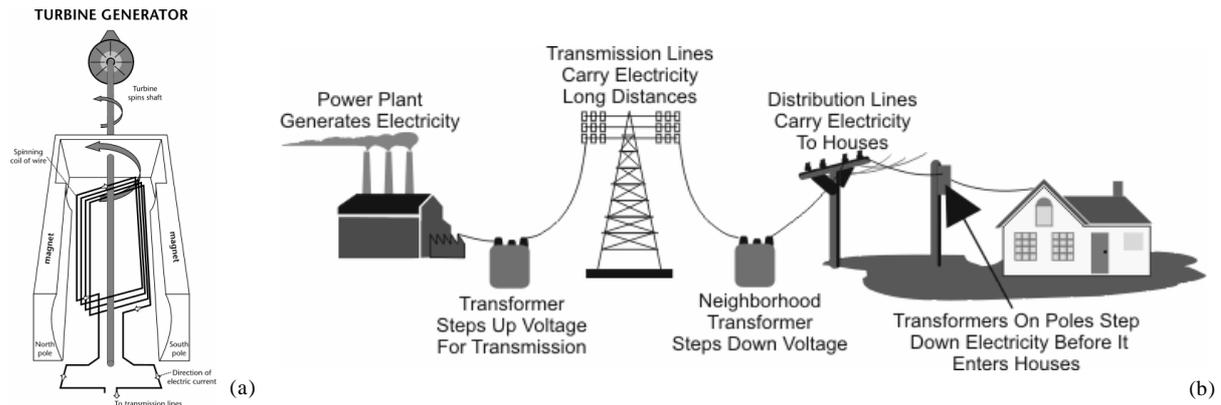
Keterangan :

- M = Metal atau logam (Cu^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+ , As^{3+})
- $\text{FeOFe}_2\text{O}_3 = \text{Fe}_3\text{O}_4$ (*magnetite*)
- *Substituted magnetite = Ferrite*
- Pada 40 K magnet dapat menghasilkan pusat medan magnet sebesar 2,0 T pada suatu arus 120 A

pembangkit listrik (Gambar 1a), dan listrik yang dihasilkan didistribusikan untuk berbagai keperluan (Gambar 1b).

Dalam perkembangannya bahan magnet dan kemagnetan diaplikasikan di berbagai bidang kegiatan misalnya pada proses pemisahan. Diketahui medan magnet/listrik memberi pengaruh besar pada proses pemisahan, antara lain :

- Sangat efisien dalam memisahkan partikel magnet, misalnya pada lempung kaolin, logam besi, dan beberapa jenis unsur lainnya.
- Memberi peluang dan prospek nyata pada pengolahan air limbah, pemurnian air, pemisahan



Gambar 1. (a) Generator pembangkit listrik, (b) Listrik yang dihasilkan didistribusikan untuk berbagai keperluan

Contoh spesifikasi suatu jenis bahan alat magnet adalah HTS Magnet :

- Pita superkonduksi Bi-2223/Ag 624 m
- Dimensi kumparan 18 cm OD, tinggi 15,5 cm dan 5 cm ID
- Warm bore 2,5 cm
- Didinginkan dengan cryocooler Gifford-McMahon 2 tingkat

Kekuatan magnet ditunjukkan dari kekuatan densitas fluks magnetnya, yang diukur dengan unit gauss. Medan magnet bumi sekitar 0,5 gauss. Magnets refrigerator untuk rumah tangga mempunyai medan magnet sekitar 1000 gauss. Alat magnetik untuk memperbaiki kualitas bahan bakar minyak memerlukan densitas fluks magnetik pada kisaran 2000 gauss hingga 8000 gauss. Magnet permanen dengan densitas fluks sekitar 8000 gauss biasanya siap digunakan untuk perbaikan kualitas bahan bakar. Beberapa produsen menggunakan Neodium-iron-boron atau Samarium-Cobalt dengan densitas fluks tidak lebih dari 13.500 gauss. Alat magnetik untuk perbaikan bahan bakar sama dengan alat magnetik untuk pengolahan air limbah.

APLIKASI MAGNET DAN KEMAGNETAN

Benda magnet atau yang dimagnetkan pada awalnya digunakan untuk membuat generator

bidang medis dan biologi, dan penangkapan senyawa yang menjadi target.

- Menangkap molekul-molekul yang ditargetkan seperti minyak dalam air
- Berpotensi dalam memisahkan bahan seperti logam berat pada pembuangan berbagai macam bahan tambang yang diharapkan, dan berpotensi pada efektivitas biaya.

Beberapa keunggulan dari proses pemisahan dengan magnet antara lain :

- Mengurangi penggunaan listrik dibanding teknologi coil (kumparan) yang bersifat resistan.
- Dapat dibawa (*portable*) menggunakan cryogen-free magnet. Hal ini penting untuk pembersihan di suatu tempat secara berkala.
- Kebutuhan lahan lebih kecil dibanding dengan teknologi konvensional, dan lebih murah karena memerlukan lahan lebih kecil.
- Proses dengan bahan kimia ferrite (lebih aman) dibanding teknik pengendapan konvensional.
- Lebih ramah lingkungan karena proses dengan ferrite (bahan magnet) menghasilkan bahan tak berbahaya pada limbah padat yang tidak dapat diekstraksi.

Riset studi tentang pengolahan air limbah dan pergerakan menggunakan sistem magnet, untuk pemanasan, cuci pakaian, pembuatan minuman, evaporator, dan menara pendinginan melaporkan berbagai temuan sebagai berikut :

- Menurunkan tegangan muka hingga sekitar 65 dyne per cm².
- Memperbaiki fungsi surfaktan dan pelumas
- Mengurangi korosi dan kecepatan korosi terhadap komponen
- Mencegah kristalisasi deposit garam
- Mereduksi sifat perekatan dan *encrustation*
- Mereduksi pembentukan kerak
- Memperbaiki *setting* dan pematatan semen
- Mengurangi pertumbuhan *algae*
- Memperbaiki fungsi bakteri desinfektan
- Mempercepat difusi reagen
- Menaikkan efisiensi resin penukar ion
- Menghilangkan partikel halus pada pemurnian daur ulang air limbah
- Ekstraksi logam berharga dari biji logam
- Menaikkan densitas dan kekuatan cetakan
- Menaikkan kecepatan flokulasi pada limbah atau menyisihkan hasil pengolahan air limbah kota
- Efisiensi yang lebih baik pada pembakaran bersih menggunakan pada mesin diesel dan bensin.
- Menghemat waktu, biaya dan peralatan
- Mengurangi kebutuhan energi, konservasi air, mereduksi atau menghilangkan umpan kimia dan kontrol kebutuhan serta mengurangi polusi

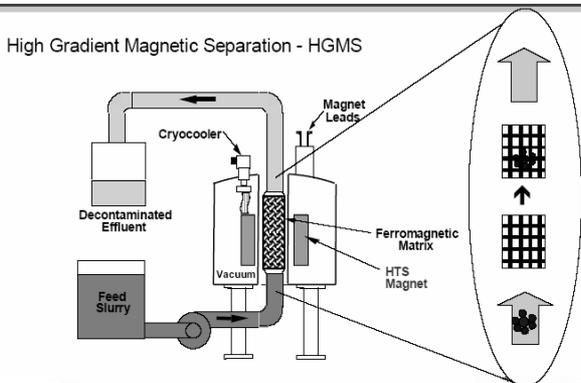
untuk limbah residensial dan institusional tidak berbahaya (*non hazardous*), dan di daerah metropolitan biasanya menjadi tanggung jawab pemerintah daerah, sementara manajemen untuk limbah komersial dan industri tidak berbahaya biasanya menjadi tanggung jawab penghasil limbah.

Ada sejumlah konsep tentang manajemen limbah, yang bervariasi penggunaannya diantara negara dan daerah, namun secara umum konsep manajemen limbah sudah diketahui secara luas oleh produsen limbah dan institusi dan masyarakat. Seksi ini mempresentasikan konsep yang banyak digunakan secara umum.

Hirarki limbah merujuk pada 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), yang mengklasifikasikan strategi manajemen limbah menurut *term* yang diinginkan dari minimasi limbah seperti gambar dibawah ini.



Overview - Magnetic Separation System



MANAJEMEN LIMBAH

Manajemen limbah (*M Waste management*) adalah suatu penanganan limbah meliputi pengumpulan, transport, proses, *recycling*, dan pembuangan material limbah, untuk mengurangi efek limbah terhadap kesehatan manusia, estetika lokal atau kerusakan lingkungan. Manajemen limbah meliputi limbah padat, cair maupun gas, dilaksanakan dengan metode berbeda sesuai sifat dan fasa bahannya. Dalam prakteknya, manajemen limbah berbeda dalam pengembangannya, sesuai dengan perkembangan negara, daerah, urban dan rural (pedesaan), pemukiman, industri, dan produsen komersial, Biasanya manajemen limbah

Metode Pengumpulan Limbah

Metode pengumpulan limbah sangat bervariasi untuk berbagai daerah dan negara, bahkan untuk negara berkembang belum mempunyai metode formalnya. Di Australia limbah domestik rumah tangga sebanyak 240 liter perminggu untuk dikompakkan menggunakan *rear loading compactor*. Di Eropa dan beberapa negara lain beberapa komunitas menggunakan sistem pengumpulan *propriety (Envac)* yang mengangkut limbah melalui bawah tanah menggunakan sistem vakum. Roosevelt Island menggunakan sistem ini sejak 1975. Di pusat urban Kanada, *curbside collection* adalah metode yang umum digunakan untuk pembuangan, dimana kota mengumpulkan limbah yang dapat didaur ulang atau bahan organik dengan jadwal yang ditetapkan. Di daerah pemukiman masyarakat menggunakan sistem *houling* ke stasiun transfer dan selanjutnya limbah yang terkumpul ini diangkut ke *landfil* daerah.

Metode manajemen limbah di berbagai tempat bervariasi sesuai dengan jenis limbah, lahan yang digunakan dan kepadatan penduduk. Sebagai contoh Australia menggunakan metoda pembuangan limbah padat rumah tangga ke tempat *landfill* dengan pertimbangan tanah yang luas dan penduduk sedikit.

Sementara Jepang menggunakan metode insinerasi karena area negara ini sempit dan kepadatan penduduk tinggi. Beberapa metode yang biasanya dilakukan adalah : *Landfill*, Insinerasi, *Resource recovery*, *Recycling*, *Composting* dan *Anaerobic digestion* dan Pirolisis serta Gasifikasi

Limbah dengan Tingkat Radiasi Sangat Rendah (*Very Low-Level Waste*)

Sebagai contoh walau tak signifikan adalah limbah hasil penggilingan tanah mengandung uranium (*uranium mill tailings*) yang merupakan produk samping proses pengolahan biji uranium. Limbah ini juga sering



Operasi kompaktor pada landfill



Insinerasi



Pembuatan kompos



Pengolahan biologi



Unit pengolahan limbah

MANAJEMEN LIMBAH BERBAHAYA TERMASUK LIMBAH NUKLIR

Limbah berbahaya adalah limbah yang dikategorikan berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup termasuk manusia. Limbah berbahaya pada umumnya memiliki sifat-sifat sebagai berikut: beracun, dapat meledak, mudah terbakar, korosif, reaktif dan radioaktif. Dengan demikian limbah nuklir termasuk dalam kategori limbah berbahaya.

Sumber limbah radioaktif

Limbah berbahaya memerlukan perhatian lebih dibanding limbah pada umumnya. Dinyatakan sebagai limbah berbahaya karena dalam pengumpulan, proses, pengangkutan, maupun penyimpanan dapat menimbulkan bahaya dan kejadian yang tidak diinginkan, misalnya kerusakan alat, lingkungan dan kesehatan makhluk hidup khususnya manusia.

Sumber limbah radioaktif dapat berasal dari berbagai tempat dan kegiatan, antara lain :

- Material radioaktif yang terbentuk dari bahan alami (*Naturally Occurring Radioactive Materials*), misalnya pada tambang uranium, batubara, minyak dan gas bumi, atau mineral hasil proses
- Limbah kegiatan medis/kedokteran
- Industri
- Siklus bahan bakar nuklir, terdiri atas bagian depan, bagian belakang, dan tentang berbagai macam hasil.
- Reproses senjata nuklir

Limbah diproses secara khusus dibanding limbah pada umumnya

TIPE LIMBAH RADIOAKTIF

Sesuai dengan tingkat radioaktivitas limbah yang diemisikan, ada beberapa jenis limbah radioaktif antara lain :

mengandung bahan kimia logam berat yang berbahaya seperti timbal dan arsen. Di US, limbah uranium *mill tailings* di tinggalkan di berbagai tempat penambangan tua seperti di Colorado, New Mexico dan Utah.

Limbah dengan Tingkat Radiasi Rendah (*Low Level Waste (LLW)*)

Limbah ini dihasilkan dari rumah sakit dan industri, termasuk industri bahan bakar nuklir. Diketahui kertas, *rags*, alat-alat, pakaian dan *filter*, yang mengandung sejumlah kecil radioaktivitas dengan umur singkat.

Biasanya *LLW* didesain dengan pengukuran tindakan pencegahan pada daerah aslinya (*active area*) termasuk kantor yang hanya memantau kemungkinan terkontaminasinya dengan material radioaktif. Banyak tipe *LLW typically* tidak memperlihatkan radioaktivitas tinggi seperti diperkirakan dari beberapa material yang dibuang pada daerah tidak aktif, seperti pada blok kantor yang normal.

Beberapa aktivitas yang tinggi dari *LLW* membutuhkan perlindungan selama penanganan dan transportasi, tetapi sebagian besar dikubur pada lubang sempit dalam tanah. Untuk mengurangi volume limbah, *LLW* dikompakkan atau di insenerasi sebelum dibuang. *LLW* dibagi dalam beberapa kelas : kelas A, B, C dan *GTCC (Greater Than Class C)*.

Limbah dengan Tingkat Radiasi Sedang (*ILW*)

Limbah ini mengandung sejumlah besar radioaktivitas dan dalam beberapa hal membutuhkan pelindung. *ILW* termasuk resin-resin, *sludge* bahan kimia dan logam pada reaktor reaktor bahan bakar, dan bahan kontaminan dari reaktor yang sedang *decommissioning*. Limbah ini bisa disolidifikasi dalam beton maupun bitumen untuk dibuang. Sebagai aturan umum, limbah yang berumur singkat (utamanya bahan bukan bahan bakar dari reaktor), dikubur dalam tempat penyimpanan

yang dangkal, sementara untuk limbah yang berumur panjang (dari bahan bakar dan bahan bakar reproses) ditanam pada fasilitas bawah tanah yang dalam. Regulasi dari US tidak mendefinisikan kategori limbah ini, namun digunakan di Eropa dan tempat lainnya.

Limbah dengan Tingkat Radiasi Tinggi (HLW)

Botol limbah tingkat radiasi tinggi diangkut dengan kereta api di Inggris (UK). Setiap botol dikonstruksi dari baja padat setebal 3 kaki dan beratnya lebih dari 50 ton. Limbah dengan tingkat radiasi tinggi (HLW) diproduksi oleh reaktor nuklir, dan limbah ini mengandung produk hasil fisi, dan unsur transuranik muncul dalam inti reaktor. Bahan ini sangat radioaktif dan sering secara termal masih panas. HLW dilaporkan berisi lebih dari 95% total radioaktivitas yang dihasilkan dalam proses pembangkitan listrik tenaga nuklir. Jumlah HLW di seluruh dunia naik sekitar 12 000 metrik ton setiap tahun, yang ekuivalen dengan 100 bus dek ganda, atau struktur bangunan penyimpan diatas lapangan basket.

Bahan Radioaktif Bisa Dihasilkan oleh Kegiatan Non Nuklir

Bahan radioaktif yang bukan berasal dari kegiatan nuklir biasa dikaitkan dengan apa yang disebut NORM dan TENORM. NORM adalah kependekan dari *Naturally Occurring Radioactive Material*, sedangkan TENORM adalah singkatan dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*. NORM merupakan bahan radioaktif yang sudah ada di alam yang secara sadar atau tidak sadar merupakan bagian dari kehidupan manusia. NORM terdapat di mana-mana, karena hampir semua bahan alami, baik dalam tubuh, di makanan, ataupun di lingkungan sedikit banyak mengandung bahan radioaktif alami. TENORM adalah bahan radioaktif yang diambil dari alam (batuan, tanah dan mineral) dan terkonsentrasi atau naik kandungan radioaktivitasnya sebagai akibat dari kegiatan industri. TENORM dijumpai di pertambangan uranium, pabrik produksi pupuk fosfat, produksi minyak dan gas, produksi energi geotermal. Regulasi pengelolaan NORM dan TENORM di beberapa negara maju telah ditetapkan, namun belum ada *guideline* dari IAEA.

Limbah Transuranik (TRUW)

Sebagaimana didefinisikan pada US regulasi, tanpa melihat dari mana asalnya, limbah yang terkontaminasi dengan emisi alfa dari bahan transuranik radionuklida dengan setengah umur lebih dari 20 tahun, dan konsentrasi lebih dari 100 nCi/g (3,7 MBq/kg), digolongkan sebagai limbah dengan tingkat radiasi tinggi. Unsur-unsur dengan jumlah atom lebih tinggi dari uranium disebut transuranik. Karena umurnya yang panjang, TRUW dibuang dengan lebih hati-hati

dibanding limbah dengan radiasi sedang maupun rendah. Di US kemunculan limbah ini terutama dari produksi senjata, dan berisi pakaian, alat-alat, rag, residu, sampah dan barang lain yang terkontaminasi oleh sejumlah kecil unsur radioaktif (utamanya Plutonium).

Dibawah hukum US, TRUW dikategorikan pada 2 golongan yaitu *Contact-Handled (CH)* dan *Remote-Handled (RH)*, dengan basis dosis radiasi yang diukur pada permukaan kontainer limbah. CH TRUW mempunyai kecepatan dosis permukaan tidak lebih dari 200 mrem/jam (2mSv/h), sedangkan RH TRUW mempunyai kecepatan dosis permukaan sebesar 200 mrem/jam (2 mSv/h) atau lebih. CH TRUW tidak mempunyai radioaktivitas sangat tinggi pada limbah tingkat radiasi tinggi, ataupun membangkitkan panas yang tinggi, tetap RH TRUW radioaktivitasnya tinggi, dengan kecepatan dosis hingga 1.000.000 mrem/jam (10 000mSv/h), US secara permanen membuang TRUW yang dibangkitkan dari pembangkit tenaga nuklir dan fasilitas militer pada pilot *plant* isolasi limbah.

Manajemen Limbah dengan Tingkat Radiasi Sedang

Pada umumnya limbah dengan tingkat radiasi sedang di industri nuklir diolah dengan penukar ion atau benda lain untuk mengkonsentrasikan radioaktivitas pada volume kecil. Limbah berupa curah yang telah sangat kurang radioaktivitasnya (sesudah pengolahan) sering dibuang. Misalnya, dimungkinkan untuk menggunakan flokulan feri hidroksida untuk menghilangkan logam radioaktif dari campuran encernya. Sesudah radioisotop dijerap oleh feri hidroksida, hasil berupa lumpur dapat ditempatkan dalam drum logam sebelum dicampur dengan semen untuk membentuk limbah padat. Untuk maksud mendapatkan kinerja waktu lama yang lebih baik (stabilitas mekanik) dari bentuk yang ada, campuran dapat dibuat dari campuran abu terbang atau terak dapur pembakaran, dan semen *portland*, sementara beton normal dibuat dari campuran semen *portland*, kerakal dan pasir.

Managemen Limbah dengan Tingkat Radiasi Tinggi

Limbah dengan tingkat radiasi tinggi disimpan pada kolam bahan bakar kosong dan didalam fasilitas penyimpanan berupa tong kecil. Hal ini akan memperpendek hidup isotop-isotop untuk rusak sebelum ditangani berikutnya.

Penyimpanan limbah radioaktif dalam waktu lama memerlukan stabilisasi limbah dalam bentuk tak akan bereaksi atau terdegradasi, untuk periode waktu yang diperpanjang. Satu jalan untuk maksud ini adalah melalui vitrifikasi (*vitrification*). Sekarang ini di Dellafield, Inggris, limbah dengan radiasi tingkat tinggi (rafinat

siklus pertama PUREX) dicampur dengan gula dan kemudian dikalsinasi. Proses kalsinasi termasuk melewati limbah melalui tabung berputar yang panas. Maksud dari kalsinasi adalah untuk menguapkan air dari limbah, dan de-nitrasi produk fisi untuk membantu stabilitas gelas yang diproduksi.

Kalsin yang terjadi diumpungkan secara kontinyu kedalam dapur pemanas induksi dengan gelas yang terfragmentasi. Gelas yang dihasilkan berupa bahan baru dimana produk limbah diikat ke dalam matriks gelas ketika memadat. Produk berupa fluida cair dituang kedalam kontainer baja tahan karat berbentuk silinder dengan proses *batch*. Jika didinginkan, cairan memadat (*vitriifies*) menjadi gelas/kaca. Bahan gelas ini setelah terbentuk sangat tahan terhadap air.

Menurut ITU, dibutuhkan sekitar 1 juta tahun untuk gelas tersebut larut 10% dalam air. Sesudah pengisian kedalam silinder, penutup di las pada silinder. Silinder kemudian dicuci. Setelah diperiksa untuk kontaminasi eksternal, silinder baja disimpan, biasanya dalam tempat penyimpanan bawah tanah. Dalam bentuk ini, produk limbah diharapkan tidak mobil untuk jangka waktu lama (beberapa ribu tahun)

Gelas dalam silinder biasanya hitam berkilat. Semua pelaksanaan (di Inggris) dilakukan menggunakan sistem sel panas. Gula ditambahkan untuk mengontrol bahan kimia ruthenium dan untuk menghentikan pembentukan RuO₄ yang mudah menguap yang mengandung radioruthenium. Di Barat, gelas yang digunakan adalah dari gelas silikat (serupa dengan *Pyrex*), sementara blok Soviet biasanya menggunakan gelas fosfat. Jumlah produk hasil fisi dalam gelas harus dibatasi sebab beberapa unsur (paladium, grup lain logam Pt, dan tellurium) bertendensi membentuk fasa logam yang terpisah dari gelas. Di Jerman pabrik vitrifikasi digunakan, yang mengolah limbah dari reproses skala kecil, namun telah ditutup.

Pada tahun 1997, dari 20 negara di dunia, yang terhitung mempunyai pembangkit tenaga listrik, kapasitas penyimpanan bahan bakar yang dihabiskan pada reaktor sekitar 148.000 ton, dengan 59% telah digunakan, Meskipun demikian sejumlah pembangkit tenaga nuklir di negara-negara yang tidak memproses ulang telah mengisikan bahan bakar sisanya pada kolam, dan disortir lagi untuk AFRS (*Away From Reactor Storage*). Kapasitas AFRW pada tahun 1997 adalah 78.000 ton, dengan 44% digunakan, dan tambahan tahunan sekitar 12.000 ton. AFRS tidak dapat diperluas selamanya, dan waktu yang diperlukan untuk tempat pembuangan final, terbukti tidak dapat diprediksi.

Pada tahun 1989 dan 1992, Perancis melakukan *commissioning* pada pabrik komersial untuk vitrifikasi. HLW dari bahan bakar oksida yang di reproses, meskipun ada fasilitas cukup ditempat lain, dengan catatan di Inggris dan Belgia, kapasitas dari pabrik

di Eropa barat adalah 2.500 *canister* (1.000t) per tahun, dan beberapa diantaranya telah beroperasi selama 18 tahun.

Synroc

Synroc (*syntetic rock*) Australia adalah bahan lebih canggih untuk imobilisasi *waste*, dan proses ini bisa datang untuk penggunaan komersial pada limbah sipil (biasanya dikembangkan) dari limbah militer US). *Synroc* mengandung mineral tipe *pyrochlore* dan *cryptomelane*. Bentuk asli dari *Synroc* (*Synrock C*) didesain untuk limbah cair dengan tingkat radiasi tinggi (rafinat PUREX).

Mineral utama pada *Synroc* adalah *hollandite* (BaAl₂Ti₆O₁₆), *zirconolite* (CaZrTi₂O₇) dan *perovskite* (CaTiO₃), *Zirconolite* dan *perovskite* adalah tuan rumah untuk *actinide*. Strontium dan Barium akan dilekatkan pada *perovskite*. Caesium dilekatkan pada *hollandite*. *Synroc* di perkenalkan oleh Prof Ted Ringwood (*a geochemist*) pada Universitas Nasional Australia.

PERANAN TEKNOLOGI MAGNET DAN KEMAGNETAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH

Diawali dengan pembuatan generator listrik yang memanfaatkan magnet dan kumparan kawat, teknologi magnet dan kemagnetan dimanfaatkan untuk berbagai bidang kegiatan, antara lain: bidang medis (kedokteran), biologi, industri (elektronika dan instrumentasi, pertambangan mineral, minyak dan gas bumi serta energi), hingga lingkungan, dimana teknologi pengolahan limbah menjadi kegiatan dominannya.

Obyek utama dalam pengolahan limbah adalah mereduksi atau memisahkan kontaminan atau bahan pengotor pada limbah yang dikeluarkan dari suatu proses produksi atau penggunaan bahan atau barang, dan mengeluarkan serta membuang limbah yang berupa bahan yang tidak dapat dimanfaatkan lagi oleh kegiatan tersebut, karena tidak ada nilainya. Bahan ini harus dibuang ke lingkungan dengan syarat tidak merusak lingkungan

Teknik separasi kontaminan terutama yang berbahaya pada lingkungan dilakukan dengan berbagai cara, seperti pengendapan, penyaringan, penguapan, ekstraksi, serta pengubahan dalam bentuk lebih bernilai dengan reaksi, insinerasi, termasuk pemisahan dengan penggunaan bahan magnet, elektromagnet dan sistem kemagnetannya.

Sejak tiga dasa warsa yang telah dilewati, penelitian tentang pengolahan limbah menggunakan bahan magnet, elektromagnet serta sistem kemagnetan telah banyak dikembangkan bahkan diaplikasikan secara komersial.

Peranan magnet dan kemagnetan dalam pengolahan limbah meliputi beberapa obyek kegiatan antara lain pemurnian air, pengolahan air limbah (limbah encer, koloid, maupun suspensi), pengolahan limbah padat (serbuk, curah) dan pengolahan gas buang (debu logam dan uap). Adapun berbagai jenis kontaminan yang diolah, meliputi bahan inorganik (logam dan bukan logam), serta bahan organik termasuk minyak dan bahan berbahaya. Sesuai dengan perubahan kondisi limbah yang diolah, maka dampak yang ditimbulkan terjadi pada proses pembentukan kerak, kristalisasi, pengendapan, korosi, emulsi, dan dari sisi biologi dapat mengintensifkan desinfektan, menghambat pertumbuhan algae, serta mematikan bakteri dan virus.

Limbah radioaktif memerlukan penanganan khusus dalam pengolahannya, dan nampaknya magnet serta elektromagnet memberi kontribusi dalam pengolahan limbah radioaktif ini.

Pemurnian Air dan Pengolahan Air Limbah

Air bersih dibutuhkan sebagai air minum, air proses, air pendingin atau pemanas, dan air untuk pembuatan uap di *boiler*. Magnet permanen maupun elektromagnet dari hasil penelitian dinyatakan dapat membersihkan logam berat, mengurangi kesadahan, mempengaruhi kristalisasi, menghambat pembentukan kerak, serta mencegah korosi. Peranan lain dari medan magnet/elektromagnet yang dilewatkan pada limbah adalah menghambat pertumbuhan *algae*, bakteri, virus, dan benih. Beberapa paper menyebutkan, dari air bersih yang diolah menggunakan magnet dapat mempercepat tumbuhnya kecambah.

Berbagai peralatan pengolah limbah dengan magnet terutama untuk pemurnian air dan pengolahan air limbah banyak ditawarkan oleh produsen alat pengolah limbah. Diantara sejumlah referensi tentang pengolahan air dan air limbah diberikan dalam daftar literatur [4-9].

Penghilangan Senyawa Fosfor (P) dan COD

Kemungkinan medan elektromagnet (*EMF*) mempengaruhi intensifikasi penghilangan senyawa fosfor (P) dan COD dari limbah domestik telah diteliti. Dampak *EMF* sebagai faktor pengintensifan unsur pada sistem baja yang membatasi konsentrasi polutan pada limbah yang telah diolah telah dianalisis. Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap pada sistem statik dan skala laboratorium. Ketergantungan signifikan antara jenis sistem waktu yang digunakan pada intensitas fluks medan elektromagnet dan efektivitas polutan yang dibatasi diamati. Kondisi paling efektif adalah sistem dengan kombinasi pengisian baja secara simultan dan dibawah fluks elektromagnet dengan intensitas $O = 100 \text{ iWb}$ dan $O = 135 \text{ iWb}$. Dalam hal waktu reaksi

48 jam untuk penghilangan dari sistem, seluruh fosfor sebagai P-PO₄ pada limbah yang telah diolah. Teknologi ini sangat efektif untuk P dan COD [10].

Pengkondisian Lumpur setelah Fermentasi Anaerobik

Kelayakan medan magnet diuji sebagai suatu faktor yang dapat mempengaruhi intensifikasi kondisi lumpur (*sludge*) pada eksperimen lumpur sesudah proses digestasi anaerobik yang digunakan dari unit pengolahan limbah domestik. Lumpur yang telah difermentasi diambil langsung dari tangki fermentasi. Percobaan dilakukan pada tiga fasa, skala laboratorium. Dosis yang berbeda untuk klorida besi, hidrogen peroksida, dan reagen Fenton digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat lumpur sebagaimana juga efek medan magnet konstan pada parameter pengkondisian yang ditentukan. Ketergantungan langsung ditemukan diantara dosis reagen dan cara memasukkan lumpur pada zona aktivitas magnet sebagaimana halnya pada parameter fisik dan kimia lumpur yang dipersiapkan [11].

Pemisahan Bahan Organik dari Air Limbah

Magnet selain dapat digunakan untuk memisahkan bahan inorganik, ternyata dapat pula memisahkan bahan organik. Pada salah satu hasil penelitian disebutkan air limbah yang mengandung dekana dapat dipisahkan dari limbahnya. Beberapa paper tentang limbah minyak pelumas, dapat direklamasi menggunakan magnet dengan menghilangkan logam serta bahan kontaminan organik tertentu,

Filtrasi magnetik telah diketahui lama reputasinya untuk separasi cepat dan efisien dialam praktek di lingkungan industri. Meskipun demikian untuk separasi bahan petrokimia dari air membutuhkan pengembangan ekstraktan magnetik yang dapat menjerap dan memagnetisasi komponen organik. Telah diinvestigasi beberapa pendekatan untuk preparasi ekstraktan magnetik, termasuk karbon aktif/*magnetite* atau komposit nikel ferit dan besi dilapis polimer serta serbuk feri oksida.

Testing dengan larutan dekana/air telah didemonstrasikan bahwa ekstraktan ini dapat mereduksi konsentrasi dekana dengan cepat dari 104 *ppm* menjadi dibawah tingkat rendah *ppb*. Dalam hal hematite dilapis (*polydimethylsloxane*), PDMS, konsentrasi dekana tereduksi hingga dibawah 1 *ppb*.

Filtrasi magnetik ditemukan mempunyai potensial yang signifikan untuk pemisahan minyak atau *VOC* dari air dan untuk memecah emulsi minyak dalam air [12].

Berikut filtrasi magnetik mengurangi minyak dari 500 *ppm* menjadi 2 *ppm*. Metode absorpsi yang berhasil

ini dapat memberi sifat pada minyak pertama diemulsikan dalam suatu bentuk ionik, suatu pendekatan yang tak dapat digunakan untuk hidrokarbon normal. Jika pendekatan yang sama diaplikasikan untuk 3.000 ppm minyak berat-B dalam emulsi air, maka pada akhir konsentrasi minyak berkurang menjadi 57 ppm [13].

Alat pengolah magnetik yang bekerja dengan magnet permanent atau elektromagnet dapat digunakan dalam lingkungan perminyakan terutama kegiatan perolehan minyak, yaitu untuk menyelesaikan permasalahan yang disebabkan oleh pembentukan emulsi, pengendapan garam, aspal dan senyawa parafin. Medan magnet memberi pengaruh pada sifat sistem air, yaitu merubah struktur, densitas, kekentalan, titik beku, tegangan muka, aktivitas korosi, konduktivitas, solubilitas garam dan faktor pH [14].

Pencegahan Pertumbuhan Algae, Bakteri, Virus dan Benih

Magnetite, ferrite umum, adalah adsorben kuat yang telah digunakan dengan sukses untuk menghilangkan bahan organik dan bahan biologi seperti *algae*, bakteri, virus, dan benih dalam air [15].

Ribuan alat *Magnetic Water Conditioner* dewasa ini digunakan untuk melayani bangunan berbagai ukuran, rumah dan hotel, gedung sekolah, gedung militer dan lain-lain. Unit alat tersebut melindungi keseluruhan sirkuit instalasi air dingin/panas dari pembentukan kerak dan korosi. Pada operasi ini, *algae* yang tumbuh normal pada pendingin udara terbuka dan kolam renang, cepat mati dibawah pengaruh magnet pada pengolahan [16-18]

Memisahkan Kontaminan Radioaktif pada Limbah Cair, Padat dan Gas

Limbah radioaktif dewasa ini banyak mendapat perhatian dan ditakuti oleh banyak pihak karena radioaktivitasnya dikhawatirkan memberi dampak besar kepada kerusakan lingkungan, keselamatan dan kesehatan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mereduksi dan memperbaiki kualitas limbah sebelum dibuang atau disimpan ditempat yang aman.

Dari US *patent* April 4, 2006, telah ditemukan suatu fasilitas pengolahan limbah untuk solidifikasi limbah radioaktif, yang dihasilkan dari fasilitas penanganan bahan radioaktif seperti pembangkit tenaga nuklir, pabrik pemrosesan ulang bahan bakar, dan sebagainya. Penemuan yang diperoleh adalah tentang fasilitas pengolahan air limbah yang dapat melakukan proses solidifikasi dengan injeksi dan kneading dengan fasilitas tunggal, dan mengurangi timbulnya sejumlah limbah radioaktif sekunder [19].

PTLR (Pusat Teknologi Limbah Radioaktif), suatu unit organisasi di bawah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) telah melakukan berbagai penelitian,

diantaranya menyatakan zeolit dapat digunakan dalam pengolahan limbah industri dan limbah nuklir. Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Mineral zeolit mempunyai struktur *framework* tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, *molecular sieving* dan katalis

Suatu metode yang sederhana dan cepat telah dikembangkan pada separasi dan pemurnian plutonium dari limbah padat analitik. (mengandung uranium, plutonium, nikel dan *grafit*) yang ditimbulkan selama analisis yang dilakukan pada bahan bakar nuklir pada kandungan oksigen dan nitrogen dengan teknik fusi gas inert. Metode berdasar pada pemecahan grafit di *krus*, pemisahan dengan magnet pada *alloy* plutonium-nikel, pelarutan dalam asam nitrat dan pemurnian plutonium dengan penukar ion. Perolehan plutonium lebih tinggi dari 98%. Metode ini dapat dikembangkan untuk perolehan material berharga dari limbah analitik [20].

Suatu metode dan sistem pemisahan, pengumpulan dan isolasi elemen logam radioaktif dari tingkat rendah, kering, padat limbah nuklir bukan logam yang termasuk degradasi secara fisik limbah tingkat rendah dengan mencabik atau menggilingnya kedalam betuk potongan kecil, menggambarkan *bulk waste* dalam aliran limbah, membombardir aliran limbah dengan energi *microwave* pada pengolahan frekuensi seleksi awal aliran limbah pada waktu bervariasi medan magnet, menyebabkan partikel radioaktif menyebar dari limbah bulk dan mengumpulkan partikel radioaktif dalam ukuran mikron yang terpisah. Metode dan sistem yang ditampilkan diselenggarakan untuk biaya rendah, bukan sistem kompleks untuk pemisahan partikel yang konduktif radioaktif dari limbah bahan non metalik yang diperlukan, kering, berdaya nuklir tingkat rendah, menghasilkan buangan yang aman untuk lingkungan sebesar 95 hingga 99% volume dari limbah process nuklir, yang sangat mengurangi volume limbah nuklir yang harus disimpan dengan aman [21].

Penemuan secara umum sehubungan dengan dekontaminasi air, dan lebih khusus, untuk suatu metode menghilangkan logam berat dan aktinida dari air terkontaminasi menggunakan resin polimer *magnetic*. Suatu metode untuk preparasi resin, tentang resin sendiri, dan suatu metode untuk regegerasi dan penggunaan kembali resin polimer *magnetic*. Limbah dihasilkan oleh pemerintah dan industri sebagai hasil dari kegiatan proses/siklus bahan bakar nuklir, pengembangan senjata nuklir dan produksi dan proses industri lain yang umum termasuk air terkontaminasi dengan berbagai logam berat dan material radioaktif termasuk sejumlah kecil actinide.

Metode dekontaminasi air yang biasa digunakan dewasa ini berdasar dua tipe : 1) pengenceran maksimum,

dan 2) konsentrasi maksimum berikut menghilangkan kontaminan.

Pengenceran maksimum dilakukan dengan menambah bahan *inert* sebanyak-banyaknya sebelum dibuang ke lingkungan, sementara konsentrasi maksimum umumnya dilakukan dengan berbagai proses misalnya adsorpsi, penukar ion, pengendapan secara kimia, flokulasi, filtrasi, dan penahanan biologi [22].

USA dewasa ini mengembangkan proses pengolahan limbah nuklir, dengan cara mengurangi volume limbah nuklir tingkat radiasi rendah pada tempat-tempat limbah nuklir di US melalui proses reduksi limbah nuklir (*NWR*), suatu proses yang menggunakan rangsangan gelombang mikro dan suspensi magnet untuk menghilangkan unsur-unsur radioaktif dari unsur-unsur bukan radioaktif.

Proses dilakukan dimana sistem *input* untuk limbah *grade* rendah dalam satu dari dua bentuk, drum standart 55 galon dan *bulk* umpan yang disortir awal. Limbah *discan* dengan sistem sensor pertama dimana menghilangkan semua limbah cair, limbah *grade* tinggi, dan limbah yang tidak biasanya berukuran besar. Sistem gelombang mikro secara khusus diputar untuk mengionkan masing-masing unsur radioaktif. Kolibrasi spesifik tergantung kepada tipe limbah *grade* rendah yang diproses. Sistem pemisah *magnetic* terdiri atas empat subsistem, yaitu sistem stabilisasi elektromagnet, sistem elektromagnet berputar, sistem pulsa magnetik, dan sistem penyaring magnetik. Proses ini adalah solusi untuk berbagai problema yang sekarang mengganggu masyarakat dengan pembuangan limbah rumah sakit, dan industri, ban bekas, asbestos dan PCB.

Penyelidikan menunjukkan efisiensi bagian plant yang diteliti, misalnya Zn (tipe PB, Zn), lebih dari 99,9965% partikel dapat ditangkap kembali pada sistem *filter*, untuk unsur radionuklida yang diteliti (Am, Ba, Co, Cs, Nb, Zr), penahanan bahkan lebih baik lagi. Hasil debu dan abu terbang dalam reaktor tergantung pada parameter spesifik di plant, dan hanya pengukuran yang dapat mengeliminasi ketidakpastian unsur-unsur yang mengalir di unit-unit. Untuk memperbaiki model, pengukuran kondensasi logam yang spesifik pada partikel dan transport abu terbang seyogyanya dilakukan. United States Patent 6032881 [23].

Magnet permanen (PMs) pada Laser bebas elektron (*FELs*) dapat mengganti berbagai elektromagnet (EM) dua kutub, empat kutub, dan enam kutub pada *FEL beamline* dan linear colider empat kutub. *PM beamline* optik memberi beberapa keuntungan melalui Ems. Alat ini lebih kompak, tidak membutuhkan tenaga, dan tidak membutuhkan air pendingin. Dengan tambahan kekuatan *quadrupole* yang dapat diatur memberikan ketepatan irama garis pusat magnetik. Medan tinggi pada ujung kutub (1,5 T pada *dipole* dan 1,2 T pada *quadrupole*) dapat diperoleh dengan mudah. Teknologi PM membuka kemungkinan desain baru dan membuat PM dua kutub dengan medan tinggi, mengukur

profil medan dengan prediksi hingga 10 ppm. PM *quadrupole* yang kompak juga didesain dan dibuat. Pengukuran kekuatan medan, profil aksial, irama pusat garis magnet dan kapasitan suhu sebagai kompensasi kekuatan dan perubahan garis pusat sesuai dengan prediksi [24].

Suatu metode dan sistem yang meliputi pemisahan, pengumpulan dan isolasi elemen logam radioaktif tingkat rendah, kering, padat. Limbah nuklir bukan logam yang termasuk limbah tingkat rendah ini, diperoleh dengan cara mencabik atau menggilingnya kedalam bentuk potongan kecil atau limbah curah (*bulk waste*) dalam aliran limbah, selanjutnya membombardir aliran limbah dengan energi *microwave* dengan frekuensi terseleksi dan pada waktu bervariasi dengan medan magnet, yang menyebabkan partikel radioaktif menyebar dari limbah curah dan mengumpulkan partikel radioaktif dalam ukuran mikron yang terpisah. Metode dan sistem yang ditampilkan ini diselenggarakan dengan biaya rendah, karena bukan sistem kompleks untuk pemisahan partikel yang konduktif radioaktif dari limbah bahan non metalik yang diperlukan, kering, berdaya nuklir tingkat rendah, menghasilkan buangan yang aman untuk lingkungan sebesar 95 hingga 99% volume dari limbah proses nuklir. Dengan demikian sangat mengurangi volume limbah nuklir yang harus disimpan dengan aman [25].

Telah didemonstrasikan bahwa campuran valensi senyawa oksida besi atau *ferrite*, adalah efektif dalam menghilangkan logam berat dan suspensi padatan dari media air. Dari struktur kimia yang unik, *ferrite* bisa mengandung satu atau lebih atom besi yang mampu diganti oleh ion material lain.

Karakteristik *ferrite* yang bermagnet kuat, secara khusus cocok untuk aplikasi yang berhubungan dengan dekontaminasi air limbah [26-31].

Ferrite juga telah didemonstrasikan efektif dalam penghilangan aktinida (*thorium*, uranium, plutonium, dan *americium*) dari air limbah yang ditimbulkan dari fasilitas produksi senjata nuklir. *Ferrite* yang menghilangkan aktinide dapat dikerjakan menggunakan beberapa teknik berbeda termasuk pencampuran *ferrite* yang dipreparasi dengan air limbah, dan preparasi *ferrite in situ* dengan larutan limbah [32-35].

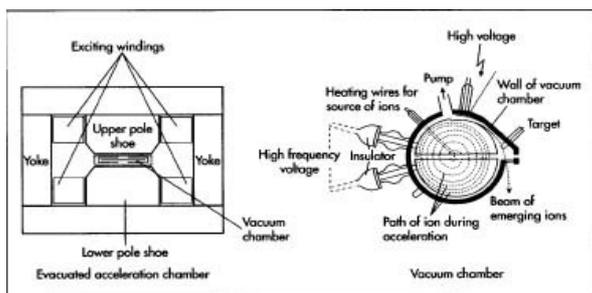
Pendekatan berbeda untuk dekontaminasi air limbah adalah penggunaan resin penukar ion. Resin jenis *polyamine epichlorohydrin* adalah resin penukar ion dengan efektivitas lemah ditampilkan sekitar tiga puluh tahun yang lalu. Resin penukar ion organik biasanya dipakai pada pengolahan air limbah secara kimia yang berasal dari baik industri maupun sumber limbah umum. Riset ekstensif telah diusahakan untuk mengembangkan resin penukar ion organik yang cocok untuk menjerap kontaminan berupa partikel organik maupun inorganik. Meskipun demikian resin penukar ion organik tidak terlalu efektif untuk menghilangkan aktinida dari air, khususnya sejak

spesies polimer tak bermuatan dapat di masukkan dalam air [36].

Cyclotron modern menggunakan D-shape Elektroda dalam vakum diantara kutub elektromagnet. Suatu *voltase AC* frekuensi tinggi digunakan pada tiap elektroda. Pada ruang diantara elektroda suatu sumber ion menghasilkan baik ion positif maupun negatif tergantung konfigurasinya. Ion-ion ini dipercepat pada salah satu elektroda oleh atraksi elektrostatis, dan ketika arus bolak-balik berubah dari positif ke negatif, gerakan ion ke elektroda dipercepat. Karena kekuatan medan magnet, ion berpindah dalam jalur atau garis sirkular.

Setiap kali ion berpindah dari suatu elektroda ke elektroda lainnya mereka memperoleh energi, radius rotasinya bertambah, dan menghasilkan suatu orbit spiral. Percepatan berlanjut hingga mereka keluar dari elektroda. Partikel yang dipercepat akan terekstrak dari *cyclotron* ketika mencapai akhir garis percepatan spiral. Balok percepatan partikel subatomik dapat digunakan untuk membombardir berbagai bahan yang ditargetkan untuk menghasilkan isotop radioaktif.

Penyelidikan menunjukkan efisiensi bagian plant yang diteliti, misalnya Zn (tipe PB, Zn), lebih dari 99,9965% partikel dapat ditangkap kembali pada sistem *filter*, untuk unsur radionuklida yang diteliti (Am, Ba, Co, Cs, Nb dan Zr) penahanan bahkan lebih baik lagi. Hasil debu dan abu terbang dalam reaktor tergantung pada parameter spesifik di plant, dan hanya pengukuran yang dapat mengeliminasi ketidakpastian unsur-unsur yang mengalir di plant. Untuk memperbaiki model, pengukuran kondensasi logam yang spesifik pada partikel dan transport abu terbang seyogyanya dilakukan [37].



Mencegah Korosi

Studi pengaruh magnetik pada kontrol korosi menunjukkan bahwa pengolahan secara magnetik dapat mencegah kecepatan korosi *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, menguji pengolahan air dengan magnet pada pengolahan air secara kimia terhadap kecepatan korosi pada baja yang ditempatkan pada sistem air. Hasil yang dilaporkan sangat baik, dimana kecepatan korosi dari 1 – 50 mils per tahun jika menggunakan inhibitor, sementara kecepatan korosi

0,0 mils pertahun terjadi jika menggunakan pengolahan magnetik.

Raisen, E juga menyatakan bahwa unit magnetik yang digunakan pada pengujiannya sangat efektif dalam mengontrol kerak dan korosi dalam sistem air. Sistem ini dapat diaplikasikan pada kondensor, AC yang besar, evaporator pada pabrik gula, pendingin pada pabrik kimia yang besar, dan boiler atau pembangkit steam. Dalam operasinya alat tersebut dilaporkan menghemat waktu, biaya, dan umur peralatan [38-41].

Memperngaruhi Pembentukan Koagulan dan Pertumbuhan Kristal dan Kerak

Berdasarkan hasil analisis dan literatur teknik pada pengolahan air dengan magnet, metode ini memberikan hasil yang baik, seperti mengeliminasi kerak, mengontrol beban kontaminan, mereduksi deposit garam, intensifikasi proses koagulasi dan kristalisasi, memperbaiki fungsi bakteri pada desinfektan, mempercepat difusi *reagent*, menaikkan efisiensi resin penukar ion, menghilangkan partikel halus pada pemurnian air daur ulang, ekstraksi logam berharga, mempercepat pengerasan semen, dan menaikkan densitas serta kekuatan cetakan [42].

Meskipun dari pengalaman tentang teknologi air dan kinerja inkonsisten pada pengujian lapangan ada beberapa evaluasi merugikan, namun berbagai alat pengolah limbah menggunakan magnet permanen telah dipromosikan untuk pecegahan kerak (*scale*) dan deposit. *Baylor Water Research Group* melaporkan suatu yang fundamental terjadi jika air disirkulasikan tidak hanya melalui medan magnet, tetapi juga alat magnetik pengolah air, dimana sifat air mengalami perubahan. Manfaat potensial fenomena ini adalah menurunkan kebutuhan energi, konservasi air, mengurangi atau mengeliminasi umpan bahan kimia, dan kontrol kebutuhan, serta mengurangi polusi [43-46].

Kecelakaan Disebabkan oleh Limbah Radioaktif

Sejumlah insiden telah terjadi ketika material radioaktif dibuang pada kondisi tidak bersih, pelindung selama transpor rusak, atau jika telah diserahkan atau bahkan dicuri dari penyimpanan limbah.

Di negara Soviet, suatu negara yang mempunyai pengalaman teknik tingkat tinggi dan pengalaman dengan isu tentang nuklir, limbahnya yang disimpan di danau Karachay menimbulkan bencana ketika debu radioaktif di danau yang telah kering dihembus badai pada seluruh areanya.

Skenario dari material radioaktif yang ditinggalkan menyebabkan terjadinya radiasi yang terekspose, terutama di negara berkembang, yang biasanya kurang peraturan tentang bahan berbahaya, dan barang serta sisa logam (*scrap metal*) di pasar. Para perancang dan

pembeli material hampir selalu tidak peduli bahwa bahan sebenarnya radioaktif, dan diseleksi untuk estetika dan barang tidak bernilai.

Beberapa yang peduli tentang radioaktivitas, namun tidak menghiraukan resiko, atau percaya bahwa yang berharga telah menjadi berbahaya. Pemilik yang tidak bertanggung jawab pada material radioaktif, biasanya rumah sakit, universitas, atau militer, dan absennya peraturan tentang limbah radioaktif, atau kurangnya tekanan pada banyak peraturan, menjadi faktor signifikan terjadinya radiasi terbuka.

Untuk detail sisa radiasi, bisa dilihat kecelakaan di Goiania. Kecelakaan transportasi termasuk pengosongan bahan bakar nuklir dari pabrik pembangkit tenaga adalah tidak diinginkan, mempunyai konsekuensi serius karena kekuatan sisa bahan bakar nuklir yang dikapalkan dalam bentuk tong kecil.

KESIMPULAN

Mengolah limbah saat ini sudah menjadi kewajiban produsen limbah dalam partisipasinya menjaga lingkungan agar tetap lestari. Mulai dari individu, institusi, perusahaan, hingga pabrik harus dibangkitkan kepeduliannya terhadap bahaya yang ditimbulkan pada lingkungan, dengan mengolah limbah yang dibuang hingga mencapai syarat yang diijinkan.

Berbagai proses pengolahan limbah yang ada sering memberatkan produsen limbah karena untuk operasionalnya dibutuhkan biaya yang tidak kecil, lahan luas, dan membutuhkan berbagai peralatan dan bahan kimia yang handal.

Teknologi magnet permanen dan elektromagnet yang disusun dalam sistem tertentu menjadi alternatif lain sebagai alat pengolah limbah. Pengolahan dengan magnet dapat dikenakan untuk limbah baik fasa gas, cair, maupun padat, Sistem ini dapat dipasang pada berbagai unit operasi pabrik maupun unit pengolahan limbah. Keunggulan sistem magnet seperti tidak kontak langsung dengan bahan yang diolah, praktis tidak memerlukan bahan kimia, hanya membutuhkan lahan kecil, awet, dan biaya operasi rendah memberi harapan para produsen limbah untuk mengolah limbahnya dengan lebih intensif.

Walaupun teori dan mekanisme medan magnet saat ini masih menjadi bahan diskusi di antara para ahli, namun alat tersebut telah dirasakan manfaatnya, dan telah beredar luas di pasar dan di lapangan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. LANL, *Superconductivity for Electric Systems Program Review July 27-29*, Washington DC 5 L, (2004)
- [2]. MARSHAL and SKITEK, (1987)
- [3]. WIKIPEDIA, *the free encyclopedia*
- [4]. BARRETT R and PARSONS S A, *Water Research*, **32** (1998) 609-612
- [5]. ALLEMAN, J., *Quantitative Assessment of the Effectiveness of Permanent Magnet Water Conditioning Devices*, Purdue University. Sponsored by and protocol by Water Quality Association (1985).
- [6]. BAKER, J S. and PARSONS, S A., *Water and Waste Treatment*, **39** (1996) 36-38.
- [7]. BURGESS J E, JUDD S J and PARSONS S A., *Transactions of the Institution of Chemical Engineers (Part B)*, **78** (2000) 213 - 218.
- [8]. SCHMUTZER, M. A., and G. W. HULL, *Examination to Determine the Physical or Chemical Differences Between Untreated and Magnetically Treated Water*, United States Testing Center, Inc. Hoboken, NJ, (1969)
- [9]. STARMER J E, PARSONS S A and JUDD S J, *Magnetically-Enhanced Chemical Disinfection*, IChemE Research Event, Newcastle, April 1998, CD-Rom, (1998) 8
- [10]. M. KRZEMIENIEWSKI, M. DÊBOWSKI*, W. JANCZUKOWICZ, J. PESTA, *Electromagnetic Fields on Phosphorus and COD Removal from Domestic Wastewater in W Steel Packing Systems*, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Department of Environment Protection Engineering Institute of Environmental Engineering System, ul. Warszawska 117 A, 10-701 Olsztyn-Kortowo, Poland, (2003)
- [11]. M. KRZEMIENIEWSKI*, M. DÊBOWSKI, W. JANCZUKOWICZ, J. PESTA, *Effect of Sludge Conditioning by Chemical Methods with Magnetic Field Application*, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Environmental Sciences and Fisheries, Department of Environment Protection Engineering, Institute of Environmental Engineering System ul. Warszawska 117 A, 10-701 Olsztyn-Kortowo, Poland, (2003)
- [12]. ALLEN W. APBLETT*, SULAIMAN M. AL-FADUL, and TAREK TRAD, *Removal of Petrochemical from Water using Magnetic Filtration*, Department of Chemistry, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma
- [13]. NAGATA, E., IWAMOTO, H. and KOBAYASHI, M., *Separation of Oil and Water*, *Japan Patent*, 76111493 (1977).
- [14]. SHAIDACOV V.V., LAPTEVA B., GOLUBEV M.V. *Magnetic Apparatuses in Oil and Gas Recovery*, Ufa State Petroleum Technological University, BashNIPneft
- [15]. THOMAS E. BOYD, M. J. CUSICK and JAMES D., NAVRATIL, *Ferrite Separation Science and Technology*, *Recent Developments in Separation Science*, **8**, N. N. Li and J. D. Navratil, Eds., CRC Press, (1986) 207-232.

- [16]. VERMELREN, T., Elimination of Scale and Algae by Magnetic Treatment, *Corrosion Technology* (Belgium)
- [17]. STARMER J E, PARSONS S A and JUDD S J, *Magnetically-Enhanced Chemical Disinfection*, IChemE Research Event, Newcastle, April 1998, CD-Rom, (1998), 8
- [18]. Burgess J E, Judd S J and Parsons S A., Magnetically-enhanced disinfection of swimming pool waters, *Transactions of the Institution of Chemical Engineers (Part B)*, **78** (2000) 213 - 218.
- [19]. Radioactive waste treatment facility, *US Patent Issued on April 4*, (2006)
- [20]. Recovery of plutonium from graphite crucibles generated in inert gas/vacuum fusion technique, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **159** (1) (1992), Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+Business Media B.V., Formerly Kluwer Academic Publishers B.V.
- [21]. *United States Patent 6032881*, Process to remove radioactive elements present in bulk low-grade waste, <http://www.freepatentsonline.com/6032881.html>
- [22]. *United States Patent 6032881*, Process to remove radioactive elements present in bulk low-grade waste, <http://www.freepatentsonline.com/6032881.html>
- [23]. Process to remove radioactive elements present in bulk low-grade waste, <http://www.freepatentsonline.com/6032881.html>
- [24]. STEVE C. GOTTSCHALK^A, DAVID H. DOWELL^B and DAVID C. QUIMBY^A, Permanent Magnet Systems for Free-Elektron Lasers, ^a STI Optronics Inc., 2755 Northup Way, Bellevue, WA 98004-1495, USA, ^b Stanford Linear Accelerator Center, Mail Stop 18, 2575 Sand Hill Road, Menlo Park, CA 94025, USA
- [25]. *US Patent Issued on April 4*, Radioactive Waste Treatment Facility, (2006)
- [26]. TOSHIO TAKADA, Removal of Heavy Metal Ions from Waste Water by Ferritization, *Koga to Taisaku*, **13** (37) (1977)
- [27]. TOSHIYUKI IGUCHI, TOYOKAZU KAMURA and MASAHIRO INOUE, Ferrite Process for Treatment of Waste Water Containing Heavy Metals”, *Poll. Prev. and Dev. Tech.*, **10** (49) (1979)
- [28]. TOMIO NAGASHIMA, Removal of Hazardous Metals from Waste Water, Japan, Kokai 77 77,465 (1977)
- [29]. MASAKATU SANO, Removal of Hazardous Metals from Waste Water, Japan, Kokai 77 67,156 (1977)
- [30]. IZURU SUGANO, Removal of Hazardous Metals from Waste Water, Japan, Kokai 77 67,154 (1977)
- [31]. CHRISTOPHER DE LATOUR and HENRY KOLM, Magnetic Separation in Waste Water Pollution Control, *IEEE Trans. on Magnetics*, **11** 1570 (1975).
- [32]. THOMAS E. BOYD, ROBERT L. KOCHEN and MARLENE Y. PRICE, *Removal of Radioactive Materials from Waste Solutions Via Magnetic Ferrites*, *ANS Topical Meeting on Treatment and Handling of Radioactive Wastes*, Richland, Wash. (1982)
- [33]. ROBERT. L. KOCHEN, *Actinide Removal From Aqueous Solution with Activated Magnetite*, RFP-4100, Rockwell International, Rocky Flats Plant, Golden, Colo. (1987)
- [34]. THOMAS E. BOYD, ROBERT L. KOCHEN, *Ferrite Treatment of Actinide Waste Solutions: Continuous Processing of Rocky Flats Process Waste*, RFP-3476, Rockwell International, Rocky Flats Plant, Golden, Colo. (1983)
- [35]. THOMAS E. BOYD, ROBERT L. KOCHEN, JAMES D. NAVRATIL and MARLENE Y. PRICE, Actinide Aqueous Waste Treatment Studies Using Ferrites, *Radioactive Waste Management and the Nuclear Fuel Cycle*, **4** (2) (1983).
- [36]. C. A. FELDT and G. T. KEKISH, Weakly Basic Anion Exchange Resins, *U.S. Pat. No. 3,092,617* (1963).
- [37]. PAUL SCHERRER, ZWILAG AG, *Cyclotron*, Institut. Laboratory for Energy and Materials Cycles. CH-5236 Villigen PSI. Switzerland, ZWILAG AG. CH-5303 Würenlingen. Switzerland
- [38]. KUIVINEN, DAVID E., *Comparing Corrosion Rates of Steel Corrosion Inhibitors*, Lewis Research Center, Cleveland., National Aeronautics and Space Administration NASA
- [39]. QUINN, *Corrosion Rate Inhibited by Magnetic Water Treatment*
- [40]. RAISEN, E., PhD., *The Control of Scale and Corrosion in Water Systems Using Magnetic Fields.*, Paper #117, CORROSION, from “Magnetic Water Treatment” by Quinn
- [41]. REIMERS, R.S., DE KERNIOR, P.S., CULIEPIER, V.C., *Corrosion Control*, A study of the influence of magnetics on corrosion control showed that magnetic treatment inhibits the rate of corrosion. Tulane University
- [42]. STEVOICH, V.A., LIEBHOLD, K., HIBBEN, S.G., *Alteration of Water Properties by Magnetic Fields*, Air Force Office of Scientific Research, Advanced Research Projects Agency of the United States Department of Defense, Arlington, Virginia, USA.
- [43]. FEDOTKIN, L.M., *Energetika I Electrifikasia*, **5**, 42
- [44]. Carleton University, Ottawa Canada
- [45]. DR. MISHECK G. MWABA and DR. JUNJIE GU, Department of Mechanical and Aerospace engineering, Laboratory Studies Involving Magnetic
- [46]. WATER BUSH, K.W., BUSCH M.A., PARKER, D.H., DARLING R.E., MCATEE, J.L., Jr., *Treatment Devices*, Paper #251, Corrosions '85, (1985)