



# PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH *TENORM* DARI INDUSTRI MINYAK DAN GAS BUMI

Sucipta

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

## ABSTRAK

PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH *TENORM* DARI INDUSTRI MINYAK DAN GAS BUMI. Limbah *Technically Enhanced Naturally Occurred Radioactive Materials (TENORM)* yang berasal dari industri/pertambangan minyak dan gas bumi, wajib dikelola agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan masyarakat. Tahapan pengelolaan yang harus dilakukan meliputi inventarisasi, identifikasi, pengangkutan, *on-site* dan atau *off-site treatment*, pewadahan, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari. Dalam makalah ini hanya akan dibahas tentang penyimpanan lestari limbah *TENORM*. Arahan *International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan pengalaman dari beberapa negara maju dalam penyimpanan lestari limbah *TENORM* bisa dikaji untuk dikembangkan dan diterapkan di Indonesia. Dengan hasil kajian tersebut maka diharapkan masalah penyimpanan limbah *TENORM* dapat ditangani dengan baik, yang dilandasi dengan karakterisasi tapak, desain pewadahan, fasilitas *disposal* dan pengkajian keselamatan yang memadai. Dengan konsep yang optimal maka bisa diterapkan di masa mendatang untuk mendukung program industri nasional yang menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan.

## ABSTRACT

*DISPOSAL FOR TENORM WASTE FROM OIL AND GAS INDUSTRY. Technically Enhanced Naturally Occurred Radioactive Materials (TENORM) waste, mainly originated from petroleum industry/mining, must be managed to protect the environment and the public from contamination and damage. The steps of the management of TENORM waste include identification, inventory, transport, on-site and or off-site treatment, packaging, storage and disposal. This paper would only explain about disposal for TENORM waste. IAEA recommendation and the experiences of TENORM waste disposal from various advance countries could be assessed to be developed and applied in Indonesia. For this reason there is needed an effort to solve the problem in Indonesia by an appropriate disposal system development which suitable with the wastes and the sites. Based on the results of the study, the problem of waste emplacement could be solved well, based on site characterization, package design, disposal and an appropriate safety assessment. Finally, by finding the optimum concept could be applied in the future to support the national industry program which assure the public and environmental safety.*

## PENDAHULUAN

*Naturally Occurred Radioactive Materials (NORM)* atau *Technologically Enhanced of Naturally Occurred Radioactive Materials (TENORM)* adalah material yang bersifat radioaktif dalam wujud fisik alamiahnya (bukan buatan manusia). *NORM* meliputi unsur uranium, thorium, radium, radon dan produk anak luruhnya. *NORM* dapat berasosiasi dengan produksi minyak dan gas bumi. *TENORM* secara tipikal terkonsentrasi dalam produk korosi, *scale* (kerak), atau endapan, bukan dalam bentuk produk berwujud cairannya sendiri. Tempat-tempat keberadaan *TENORM* adalah [1] :

1. Kerak dalam tabung bawah permukaan (*downhole tubing scale*);
2. Peralatan proses di atas permukaan (*above ground processing equipment*);
3. Sumur pembuangan/injeksi air garam dan peralatannya;
4. Tanah terkontaminasi oleh *well workovers*, pembersihan tangki, kebocoran air garam, pembersihan pipa, dan pekerjaan lain yang berhubungan.

Limbah *TENORM* yang berasal dari industri/pertambangan minyak dan gas bumi, harus dikelola agar tidak mencemari lingkungan dan membahayakan masyarakat. Tahapan pengelolaan yang harus dilakukan meliputi inventarisasi, identifikasi, pengangkutan, *on-site* atau *off-site treatment*, pewadahan, penyimpanan sementara dan penyimpanan lestari (*landfill/disposal*). IAEA telah mempublikasikan arahnya tentang proteksi radiasi dan pengelolaan limbah *TENORM* dari industri minyak dan gas bumi [2]. Beberapa negara maju telah berpengalaman dalam melakukan pengelolaan limbah *NORM-TENORM*, mulai dari inventarisasi hingga pengoperasian *landfill*. Pengalaman dari negara-negara maju tersebut bisa dikaji untuk dikembangkan dan diterapkan di Indonesia untuk memecahkan masalah limbah tersebut dengan pengembangan sistem penyimpanan lestari (*disposal / landfill*) yang memadai sesuai dengan kondisi limbah dan tapak.

Dengan *disposal* atau *landfill* tersebut maka diharapkan masalah penyimpanan limbah *TENORM* dapat ditangani dengan baik, yang dilandasi dengan karakterisasi tapak, desain pewadahan, fasilitas *disposal* atau *landfill* dan pengkajian keselamatan yang memadai. Dan akhirnya setelah ditemukan konsep yang optimal akan bisa diterapkan di masa mendatang untuk mendukung program industri nasional yang dapat menjamin keselamatan masyarakat dan lingkungan.

## METODE

Kajian tentang penyimpanan lestari limbah *TENORM* dilaksanakan dengan studi literatur dan studi kasus yang diuraikan secara deskriptif yang disesuaikan dengan aspek biaya, waktu dan aksesibilitas. Beberapa data primer dan sekunder keberadaan limbah *TENORM* di lingkungan industri minyak dan gas bumi ditelusuri sebagai bahan pertimbangan untuk kajian.

Pengkajian tentang penyimpanan limbah *NORM-TENORM* ini dilaksanakan dengan metode deskriptif dengan ruang lingkup meliputi studi pustaka, penyusunan kriteria tapak *disposal / landfill*, aspek teknologi, keselamatan lingkungan, serta analisis hasil studi dan penyusunan laporan.

Rancangan dan langkah-langkah yang dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut: 1) Kriteria tapak dan disain *disposal / landfill* ditentukan dan disusun berdasarkan ketentuan *IAEA* dan pendapat para pakar; 2) Data dan informasi tentang aspek tapak, teknologi, keselamatan *storage* dan *landfill* ditelusuri dan dikumpulkan dari berbagai pustaka; 3) Data dan informasi tersebut dievaluasi dan digunakan sebagai dasar pengkajian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengukuran Daerah Kerja dan Inventarisasi Limbah *TENORM*

Beberapa perusahaan minyak dan gas bumi di Indonesia yang memiliki potensi limbah *TENORM* yang menjadi obyek kajian meliputi PT. COPI di Jambi, PT. TI Kalimantan Timur [3,4] dan PT. CPI di Riau. Selama operasi lapangan dan pangkalan tersebut telah ditimbulkan limbah padat dan cair yang kuantitasnya signifikan. Sebagai tambahan, limbah yang lain (umumnya padat) telah ditimbulkan dari aktivitas dekontaminasi dan dekomisioning, rehabilitasi fasilitas produksi dan pengelolaan limbah. Limbah tersebut mengandung bahan radioaktif alam (*NORM*). Tergantung pada konsentrasi aktivitasnya, limbah tersebut dapat memberikan

dampak radiologi terhadap para pekerja dan masyarakat apabila limbah tersebut tersebar ke lingkungan.

Beberapa macam limbah NORM yang timbul selama operasi industri minyak dan gas bumi, khususnya selama dekontaminasi fasilitas atau peralatan, meliputi :

1. *Sludges* dari pipa-pipa, *vessels* dan tangki-tangki;
2. Kerak (*scale*) padat yang tersuspensi dalam air;
3. Cairan yang mengandung *scale* terlarut dan bahan kimia yang digunakan untuk dekontaminasi secara kimia;
4. *Scale* padat yang berasal dari proses dekontaminasi abrasif basah atau kering;
5. Air limbah yang ditimbulkan dari pengambilan *scale* dengan cara sedimentasi dan atau filtrasi air yang digunakan untuk abrasi secara basah dengan *high pressure water jetting (HPWJ)*;
6. Filter yang digunakan untuk menangkap partikulat di udara yang dihasilkan oleh proses dekontaminasi secara abrasi kering;
7. Tanah permukaan yang tercemar bahan *sand blasting* untuk pembersihan tangki.

Hasil survey di lingkungan kerja beberapa perusahaan minyak untuk menentukan laju paparan gamma dan analisis *TENORM* untuk identifikasi kandungan radionuklida dan konsentrasi aktivitasnya, menunjukkan bahwa beberapa tapak telah terkontaminasi *TENORM*. Hal tersebut diindikasikan oleh fakta bahwa laju paparan gamma  $\geq 50 \mu\text{R/jam}$  ( $0,4 \mu\text{Sv/jam}$ ) dan konsentrasi aktivitas radionuklida  $\geq 1000 \text{ Bq/kg}$ . Keberadaan *TENORM* melebihi batas maksimum yang diijinkan (*Maximum Permissible Level*) pada sekitar daerah kerja dapat memberikan paparan radiasi potensial kepada para pekerja. Lebih lanjut maka beberapa area tempat kerja tersebut perlu dilakukan remediasi (*clean-up*).

Pekerjaan remediasi melalui beberapa tahapan yaitu penentuan *TENORM* di area yang terkontaminasi, penentuan ketebalan *TENORM* dan dekontaminasi (*clean-up*) *TENORM*. Hasil identifikasi area terkontaminasi menunjukkan bahwa pada area survey menunjukkan laju dosis lebih dari  $50 \mu\text{R/jam}$  (selanjutnya) diberi tanda dengan patok (Gambar 1). Penentuan kedalaman distribusi NORM dalam tanah dilakukan dengan alat Identifinder yang pengukurannya ditentukan berdasarkan 2 jarak vertikal dari tanah [5] (Gambar 2).

Setelah pengukuran atau penghitungan ketebalan NORM, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan *clean-up* (dekontaminasi) sebagai berikut : 1) Pengupasan dan pemindahan lapisan tanah atas (top soil) setebal 5-20 cm dengan *hoe* dan *spade*. Pemindahan dilakukan dengan *pail* dan *wheelbarrow*, yang kemudian tanah tersebut ditempatkan dalam drum 200 l yang di dalamnya dilapisi dengan plastik; 2). Untuk menjamin bahwa operasi dekontaminasi dan pendeskripsian dilakukan dengan lengkap maka langkah pengukuran harus dilakukan. Pengaruh terhadap laju dosis dari setiap langkah harus dipantau, sehingga efektivitas setiap langkah (prosedur) dalam usaha pengurangan dosis dapat dihitung.

Hasil kupasan tanah dan berbagai material lainnya diangkut ke tapak penampungan limbah *TENORM* (drum site). Setelah semua limbah terisikan dalam drum, maka selanjutnya drum ditutup dengan plastik atau aluminium foil untuk melindungi dari air hujan. Laju dosis di luar drum diukur dengan alat ukur radiasi seperti Ludlum Micro R Meter. Pada permukaan drum limbah ditempel stiker tanda radiasi khusus "LIMBAH NORM", dan dilengkapi dengan informasi tentang volume, aktivitas spesifik dan tingkat dosis permukaan.

Dalam transportasi perlu beberapa persyaratan sebagai berikut : 1) Perlu disediakan waktu 4-6 minggu untuk perencanaan hingga transportasi sampai ke tapak landfill; 2) Dokumen transportasi harus disiapkan, yang menggambarkan tentang

limbah *TENORM* dan nilai konsentrasi/aktivitasnya; 3) Pengepakan atau pewadahan yang memadai harus dilakukan untuk menghindari terjadinya kebocoran atau bahkan pecah dalam transportasi.



**Gambar 1.** Patok dan penandaan area dengan laju dosis lebih dari 50  $\mu\text{R}/\text{jam}$



**Gambar 2.** Pengukuran ketebalan tanah terkontaminasi NORM dengan identifinder

### **B. Tinjauan Metode Penyimpanan Lestari Limbah *TENORM***

Berbagai metode penyimpanan lestari limbah *TENORM* padat dan cair telah diterapkan di kalangan industri minyak dan gas bumi. Tinjauan peraturan, inspeksi, pengawasan dan pengendalian terhadap aktivitas dan metode disposal telah menunjukkan adanya kekurangan di masa lampau. Isu tentang pengelolaan limbah *TENORM*, khususnya disposal, telah teridentifikasi pada masa kini sebagai suatu area proteksi dan keselamatan radiasi yang perlu secara formal diatur oleh badan pengawas nasional.

Proses pemilihan dan pengembangan metode disposal untuk limbah *TENORM* merupakan suatu bagian yang utama dari program pengelolaan limbah radioaktif, walaupun prosesnya pada umumnya tidak dilakukan pada tingkat fasilitas produksi

individual, tetapi pada tingkat perusahaan atau asosiasinya. Suatu hal yang penting diperhatikan bahwa untuk memulai seleksi metode disposal yang optimal sebaiknya dilakukan pada fase awal kegiatan. Dalam pengembangan strategi pengelolaan limbah secara keseluruhan bertujuan untuk [2] :

1. Memaksimalkan pengurangan resiko terhadap manusia dan lingkungan dengan optimasi antara metode disposal dan efektivitas biaya;
2. Memenuhi batasan dosis okupasional dan masyarakat, serta meminimalkan dosis sesuai prinsip *ALARA*;
3. Memenuhi semua ketentuan hukum dan perjanjian nasional dan internasional yang relevan;
4. Mematuhi semua ketentuan regulasi nasional.

Metode disposal untuk limbah *TENORM* dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori sebagai berikut [2] :

1. Dilusi dan dispersal limbah ke lingkungan, contoh pelepasan cairan dan gas;
2. Pengumpulan dan pengungkungan limbah dalam fasilitas disposal yang resmi;
3. Pemrosesan limbah dengan limbah kimia lain secara insinerasi dan metode lain;
4. Disposal limbah dengan mengembalikan ke sumber asal material (reinjeksi ke dalam reservoir).

*American Petroleum Institute* [6] telah melakukan inventarisasi dan memperhitungkan biaya berbagai metode disposal limbah NORM dengan urutan dari yang paling murah ke yang relatif mahal adalah : 1) *surface spreading*, 2) *surface spreading with dilution*, 3) *burial*, 4) *industrial landfill*, 5) *licensed NORM disposal facility*, 6) *low level waste facility*, 7) *surface mine*, 8) *injection well*, 9) *plugged and abandoned well*, 10) *hydraulic fracture*, dan 11) *deep geological repository*.

NORM Waste Management Technical Committee [7] telah melakukan evaluasi dengan peninjauan literatur dan kompilasi isu-isu teknis serta operasional yang potensial sebagai pilihan dari masing-masing disposal. Komisi menyimpulkan bahwa ada 4 opsi yang secara teknis memadai untuk disposal limbah *TENORM*, walaupun ketentuan peraturan khusus terhadap opsi tersebut perlu dikembangkan, yaitu :

1. Disposal dalam sumur yang telah ditinggalkan (*abandon well*);
2. Injeksi sumur dalam (*deep well injection*);
3. Injeksi dalam lubang batuan garam (*salt cavern injection*);
4. *Landfill disposal*.

Berdasarkan studi pengkajian resiko direkomendasikan bahwa disposal limbah *TENORM* adalah *landfill disposal*, dan tidak direkomendasikan penyimpanan lestari dalam *abandon well*, *deep well injection*, dan *salt cavern injection*.

Penyimpanan lestari tipe *Shallow Land Burrial* sebagai implementasi dari *landfill disposal* sedang menjadi bahan diskusi dalam pemilihan opsi disposal, dan beberapa negara telah menerapkannya secara terbatas. Masalah remediasi dari disposal timbunan *sludge* dan *scale* mengemuka untuk dipertimbangkan. Keberadaan kontaminan non-radioaktif menjadi salah satu faktor penting yang harus dipikirkan, dan menjadikan metode disposal tersebut menjadi kurang menarik untuk dipilih bagi *sludge*. SMITH dkk [8] telah membahas tentang pengkajian radiologi disposal limbah *TENORM* dalam landfill limbah non-radioaktif. Aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan metode disposal *Shallow Land Burrial* adalah sebagai berikut [2]:

1. Pemilihan tapak yang sesuai dengan kedalaman minimum untuk penempatan limbah. Proses seleksi tapak perlu difokuskan untuk mendapatkan semaksimal

mungkin karakteristik yang diharapkan dalam rangka meminimalkan dampak dari limbah dan menjamin stabilitas jangka panjang dari fasilitas disposal. Berbagai pilihan dan keputusan final akan dipengaruhi oleh keterbatasan ekonomi, teknis dan operasional. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam proses pemilihan tapak meliputi:

- a. Antisipasi durasi penggunaan fasilitas (sementara atau selamanya);
  - b. Iklim dan meteorologi;
  - c. Hidrologi dan banjir;
  - d. Geografi;
  - e. Geologi, geokimia dan geomorfologi;
  - f. Seismisitas;
  - g. Mineralogi;
  - h. Demografi dan penggunaan lahan;
  - i. Biota;
  - j. Kemungkinan untuk dekomisioning dan sebagai disposal permanen limbah NORM.
2. Isu kontrol institusional;
  3. Stabilitas jangka panjang dari fasilitas;
  4. Pengkajian resiko untuk menentukan dampak terhadap manusia dan lingkungan, termasuk akibat jangka panjang terkait dengan kontaminasi air tanah;
  5. Kemungkinan untuk diperolehnya pengkajian resiko dan program proteksi radiasi terhadap aktivitas atau area tertentu untuk mengendalikan paparan dan membatasi penyebaran kontaminasi kepada wilayah masyarakat.
  6. Kebutuhan untuk program jaminan mutu dan dokumentasi seperti inventori limbah;
  7. Biaya transportasi dan pemenuhannya terhadap regulasi transportasi.

### C. Konsep Desain Penyimpanan Lestari Dekat Permukaan

Tujuan utama penyimpanan lestari limbah *TENORM* yang bersifat radiologis, non-radiologis dan kontaminasi campuran adalah untuk mengungkung limbah dari manusia dan lingkungan. Untuk tujuan itu maka perlu dibuat penghalang fisik yang berupa penghalang permukaan (*surface barrier*), barier insitu (*in situ barrier*) dan penghalang bawah permukaan (*subsurface barrier*).

*Surface barrier*, ditujukan untuk meminimalkan infiltrasi air permukaan ke dalam daerah tercemar, sebagai penghalang yang membatasi kontak dan intrusi langsung tanaman dan binatang, dan juga untuk membatasi intrusi oleh manusia yang tidak dikehendaki. Ada beberapa tipe yang umum digunakan untuk penghalang permukaan ini seperti penutup lapis tunggal (*single layer covers*), penutup lapis ganda rekayasa (*engineered multiple layer covers*) dan *biotic barriers*.

*In situ barrier*, dibangun secara vertikal atau horizontal di bawah permukaan tanah untuk mengungkung material terkontaminasi. Penghalang vertikal terdiri dari *trench* dengan permeabilitas rendah, tembok atau membran untuk menahan migrasi lateral, biasanya dikunci dalam lapisan dasar permeabilitas rendah yang ada secara alamiah. Penghalang horizontal dipasang di bawah zona terkontaminasi dengan teknik insitu seperti *grouting* dan pencampuran tanah (*soil mixing*).

*Surface barrier* secara sendirian mungkin tidak cukup untuk mengisolasi limbah, sehingga perlu dikombinasi dengan teknologi tertentu untuk membatasi migrasi dan paparan kontaminan. Sistem penutup dan pengendalian aliran air secara aktif seperti sistem drainase diperlukan untuk membatasi munculnya air tanah dalam zone pengungkungan limbah.

Penghalang permukaan, yang sering disebut dengan *landfill caps*, merupakan bentuk yang umum untuk remediasi beraneka tipe kontaminan sebab konsepnya mudah untuk dimengerti dan tidak mahal dalam menangani resiko akibat tapak terkontaminasi seperti paparan langsung ke manusia dan lepasnya pencemar ke lingkungan. Kegunaan penghalang permukaan adalah untuk :

- Minimalisasi paparan langsung pada permukaan baik oleh zat radioaktif maupun bukan radioaktif;
- Menahan infiltrasi air secara vertikal ke dalam zona limbah yang dapat menimbulkan pelindian material pencemar;
- Mengungkung limbah sambil menunggu pengolahan;
- Mengendalikan emisis gas dari material terkontaminasi di bawah, seperti gas radon dan *volatile organic compound (VOC)*, dan sebagai pembawa pencemar seperti Pb-210 dan Po-210;
- Membentuk permukaan lahan yang dapat menyangga vegetasi dan atau untuk keperluan lain.

Desain penghalang permukaan bersifat *site specific*, berkisar dari hanya sistem satu lapis dari tanah bervegetasi hingga sistem multilayer kompleks dari tanah dan produk geosintetik (Gambar 3). Pada umumnya sistem yang sederhana untuk daerah beriklim kering dan yang kompleks untuk daerah beriklim basah. Material yang digunakan untuk konstruksi penghalang permukaan meliputi tanah dengan permeabilitas rendah dan tinggi serta geosintetik permeabilitas rendah. Material permeabilitas rendah untuk menahan air dan membatasinya agar tidak menembus zone limbah. Material permeabilitas tinggi digunakan untuk mengalihkan air agar tidak ada perkolasi ke dalam sistem barrier. Material lain diperlukan untuk meningkatkan stabilitas lereng.

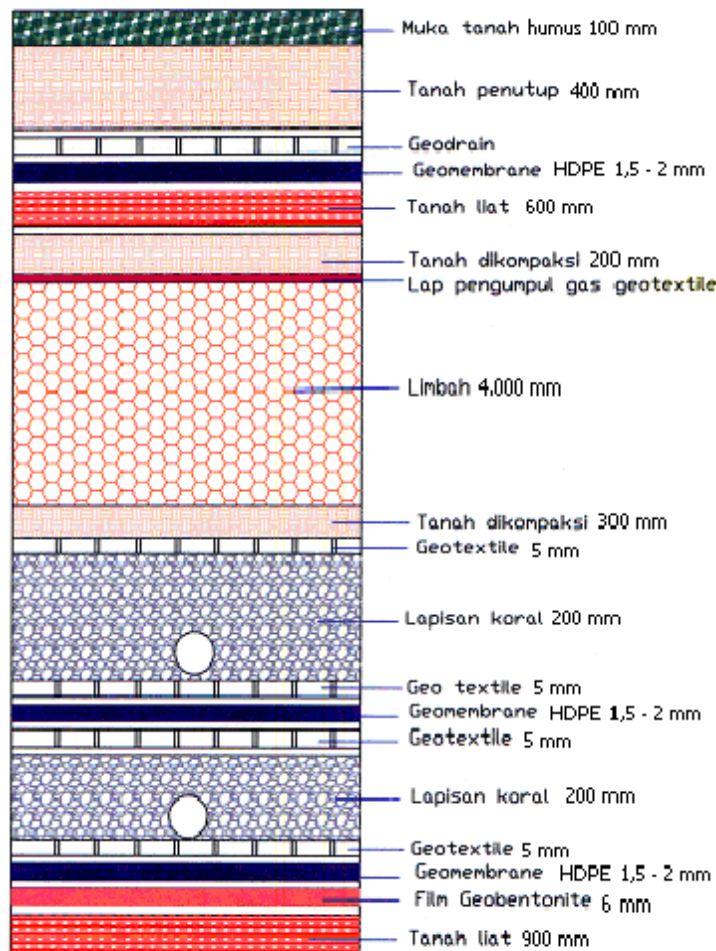
Penghalang bawah permukaan (*subsurface barrier*) sangat penting untuk membatasi pergerakan kontaminan radioaktif dan non-radioaktif menuju media geologi sekitar dan air tanah. Tersedia banyak teknologi penghalang bawah permukaan yang secara komersial dapat diperoleh dengan beraneka model perkembangan. Tujuan dan fungsi sistem pengungkungan harus ditentukan berdasarkan desain dan konstruksi barrier. Karakterisasi tapak merupakan bagian utama dalam pemilihan barrier yang memadai.

Beberapa hal yang wajib dipertimbangkan dalam perancangan *subsurface barrier* adalah meliputi :

1. Penting untuk dipertimbangkan dalam penetapan kriteria penempatan barrier, meliputi lokasi, kedalaman dan ketebalan;
2. Analisis tekanan-deformasi perlu dilakukan untuk mengkaji dampak potensial terhadap konstruksi barrier;
3. Uji kompatibilitas diperlukan untuk memilih bahan barrier yang paling efektif, dan bila perlu dikombinasi campurannya;
4. Penting untuk menentukan metode konstruksi yang paling efektif dan layak;
5. Jaminan/kendali mutu konstruksi merupakan hal yang krusial dalam penempatan barrier bawah permukaan.

Konstruksi penghalang bawah permukaan dapat dikelompokkan menjadi tiga teknologi dasar, yaitu :

1. Penggantian material galian dengan material yang permeabilitasnya lebih rendah;
2. *Displacement* dengan material permeabilitas lebih rendah;
3. Menurunkan permeabilitas tanah.



**Gambar 3.** Lapisan penutup, limbah dan lapisan bawah sebagai penghalang buatan

Lapisan kedap air terdiri dari lempung atau semen dan campuran lempung digunakan secara luas dalam konstruksi *landfill* baru. Lempung ditujukan untuk melawan secara kimia produk pelindian dari limbah yang dapat mendegradasi barrier dan menyebabkan peningkatan infiltrasi dan penyebaran kontaminan. Kandungan lengas air dalam lempung harus dijaga agar supaya tidak terjadi retakan. Perkembangan baru dari konsep barrier, material dan teknik konstruksi sedang berjalan untuk memenuhi atau menutupi kekurangan yang ada. Stabilitas dan efektivitas jangka panjang terhadap bahan sintesis dan polimer baru sebagai *sealant* sedang dievaluasi. *Inorganic grout* juga sedang dikaji untuk digunakan dengan atau tanpa lempung.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Hasil survey di lingkungan kerja beberapa perusahaan minyak untuk menentukan laju paparan gamma dan analisis *TENORM* untuk identifikasi kandungan radionuklida dan konsentrasi aktivitasnya, menunjukkan bahwa beberapa tapak telah terkontaminasi *TENORM*.



Untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan dari bahaya radiasi yang ditimbulkan dari limbah *TENORM* maka semua paket limbah dalam drum harus segera disimpan di suatu tempat yang memenuhi ketentuan sebagai berikut : 1) Jauh dari tempat kerja dan masyarakat; 2) Tempat penyimpanan (storage) harus dipagar secara memadai; 3) Tempat penyimpanan perlu ditandai dengan tulisan “Tempat Penyimpanan Limbah *TENORM*, Selain Petugas Dilarang Masuk”; 4) Drum dengan limbah yang laju dosisnya lebih tinggi ditempatkan di bagian tengah; 5) Laju dosis yang dihasilkan oleh limbah *TENORM* yang tersimpan tidak boleh melebihi 10  $\mu$ R/h di atas background daerah sekitar fasilitas, hal tersebut diharapkan akan membantu paparan radiasi bagi pekerja tidak lebih dari 100 mrem/tahun; 6) Perlu dilakukan survey radiasi berkala (tahunan) di lokasi sekitar storage yang terdokumentasi dalam form survey; dan 7) Departemen *EHS* regional harus dihubungi untuk memberikan bimbingan bila tingkat radiasi di sekitar lokasi storage melebihi batas yang ditentukan.

Berbagai metode penyimpanan lestari limbah *TENORM* padat dan cair telah diterapkan di kalangan industri minyak dan gas bumi. Tinjauan peraturan, inspeksi, pengawasan dan pengendalian terhadap aktivitas dan metode disposal telah menunjukkan adanya kekurangan di masa lampau. Isu tentang pengelolaan limbah *TENORM*, khususnya disposal, telah teridentifikasi pada masa kini sebagai suatu area proteksi dan keselamatan radiasi yang perlu secara formal diatur oleh badan pengawas nasional.

Proses pemilihan dan pengembangan metode disposal untuk limbah *TENORM* merupakan suatu bagian yang utama dari program pengelolaan limbah radioaktif. Berdasarkan studi pengkajian resiko direkomendasikan bahwa disposal limbah *TENORM* adalah *landfill disposal*, dan tidak direkomendasikan penyimpanan lestari dalam *abandon well*, *deep well injection*, dan *salt cavern injection*.

Tujuan utama penyimpanan lestari limbah *TENORM* yang bersifat radiologis, non-radiologis dan kontaminasi campuran adalah untuk mengungkung limbah dari manusia dan lingkungan. Untuk tujuan itu maka perlu dibuat penghalang fisik yang berupa penghalang permukaan (*surface barrier*), barrier insitu (*in situ barrier*) dan penghalang bawah permukaan (*subsurface barrier*).

Penghalang bawah permukaan (*subsurface barrier*) sangat penting untuk membatasi pergerakan kontaminan radioaktif dan non-radioaktif menuju media geologi sekitar dan air tanah. Tujuan dan fungsi sistem pengungkungan harus ditentukan berdasarkan desain dan konstruksi barrier. Karakterisasi tapak merupakan bagian utama dalam pemilihan barrier yang memadai.

## S a r a n

Limbah *TENORM* wajib disimpan secara lestari dengan metode *on-site landfill* atau landfill terpusat, dengan ketentuan : 1) Pemilihan tapak dan desain landfill yang memadai, meliputi : Tata geologi dan hidrogeologi yang memenuhi kriteria, *Cap design* dan *final cover* (ketebalan, jenis, impermeable), Kontrol gas radon, Desain lapisan barrier dan *leachate collector*, *Closure* dan *post-closure plans*, Penempatan NORM dan kedalamannya, Pengamanan tapak; 2). Analisis keselamatan, untuk verifikasi desain landfill apakah memenuhi kriteria keselamatan; 3). Sistem pemantauan, meliputi aliran permukaan, *leachate collection system*, air tanah, gas radon dan laju dosis gamma; dan 4). Kontrol administrasi, yang mencakup keberlanjutan pendanaan, aspek penerimaan limbah *TENORM* dan prosedurnya.

## DAFTAR PUSTAKA

1. TEPI, “NORM Safety Standard Operational Procedure”, Texaco Exploration and Production Inc., 1994.

2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry", Safety Report Series No. 34, IAEA, Vienna, 2003.
3. REPORT, "NORM Measurement in OIL and Gas Production Plant ConocoPhillips-Indonesia", Sumatra Operation, 2005.
4. REPORT on Radiological Assessment NORM/TENORM Total EP Indonesia.
5. NASSEN, E. P., and XU, X. G., "A non Destructive Method to Determine the Depth of Radionuclides in Materials In-Situ", Health Physics 77(1) : 76-88, 1999.
6. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, "Bulletin on the Management of NORM in Oil and Gas Production", API Bulletin E2 1992.
7. NORM Waste Management Technical Committee.
8. SMITH, K.P., BLUNT, D.L., WILLIAMS, G.P., ARNISH, J.J., PFINGSTON, M., HERBERT, J. and R.A. HAFFENDEN, "An Assessment of the Disposal of Petroleum Industry NORM in Non-Hazardous Landfills", National Petroleum Technology Office, U.S. Department of Energy, Tulsa, Oklahoma, 1999.