

# *Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) di Pipa Sumur Produksi Minyak dan Gas*

Oleh:

Nuraini \*) dan Erwansyah L\*\*)

## SARI

Sumur produksi yang mengandung minyak, gas dan air formasi juga mengandung radionuklida yang disebut *Naturally Occuring Radioactive Material* (NORM) dari deret uranium dan deret thorium. Radionuklida anak-luruh dari deret ini akan terikut dalam proses dan terdeposisi bersama lumpur dan kerak di dalam peralatan maupun di pipa sumur produksi. Penumpukan radionuklida ini, mempunyai potensi memancarkan dosis radiasi dan penerimaan terhadap personel yang melakukan operasi perbaikan sumur, pembersihan kerak, dekontaminasi dan pengelolaan limbah NORM. Dalam hal ini perlu dilakukan adanya pengkajian keselamatan radiasi terhadap pekerja juga penerapan proteksi radiasi dalam pengelolaan limbah NORM tersebut.

Kata kunci: *sludge*, gas bumi, radionuklida, deposisi dan keselamatan radiasi

## ABSTRACT

*Reservoir rock contains of oil, gas and water formation also radionuclides Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) from uranium and thorium series. The daughters of these series will be carried in the oil, gas and water formation during production and will be deposited in the system together with scale and sludge. The accumulation of the scale and sludge will increase the potential of radiation dose received by the personnel that are involved in maintenance, refurbishment, decontamination and management of NORM waste, because they have possibility to receive the radiation dose externally and internally. These conditions necessitate the safety assessment for the worker and the implementation of the radiation protection in the management of the NORM waste.*

*Key word: sludge, oil and gas, radionuclida, deposition and protection radiation*

## I. PENDAHULUAN

Berbagai jenis radionuklida yang teridentifikasi di dalam minyak, gas dan air formasi disebut *Naturally Occuring Radioactive Material* (NORM), yang berasal dari rantai peluruhan radionuklida alam deret uranium ( $^{238}\text{U}$ ) dan deret thorium ( $^{232}\text{Th}$ ). Radionuklida induk ini mempunyai waktu-paruh ( $T_{1/2}$ ) yang lama, konsentrasi dan aktivitasnya tergantung pada jenis batuan di reservoir. Peluruhan radionuklida induk ini menghasilkan beberapa radioisotop (anak

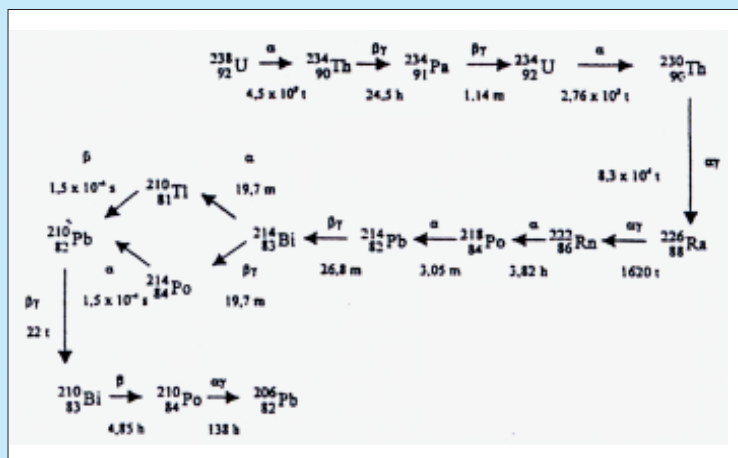
luruh) yang mempunyai sifat kimia dan fisika yang beragam, bergantung pada waktu-paruh ( $T_{1/2}$ ), mode peluruhan, jenis dan energi radiasi yang dipancarkan. Peluruhan deret uranium ditampilkan pada Gambar 1 dan deret thorium pada Gambar 2.

Hasil analisis terhadap material padatan yang ditemukan dalam dasar sumur (*downhole*) dan di permukaan fasilitas peralatan (*equipment*) produksi minyak dan gas tidak terobservasi adanya  $^{238}\text{U}$  dan  $^{232}\text{Th}$ . Radionuklida ini tidak bergerak dan berada di

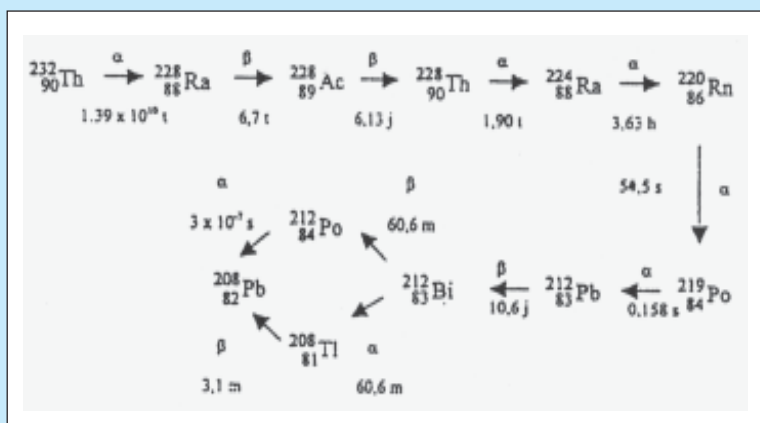
---

\*) Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi

\*\*\*) Pusat Teknologi Pengelolaan Limbah Radioaktif, Batan, Serpong.



Gambar 1  
 Deret uranium



Gambar 2  
 Deret thorium

batuan reservoir (*reservoir rock*) yang mengandung minyak, gas dan air formasi. Sementara minyak, gas dan air formasi mengandung unsur-unsur Group II dari tabel periodik, yaitu kation Ca, Sr, Ba dan Ra yang terlarut dalam reservoir. Air formasi yang mengandung isotop  $^{226}\text{Ra}$  dari deret uranium ( $^{238}\text{U}$ ) serta  $^{228}\text{Ra}$  dan  $^{224}\text{Ra}$  dari deret thorium ( $^{232}\text{Th}$ ). Isotope radium  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Ra}$  yang terkandung dalam air bersama-sama dengan minyak dan gas, namun induknya  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  dan  $^{228}\text{Th}$  tidak terobservasi. Radionuklida  $^{228}\text{Th}$  terdeteksi dalam lumpur (*sludge*) dan kerak (*scale*) merupakan produk

dari peluruhan  $^{228}\text{Ra}$ . Bila unsur-unsur Group II dan radium yang terdapat dalam air produksi, akibat turunnya tekanan dan suhu dapat menyebabkan tingginya kelarutan sulfat dan karbonat. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya presipitasi atau endapan sulfat dan karbonat pada dinding pipa sumur (*production tubular*), kepala sumur (*well-head*), katup (*valves*), pompa (*pump*) dan di tempat pemisah gas dan minyak (*separator*). Deposisi endapan dapat terjadi oleh karena adanya aliran turbulen dan gaya sentripetal, partikel-partikel tanah liat dan pasir yang berasal dari reservoir dapat terdeposisi dan menimbulkan terjadinya kerak. Bila air laut digunakan untuk meningkatkan *recovery* minyak, campuran dengan air formasi akan meningkatkan konsentrasi sulfat pada air produksi dan terjadinya pembentukan kerak [1,2].

Campuran aliran minyak, gas dan air juga membawa gas nobel  $^{222}\text{Rn}$  yang timbul di dalam reservoir dari peluruhan  $^{226}\text{Ra}$ . Gas-gas radioaktif dari daerah produksi bergerak dengan aliran gas/air yang kemudian terbawa oleh gas kering (*dry gas*). Konsekuensinya peralatan pengolahan gas dan fasilitas transportasi akan mengakumulasi lapisan tipis  $^{210}\text{Pb}$  berupa film tipis.  $^{210}\text{Pb}$  dihasilkan

dari peluruhan radionuklida  $^{222}\text{Rn}$   $T_{1/2}$  pendek yang melekat (*plating*) pada bagian dalam pipa gas. Deposisi  $^{210}\text{Pb}$  juga terjadi dalam instalasi pemrosesan gas alam cair.

Mekanisme mobilisasi Pb stabil yang mengandung  $^{210}\text{Pb}$  konsentrasi tinggi hingga saat ini belum dipahami dengan baik. Hasil observasi pada ladang gas, deposisi  $^{210}\text{Pb}$  terjadi pada bagian dalam peralatan produksi dan Pb stabil dan  $^{210}\text{Pb}$  terdapat juga dalam lumpur. Kondensat dan hasil ekstraksi gas alam cair mengandung  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  dan  $^{210}\text{Po}$  dengan konsentrasi relatif tinggi.

Sifat fisika dari radionuklida yang terdapat dalam produksi minyak, gas dan air ditampilkan dalam Tabel 1, dan Tabel 2 menyajikan bentuk utama dari *NORM* dalam produksi minyak dan gas.

## II. IMPLIKASI NORM DALAM INDUSTRI MINYAK DAN GAS

Deposisi kerak dalam jangka panjang mengganggu proses produksi karena akan menghalangi (*blocking*) transportasi yang melalui daerah zona produksi (*pay zone*). Hal ini dapat mengganggu keselamatan operasi instalasi. Terjadinya deposisi kerak dicegah dengan menggunakan bahan kimia, salah satu cara dengan

sistem injeksi air laut terhadap bagian atas peralatan. Bahan kimia sulfat dan karbonat dapat digunakan untuk mencegah terjadinya deposisi kerak.

Jumlah mobilisasi/ pergerakan radionuklida dari reservoir, muncul dalam air produksi dan peralatan beragam antara instalasi dan sumur produksi lainnya. Secara umum, mobilisasi lebih besar terjadi dalam produksi minyak dibandingkan dalam produksi gas. Di atas umur produksi, salinitas air produksi akan meningkat. Hal ini meningkatkan kelarutan elemen-elemen group II, termasuk radium dari reservoir, sama seperti pengaruh dari injeksi air laut untuk meningkatkan perolehan (*recovery*). *NORM* yang mengandung radionuklida deret uranium dan deret

thorium timbul setelah suatu sumur mencapai umur operasi (*lifetime*), sedangkan kapan mobilisasi  $^{210}\text{Pb}$  terjadi hingga kini masih sulit diperkirakan. Sebagai konsekuensinya tidak diketahui konsentrasi *NORM* yang tepat dalam produksi minyak dan gas demikian juga jumlah kerak dan lumpur yang ditimbulkan per tahun selama umur operasi suatu sumur.

Konsentrasi  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , dan  $^{224}\text{Ra}$  dalam kerak dan lumpur berada dalam rentang puluhan hingga ribuan Bq/ gram ( $1 \text{ Bq} = 2,7$

**Tabel 1**  
**Sifat fisika NORM dari produksi minyak dan gas**

Nuklida	Waktu-Paruh	Mode peluruhan	Hasil peluruhan
	( $T_{1/2}$ )		
$^{226}\text{Ra}$	1600 tahun	<i>Alpha</i>	$^{222}\text{Rn}$ (Gas Nobel)
$^{222}\text{Rn}$	3,84 hari	<i>Alpha</i>	Anak luruh, $T_{1/2}$ pendek
$^{210}\text{Pb}$	22,3 tahun	<i>Beta</i>	$^{210}\text{Po}$ (Pemancar Alpha)
$^{228}\text{Ra}$	5,7 tahun	<i>Beta</i>	$^{228}\text{Th}$
$^{228}\text{Th}$	1,9 tahun	<i>Alpha</i>	$^{224}\text{Ra}$
$^{224}\text{Ra}$	3,7 hari	<i>Alpha</i>	Anak luruh, $T_{1/2}$ pendek

**Tabel 2**  
**Bentuk NORM dalam produksi minyak dan gas**

Bentuk	Kandungan nuklida	Karakteristik	Terjadinya
Kerak Radium	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ + anak luruh.	Deposisi Ca, Sr, Ba sulfat dan karbonat yang keras.	Bagian basah dari instalasi sumur produksi
Lumpur Radium	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ + anak luruh.	Pasir, tanah liat, parafin, logam berat	<i>Separator, simmer tanks.</i>
Deposisi Pb	$^{210}\text{Pb}$ + anak luruh	Deposisi Pb stabil	Bagian basah dari instalasi produksi gas.
Lapisan Pb (film)	$^{210}\text{Pb}$ + anak luruh	Lapisan film tipis	Pemrosesan dan transportasi minyak dan gas
Gas Alam	$^{222}\text{Rn}$	Gas nobel	Konsumen
Air Produksi	$^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{224}\text{Ra}$ , $^{210}\text{Pb}$	Salinitas rendah, volume besar dalam produksi minyak.	Setiap fasilitas produksi

$\times 10^{-11}$  Ci). Umumnya konsentrasi isotop radium dalam lumpur lebih kecil dibandingkan dengan yang terdapat dalam kerak. Kebalikannya untuk  $^{210}\text{Pb}$  konsentrasinya rendah dalam kerak, namun dapat mencapai ribuan Bq/ gram dalam lumpur. Isotop thorium tidak bergerak dari reservoir, hasil peluruhan dari  $^{228}\text{Th}$  yaitu  $^{228}\text{Ra}$  akan terbentuk setelah deposisi terjadi. Bila kerak mengandung  $^{228}\text{Ra}$ , konsentrasi  $^{228}\text{Th}$  akan meningkat hingga 150% terhadap konsentrasi  $^{228}\text{Ra}$  yang ada.

### III. ASPEK KESELAMATAN RADIASI NORM

NORM dalam industri minyak dan gas mempunyai potensi terjadinya paparan eksternal disebabkan oleh akumulasi radionuklida pemancar gamma selama produksi dan paparan internal terhadap pekerja dan personel lainnya yang terlibat dalam perbaikan (*maintenance*), transportasi limbah dan peralatan yang terkontaminasi, peralatan dekontaminasi dan pengolahan limbah NORM.

#### A. Paparan Eksternal

Anak luruh isotop radium, khususnya  $^{226}\text{Ra}$  memancarkan radiasi *gamma* yang mampu menembus dinding pipa dan bejana (*vessel*) yang terkontaminasi. Deposisi kerak dan lumpur yang terkontaminasi dalam komponen-komponen peralatan akan meningkatkan laju dosis pada bagian luar komponen tersebut. Besarnya laju dosis bergantung pada konsentrasi radionuklida yang terdapat dalam kerak dan perisai radiasi (*shielding*) yang berada pada dinding bagian luar pipa dan bejana. Laju dosis maksimum umumnya dalam orde hingga beberapa  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan dari beberapa kasus yang pernah dilaporkan dapat mencapai  $100 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , besaran ini 1000 kali lebih besar paparan radiasi normal yang berasal dari sinar kosmik dan radiasi *terrestrial*. Penumpukan kerak radium dapat dimonitor dari luar instalasi ataupun sistem peralatan dalam pengerjaan perbaikan tanpa membongkarnya, karena akan meningkatkan penerimaan dosis radiasi terhadap pekerja. Paparan eksternal terhadap personel dapat dibatasi dengan memaksimalkan jarak dan meminimalkan waktu terhadap paparan yang diterima ketika melakukan perbaikan atau proses lainnya. Pembatasan akses masuk dan lama tinggal di daerah produksi/ instalasi dapat menurunkan besarnya dosis radiasi eksternal tahunan yang diterima.

Deposisi  $^{210}\text{Pb}$  tidak dapat dimonitor di bagian luar pipa atau bejana, karena isotop ini memancarkan energi *gamma* rendah dan partikel beta yang tidak dapat menembus pipa dan bejana.  $^{210}\text{Pb}$  tidak memberikan kontribusi yang berarti terhadap paparan radiasi eksternal, hanya mempunyai kontribusi bila komponen-komponen produksi dibongkar.

#### B. Paparan Internal

Paparan internal dari NORM dapat terjadi dikarenakan injeksi (*ingestion*) atau inhalasi radionuklida ketika melakukan pekerjaan di instalasi dan peralatan yang terbuka/dibongkar, menangani limbah dan permukaan benda-benda dan peralatan yang terkontaminasi.

Tindakan pencegahan yang efektif dibutuhkan selama proses dekontaminasi, di antaranya adalah mencegah bahan radioaktif dipindahkan ke daerah lain yang dapat menyebabkan personel lain terpapar atau terkontaminasi. Karakteristik non-radioaktif yang terkandung dalam kerak dan lumpur juga memerlukan perlakuan keselamatan konvensional. Risiko yang ditimbulkan dari injeksi NORM sangat rendah, akan tetapi pembersihan suatu permukaan yang terkontaminasi selama perbaikan, penggantian, *refurbishment* atau kegiatan lain yang menimbulkan debu radioaktif, khususnya bila teknik pengikisan (*abrasive*) kering digunakan. Potensi paparan internal dari inhalasi akan signifikan bila perlengkapan keamanan dan keselamatan personel tidak diterapkan dengan baik dan benar. Karakteristik fisika dan kimiawi NORM dan matriksnya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap dosis komited (*committed dose*) dari jalur inhalasi. Hal ini bukan hanya disebabkan oleh karakteristik kimia-fisika dari radionuklida yang terkandung, namun juga perlu untuk dipertimbangkan ukuran aerodinamik dari partikulat. Hasil studi dalam menurunkan nilai koefisien dosis untuk inhalasi partikulat dari bijih-bijihan dan mineral menunjukkan bahwa kerak sulfat mengandung  $^{226}\text{Ra}$  yang perlahan-lahan akan larut dalam cairan tubuh ditenggorokan. Sebagai tambahan, analisis dengan spektrometri gamma menunjukkan bahwa  $^{222}\text{Rn}$  tidak akan lepas walaupun dari partikel yang sangat kecil. Oleh karena itu perlu diasumsikan bahwa gas dengan radionuklida anak luruh T1/2 pendek akan tetap tinggal dalam kerak hingga terlarut dan dipindahkan dari tenggorokan. Koefisien dosis, berdasarkan ukuran aerodinamik  $5 \mu\text{m}$  disajikan dalam Tabel 3. Hal ini

memberikan informasi, bergantung pada pertumbuhan  $^{228}\text{Th}$  dari  $^{228}\text{Ra}$ , dosis komited dari  $^{228}\text{Th}$  dan anak luruhnya relatif akan tinggi. Berdasarkan Tabel 3, bila partikel ukuran kecil  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  dan  $^{228}\text{Th}$  dengan konsentrasi masing-masing 10 Bq/ gram akan memberikan dosis komited dalam orde 10 mSv/ gram dari material yang diinhalasi. Jika kita bekerja dengan permukaan yang terkontaminasi NORM dengan menggunakan nyala dengan suhu tinggi akan meningkatkan ukuran partikel 1  $\mu\text{m}$  lebih banyak, sehingga nilai koefisien dosis yang digunakan lebih besar, sehingga akan memberikan dosis komited yang lebih besar lagi.

### C. Dekontaminasi

Pemindahan/pembersihan kontaminasi *NORM* yang terdapat dalam kerak dan lumpur dari instalasi dan peralatan memerlukan penerapan keselamatan radiasi yang memadai, juga perlu memperhatikan faktor keselamatan lainnya dan aspek lingkungan.

Pembersihan akumulasi kerak dan lumpur yang mengganggu keselamatan dan laju produksi minyak dan gas dapat dilakukan di lapangan (*onsite*). Dekontaminasi di lapangan merupakan pilihan utama bila dapat dilakukan secara efektif dan memenuhi faktor keselamatan. Bila tidak memungkinkan, komponen-komponen peralatan dapat dikirim ke fasilitas dekontaminasi di luar kawasan (*offsite*).

Dekontaminasi di luar kawasan memerlukan perlakuan dan pengaturan tertentu agar bahan radioaktif tidak tercecer dan menyebar atau terjadinya kontaminasi di tempat proses pembersihan. Dalam pelaksanaan dekontaminasi, peralatan keamanan dan keselamatan personel meliputi pakaian pelindung dan dalam menangani kerak kering radioaktif juga dilengkapi dengan alat perlindungan inhalasi / masker yang dilengkapi dengan filter khusus.

Perusahaan yang memberikan pelayanan untuk melaksanakan dekontaminasi haruslah bertanggung jawab penuh terhadap potensi bahaya dan menjelaskan alasan khusus yang melatarbelakangi kebutuhan keselamatan tersebut dilaksanakan.

**Tabel 3**  
**Koefisien dosis untuk radionuklida dengan ukuran partikulat 5  $\mu\text{m}$ , untuk jalur inhalasi yang berlangsung secara lambat**

Nuklida	Koefisien Dosis, Sv/ Bq
$^{226}\text{Ra}$	$3,8 \times 10^{-5}$
$^{210}\text{Pb}$	$4,5 \times 10^{-6}$
$^{210}\text{Po}$	$2,8 \times 10^{-6}$
$^{228}\text{Ra}$	$1,2 \times 10^{-5}$
$^{228}\text{Th}$	$3,2 \times 10^{-5}$
$^{210}\text{Pb} + ^{210}\text{Bi} + ^{210}\text{Po}$	$7,3 \times 10^{-6}$
$^{226}\text{Ra}$ + seluruh anak luruhnya	$4,5 \times 10^{-5}$
$^{228}\text{Ra}$ + seluruh anak luruhnya	$4,7 \times 10^{-5}$
$^{228}\text{Th}$ + seluruh anak luruhnya	$3,5 \times 10^{-5}$

Perusahaan yang memberikan layanan dapat melakukan pekerjaan dekontaminasi khusus terhadap benda-benda dan peralatan yang terkontaminasi.

Daur-ulang komponen-komponen yang terkontaminasi untuk pemanfaatan kembali atau untuk produksi baja/besi dibatasi, diperlukan alat monitor radiasi untuk menolak (*reject*) material terkontaminasi dan sumber-sumber radiasi ini bila melampaui batasan yang diizinkan masuk kembali ke pasaran.

Metode dekontaminasi dalam kawasan dan luar kawasan telah banyak diterapkan, metode yang dipilih bergantung pada jenis dan ukuran komponen dan karakteristik dari kontaminasinya. Metode yang diterapkan mulai dari pengambilan lumpur dari bejana yang diikuti dengan pencucian sederhana dengan air hingga kepenggunaan teknik kimiawi atau pengikisan. Pemilihan prosedur dan metode dekontaminasi bergantung pada efisiensi pemindahan, biaya dan pertimbangan terhadap keselamatan. Perusahaan pelayanan yang melaksanakan dekontaminasi di luar kawasan, harus mempunyai izin dan memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). Kondisi perlindungan terhadap pekerja dan lingkungan, melaksanakan disposal limbah padat, pembuangan air yang terkontaminasi dan kriteria untuk release komponen yang telah didekontaminasi juga diatur oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). Dalam Tabel 4 disajikan beberapa metode untuk dekontaminasi *NORM*.

#### IV. KESELAMATAN RADIASI

Prinsip-prinsip keselamatan radiasi diterapkan untuk instalasi industri minyak dan gas yang terkontaminasi dengan NORM. Tujuan utama dari penerapan keselamatan radiasi adalah agar paparan radiasi terhadap pekerja/personel adalah serendah-rendahnya yang dapat diupayakan (*as low as is reasonably achievable*, ALARA), dan di bawah batasan dosis yang diperkenankan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). Tindakan praktis untuk mencapai sasaran ini secara prinsip berbeda untuk paparan eksternal dan kontaminasi internal.

##### A. Perlindungan Terhadap Paparan Eksternal

Keberadaan NORM di dalam instalasi sangat tidak diharapkan karena berpotensi menimbulkan paparan eksternal yang dapat mendekati atau melampaui batasan dosis tahunan untuk pekerja. Nilai batasan dosis per tahun yang diperkenankan diterima personel/pekerja radiasi rata-rata per tahun 20 mSv dalam periode 5 (lima) tahun dan dalam 1 (satu) tahun tidak boleh melampaui 50 mSv. Laju dosis eksternal dari NORM biasanya relatif rendah tidak diperlukan tindakan perlindungan khusus. Dalam kasus tertentu di mana paparan radiasi eksternal signifikan pada

lokasi tertentu, dapat diterapkan dasar-dasar proteksi radiasi untuk meminimalisir paparan eksternal sebagai berikut;

- a. meminimalkan waktu terkena paparan eksternal,
- b. menjaga jarak seoptimal mungkin antara personal dengan NORM,
- c. menggunakan perisai radiasi (*shielding*) antara personel dengan NORM.

Butir (a) dan (b) dalam praktek merupakan bagian dari daerah yang dimonitor (*controlled area*), dimana akses ke instalasi kilang minyak dan gas di batasi atau dilarang. Penggunaan perisai radiasi merupakan suatu cara yang efektif untuk mengurangi besarnya laju dosis dari suatu sumber radiasi, namun tidak selalu perisai radiasi harus ditambahkan untuk melindungi bongkahan NORM. Prinsip yang dapat diterapkan adalah bongkahan NORM ditempatkan dalam pipa atau bejana yang tebal sejauh mungkin yang dapat dilakukan, sementara penyiapan untuk disposal dilakukan. Bila terdapat sejumlah besar limbah NORM yang disimpan dengan aktivitas jenis tinggi, penggunaan perisai radiasi sangat berperan besar dalam mengurangi laju dosis radiasi.

**Tabel 4**  
**Beberapa metode dekontaminasi untuk NORM**

No.	Metoda	Keterangan
1	Pembersihan/pemindahan kontaminan secara manual.	Dalam kegiatan ini tidak melibatkan peralatan khusus hanya pencucian dengan tangan. Biasanya digunakan dalam pembersihan pasir dan lumpur dari bagian atas peralatan.
2	Pemindahan secara mekanik dengan pengeboran ( <i>drilling</i> ).	Biasanya digunakan untuk memindahkan kerak yang terdeposisi kuat pada permukaan peralatan yang terkontaminasi. Proses pengeboran basah dalam ruang tertentu umumnya digunakan untuk mencegah terbentuknya debu. Air yang digunakan dikumpulkan dan diproses klu
3	Pengikisan ( <i>blasting, jetting</i> ) dengan air tekanan tinggi.	Biasanya digunakan untuk memindahkan kerak yang terdeposisi kuat pada permukaan peralatan. Agar pengikisan efektif dan timbulnya debu dapat dikurangi, material yang dibersihkan harus selalu dalam keadaan basah. Air yang digunakan dikumpulkan dan diproses khusus/filter untuk pengambilan kontaminan
4	Pemakuman ( <i>vacuuming</i> )	Dapat dilakukan dalam kondisi kering ataupun basah dalam pembersihan partikel kontaminan.
5	Pembersihan secara kimiawi	Menggunakan bahan pelarut kerak yang dijual secara komersial.
6	Peleburan ( <i>smelting</i> )	Alat peleburan logam yang umum digunakan.

**Tabel 5**  
**Disposal limbah NORM**

No.	Pilihan disposal	Keterangan
1	Injeksi kedalam reservoir saat produksi normal.	NORM dapat diinjeksikan bersama-sama dengan air produksi/ fluida atau air laut.
2	Dibuang ke disposal ke dalam sumur saat dilakukan penyumbatan ( <i>plugging</i> ) atau penutupan operasi sumur.	Limbah NORM dapat berupa bubur ( <i>slurry</i> ) atau telah diimobilisasi ( <i>encapsulated</i> ). Dalam hal ini formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dapat dicegah.
3	Disposal ke dalam reservoir yang telah ditinggalkan dengan injeksi atau tekanan.	NORM di <i>suspended</i> dalam air. Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dapat dicegah.
4	Disposal limbah padat hasil dekontaminasi ke dalam laut.	Bagian dari konvensi laut internasional. Berdasarkan IAEA dilarang.
5	Dumping limbah NORM yang terbungkus atau tidak terbungkus	Bagian dari konvensi laut internasional. Berdasarkan IAEA dilarang.
6	<i>Repository</i> ke dalam bekas tambang atau fasilitas dalam tanah.	Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dicegah.
7	Penguburan limbah NORM tanpa dimobilisasi.	Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dicegah.
8	Penguburan limbah NORM yang dilapisi dengan sistem beton.	Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dapat dicegah.
9	Penyebaran dalam tanah	Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dapat dicegah.
10	Dalam <i>repository</i> limbah kimia	Formasi diisolasi secara geokimia dan mekanik, sehingga potensi kembalinya NORM ke manusia melalui berbagai jalur ( <i>pathway</i> ) dapat dicegah.

### **B. Perlindungan terhadap Kontaminasi Internal**

Paparan internal dapat ditimbulkan dari injeksi (*ingestion*) atau menghirup (*inhalation*) bahan radioaktif ketika bekerja dengan sumber radiasi terbuka atau karena adanya penyebaran kontaminan yang tidak terkontrol. Risiko dari injeksi dan inhalasi kontaminan bahan radioaktif yang terdapat dalam daerah kerja dapat diminimalkan melalui;

a. gunakan pakaian pelindung yang tepat untuk mengurangi resiko terkontaminasi/ perpindahan

bahan radioaktif ke permukaan tubuh/kulit,

- b. hindari sejauh mungkin kegiatan merokok, minum, makan, penggunaan kosmetik dan kegiatan lainnya yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan perpindahan bahan radioaktif ke dalam tubuh,
- c. gunakan peralatan masker yang sesuai untuk mencegah terjadinya inhalasi partikulat atau udara yang terkontaminasi,
- d. terapkan aturan-aturan kesehatan dalam industri, seperti mencuci tangan dan pakaian kerja setelah melakukan suatu pekerjaan/ kegiatan.

## V. PENGELOLAAN DAN DISPOSAL NORM

### A. Air Produksi

Volume air produksi beragam berdasarkan jenis instalasi dan umur fasilitas produksi minyak dengan rentang antara 2400 – 40.000 m<sup>3</sup> per hari dan untuk produksi gas 1,5 – 30 m<sup>3</sup> per hari. Air produksi dapat mengandung <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra dan <sup>210</sup>Pb mencapai konsentrasi hingga beberapa ratus becquerel per liter (Bq.L<sup>-1</sup>). Berdasarkan survei di Norwegia, instalasi produksi lepas pantai untuk <sup>226</sup>Ra mempunyai konsentrasi rerata adalah 4,1 Bq.L<sup>-1</sup> dan untuk <sup>228</sup>Ra adalah 2,1 Bq.L<sup>-1</sup> [2].

### B. Limbah Lainnya

Limbah NORM lainnya dalam industri minyak dan gas meliputi kerak, lumpur dan pasir serta bahan lain yang terdeposit dari dekontaminasi tubular dan berbagai peralatan bagian atas. Konsentrasi dari <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra dan <sup>224</sup>Ra dalam deposit dan lumpur dapat bervariasi antara 1 – 1000 Bq.g<sup>-1</sup>. Sebagai pembandingan, konsentrasi rerata nuklida hasil peluruhan deret <sup>238</sup>U, termasuk <sup>226</sup>Ra dalam tanah permukaan dalam orde 25 Bq.kg<sup>-1</sup>. Bergantung pada ukuran dan karakteristik fasilitas produksi, kerak dan lumpur yang ditimbulkan dapat mencapai orde 1 – 10 ton per tahun.

Limbah NORM dalam bentuk kerak dan lumpur yang terakumulasi perlu untuk dibuang ke disposal. Bapeten akan memberikan izin untuk pembangunan dan pengoperasian penyimpanan limbah NORM dan bahan terkontaminasi lainnya sesuai dengan peraturan yang diberlakukan. Fasilitas penyimpanan harus didesain untuk dapat menampung limbah, diberi rambu-rambu peringatan yang jelas dan akses ke dalam fasilitas dibatasi. Limbah harus ditempatkan dalam suatu wadah dan diisolasi sesuai standar keselamatan radiologik yang dipersyaratkan demikian juga laju dosis di luar fasilitas penyimpanan tidak boleh melampaui nilai yang telah ditetapkan.

### C. Pilihan-pilihan Disposal

Dalam prinsip terdapat berbagai alternatif untuk disposal limbah NORM bergantung terhadap karakteristik limbah seperti yang ditampilkan dalam Tabel 5. Tiap pilihan disposal memerlukan pengkajian keselamatan radiologik dan pengaturan secara nasional. Pedoman untuk pilihan disposal tanah dangkal (*shallow ground disposal*), sistem disposal ini sesuai untuk limbah radionuklida T1/2 panjang dengan aktivitas rendah.

Pilihan disposal harus memenuhi prinsip-prinsip proteksi radiasi, juga hasil analisis dampak lingkungan dari aspek non-radiologis harus diperhitungkan. Bila konsentrasi di bawah nilai yang ditetapkan, limbah NORM dapat ditetapkan sebagai limbah non-radioaktif, dapat dikeluarkan dari kontrol pengaturan. Badan Energi Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) merekomendasikan untuk pengeluaran dari kontrol pengaturan untuk radionuklida dalam material padat bila dosis radiasi tahunan terhadap anggota masyarakat sama atau lebih kecil dari 10 <sup>1</sup>/<sub>4</sub>Sv [3]. Dosis terhadap perorangan diabaikan pada tingkat konsentrasi ini, tidak diperlukan pengaturan secara khusus. Rekomendasi nilai pengecualian (*exemption*) untuk <sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra dan <sup>210</sup>Pb adalah 10 Bq.g<sup>-1</sup> dan untuk <sup>228</sup>Th adalah 1 Bq.g<sup>-1</sup>. Akan tetapi, ditekankan dalam *Basic Safety Standar* [3], bahwa aplikasi pengecualian terhadap radionuklida alam, dibatasi terhadap NORM dalam produk konsumen atau digunakan sebagai sumber radioaktif (<sup>226</sup>Ra dan <sup>210</sup>Po) atau untuk elemental properties (thorium dan uranium). Oleh karena itu nilai batas ini tidak seharusnya diaplikasikan otomatis terhadap kegiatan yang melibatkan limbah NORM dari produksi minyak dan gas.

IAEA mengembangkan pedoman untuk tingkat klirens (*clearance*) untuk radionuklida dalam material padat yang tidak spesifik, diperuntukkan untuk NORM. Pengkajian konsekuensi radiologik dari berbagai pilihan disposal NORM dari produksi minyak dan gas dan untuk pencairan logam-logam terkontaminasi (*scrap*) telah dipublikasi dalam TECDOC – 855 [4].

Badan pengawas tenaga nuklir suatu negara dapat membuat tingkat pengecualian dengan nilai yang berbeda seperti yang direkomendasikan dalam BSS-115 [3], dapat menurunkan (*derive*) memilih satu set nilai yang berbeda untuk kondisional dan *unconditional release* bergantung pada karakteristik limbah dan pilihan disposal yang diambil sesuai dengan kondisi lokasi geologi.

## VI. KESIMPULAN

Dari uraian yang telah disampaikan dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Dalam kegiatan industri minyak dan gas tidak dapat dihindarkan terjadi akumulasi kerak dan lumpur yang dapat mengandung radionuklida alam anak-luruh dari deret uranium dan thorium yang dikenal



dengan sebutan NORM dalam komponen-komponen produksi dan peralatan.

2. Konsentrasi NORM dalam kerak dan lumpur beragam berdasarkan jenis dan umur fasilitas produksi serta upaya pelarutan yang dilakukan. Hal ini menimbulkan adanya potensi paparan radiasi baik secara eksternal dan internal terhadap personel.
3. Pekerja yang terlibat dalam pembersihan permukaan yang terkontaminasi selama perbaikan, penggantian, *refurbishment*, dekontaminasi dan pengelolaan limbah NORM mempunyai potensi menerima dosis radiasi sama atau lebih besar dari nilai batas dosis yang ditetapkan.
4. Berdasarkan butir (3) dipandang perlu untuk dilakukan pengkajian keselamatan radiasi terhadap pekerja dan analisis NORM terhadap fasilitas produksi minyak dan gas, khususnya terhadap

fasilitas yang telah mempunyai umur operasi lama.

5. Limbah NORM dapat disimpan dalam tempat penyimpanan lestari (*disposal*). Pembangunan dan pengoperasian fasilitas disposal harus mendapat izin dari Bapeten.

#### KEPUSTAKAAN

1. <http://www.tenorm.com/geo.htm>.
2. Radiation and Waste Safety in the Oil and Gas Industry, *Safety Report*, Revisi-4, IAEA, Vienna, July 2000.
3. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, *Safety Series* No. 115, IAEA, Vienna, 1996.
4. Clearance Level for Radionuclides in Solid Materials, *Application of Exemption Principles*, TECDOC-855, IAEA, Vienna, January, 1996. ˇ