

NORM PADA BEBERAPA INDUSTRI DAN METODE PENGUKURANNYA

Syarbaini dan Wahyudi

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir - BATAN

ABSTRAK

NORM PADA BEBERAPA INDUSTRI DAN METODE PENGUKURANNYA. NORM merupakan produk samping dalam proses kegiatan beberapa industri yang perlu dipantau dan dikelola sedemikian rupa mengingat material ini adalah bahan radioaktif. Dengan bantuan teknologi dan instrumentasi nuklir, NORM dapat dipantau dan dianalisis kandungan radionuklidanya baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Makalah ini memberikan uraian ringkas metode pengukuran NORM dan analisis masing-masing radionuklida yang terkandung di dalamnya atau dalam komponen lingkungan yang terkontaminasi NORM. Dengan dipantau dan dikelolanya NORM pada industri-industri, dampak radiologi NORM terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan sekitar dapat ditekan serendah mungkin.

ABSTRACT

NORM IN SOME INDUSTRIES AND ITS MEASUREMENT METHOD. NORM as a by product of some industries activity must be monitored and handled in such a way because this product is radioactive material. By using nuclear technology and instrumentation, NORM can be monitored and analyzed its radionuclides content qualitatively and/or quantitatively. This paper describes the measurement method and analysis used for radionuclides in NORM or in the environmental component contaminated by NORM. By monitoring and handling NORM in industries, the radiology impact of NORM to the industrial workers, the member of the public and the surrounding environment could be controlled.

I. PENDAHULUAN

Industri yang kegiatan dasarnya adalah kegiatan pengolahan dan pemanfaatan bahan baku yang berasal dari (dalam) bumi dengan skala besar dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi radionuklida alam selama proses tersebut berlangsung. Berbagai radionuklida alam yang terkandung di dalam batuan pada kulit bumi akan ikut termobilisasi sehingga pada akhirnya membentuk produk samping berupa bahan radioaktif. Bahan radioaktif yang terbentuk ini disebut NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*) [1].

NORM dapat memberikan kontribusi paparan radiasi eksternal dan internal terhadap pekerja bahkan terhadap masyarakat di sekitar lokasi industri. Pekerja akan menerima paparan radiasi eksternal kalau berada disekitar fasilitas industri yang sudah terkontaminasi oleh NORM. Sedangkan radiasi internal akan diterima pekerja melalui jalur pernafasan bila udara pada daerah kerja terkontaminasi oleh NORM berupa debu atau gas dan melalui makanan/minuman bila kontak langsung dengan NORM bentuk padat dan cair. Oleh karena itu pengelolaan terhadap NORM perlu mendapat perhatian serius [2,3,4].

Penanganan radiasi eksternal dapat dilakukan dengan cara mengatur jarak, mempersingkat waktu dan/atau menggunakan pelindung radiasi. Ketiga cara ini dikenal dengan prinsip proteksi radiasi. Salah satu atau kombinasi dari ketiga prinsip ini dapat dilakukan. Sedangkan untuk penanggulangan radiasi internal adalah dengan cara mencegah masuknya zat radioaktif ke dalam tubuh melalui jalur mulut, hidung dan luka terbuka di kulit. Untuk dapat melakukan penanganan NORM secara baik diperlukan beberapa metode dan instrumentasi nuklir untuk dapat memantau keberadaan NORM dan mengukur tingkat aktivitas radionuklidanya yang akan diuraikan secara ringkas dalam makalah ini.

II. PEMBENTUKAN NORM PADA BEBERAPA INDUSTRI

Ada dua jenis industri yang kegiatannya menghasilkan NORM yaitu industri pertambangan dan industri yang memanfaatkan bahan hasil tambang sebagai bahan bakunya. Industri pertambangan pada dasarnya merupakan usaha pemanfaatan sumber daya alam yang terkandung dalam kerak bumi yang kegiatannya meliputi pencarian (eksplorasi), penggalian (eksploitasi) dan pengolahan bahan galian untuk memperoleh

konsentrat. Dalam proses pengolahan tersebut, unsur radioaktif alam ikut terkonsentrasi dan akhirnya membentuk konsentrat radioaktif yang disebut NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*) atau sering juga disebut TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials*) [5,6,7]. Terkonsentrasinya unsur radioaktif alamiah juga terjadi pada proses industri yang menggunakan bahan galian sebagai bahan baku, contohnya produksi pupuk fosfat yang menggunakan batuan fosfat sebagai bahan baku. Produksi titanium oksida yang menggunakan batuan *ilmenite* atau *rutile* sebagai bahan baku. Lischinsky dkk [8] melaporkan bahwa bubuk zirkonium oksida yang digunakan sebagai bahan baku pada industri komponen elektronik dan keramik juga mengandung unsur radioaktif alam yang cukup tinggi yaitu : ^{238}U 5400 Bq/kg, ^{235}U 260 Bq/kg dan ^{232}Th 340 Bq/kg. Industri-industri jenis ini disamping dapat menyebabkan terkonsentrasinya bahan radioaktif pada limbahnya dapat juga menyebabkan terbawanya bahan radioaktif pada produknya [8,9].

Beberapa jenis tanah, batuan dan pasir mineral di dalam perut bumi mengandung unsur radioaktif alamiah primordiat U-238 , Th-232 dan K-40 . Unsur-unsur ini mempunyai umur paro yang sangat panjang yaitu milyaran tahun. Disamping itu U-238 dan Th-232 meluruh menghasilkan beberapa anak luruh dengan umur paro dari orde detik sampai ribuan tahun. Pada Gambar 1 ditampilkan deret peluruhan U-238 dan Th-232 [10].

Jenis radionuklida alam yang ditemukan di dalam NORM bergantung pada jenis kegiatan industri dan bahan baku yang digunakan industri tersebut. Sebagai contoh, NORM yang berasal dari kegiatan industri timah mengandung Thorium lebih tinggi dari Uranium sedangkan NORM yang berasal dari industri pupuk fosfat ditemukan sebaliknya. Industri minyak dan gas bumi, radionuklida alam yang dominan ditemukan di dalam NORM yang dihasilkannya adalah ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po dan ^{222}Rn . Pada industri minyak dan gas bumi, pembentukan NORM diawali dengan terlarutnya ^{226}Ra dan ^{228}Ra batu-batuan di dalam air yang terdapat bersama minyak dan gas. Kation-kation dari unsur-unsur golongan II seperti Ca , Sr , Ba dan Ra bersifat mudah larut dalam air. Dengan demikian isotop-isotop ^{226}Ra yang berasal dari deret peluruhan ^{238}U dan ^{228}Ra beserta ^{224}Ra yang berasal dari deret

peluruhan ^{232}Th juga akan ikut terlarut. Sebagai akibatnya ke tiga isotop radium ini akan ikut terbawa pada waktu proses pengambilan minyak atau gas [6].

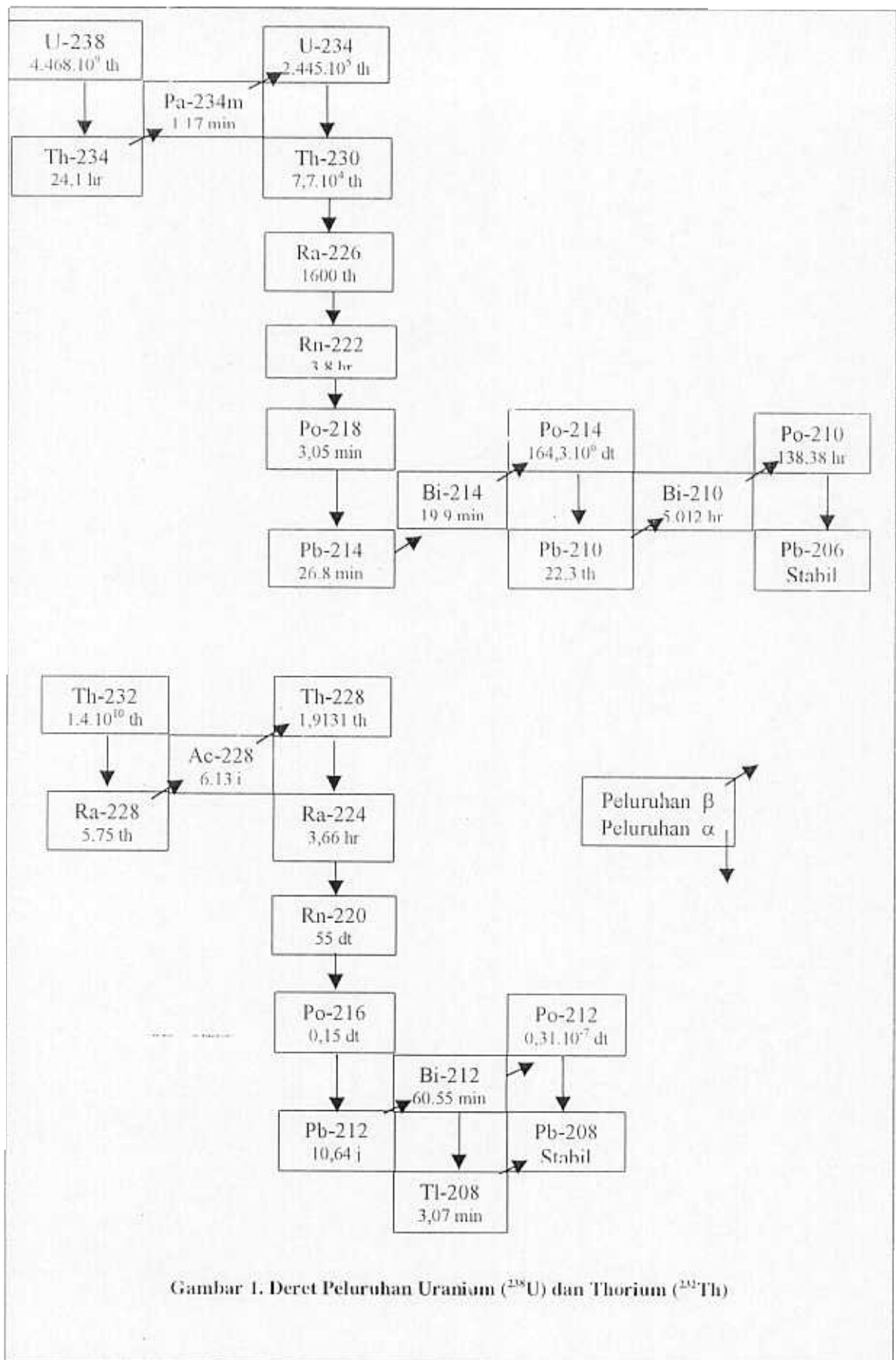
Dalam proses pengambilan minyak atau gas, karena pengaruh temperatur, tekanan dan pH, unsur-unsur tersebut akan mengendap dalam bentuk garam-garam sulfat dan karbonat berupa kerak air (*scale*) dan *sludge* pada alat-alat produksi seperti *tubular*, *wellhead*, *valves*, *pump* dan *separator*. Umumnya *scale* dalam industri minyak adalah berupa Barium Sulfat. Radium mengendap bersama barium kemudian mengganti beberapa atom barium ini dalam struktur kristal Barium Sulfat. Karena ^{228}Ra meluruh menjadi ^{228}Th dan ^{226}Ra meluruh menjadi ^{210}Pb melalui radon (^{222}Rn) maka di dalam *scale* ditemukan ^{228}Th dan ^{210}Pb tersebut. Di dalam gas alam banyak ditemukan gas radon yang merupakan anak luruh dari Ra-226 . Pada tahap pemisahan minyak, gas dan air, radon akan mengikuti gas [5,6].

III. ASPEK KESELAMATAN RADIASI NORM

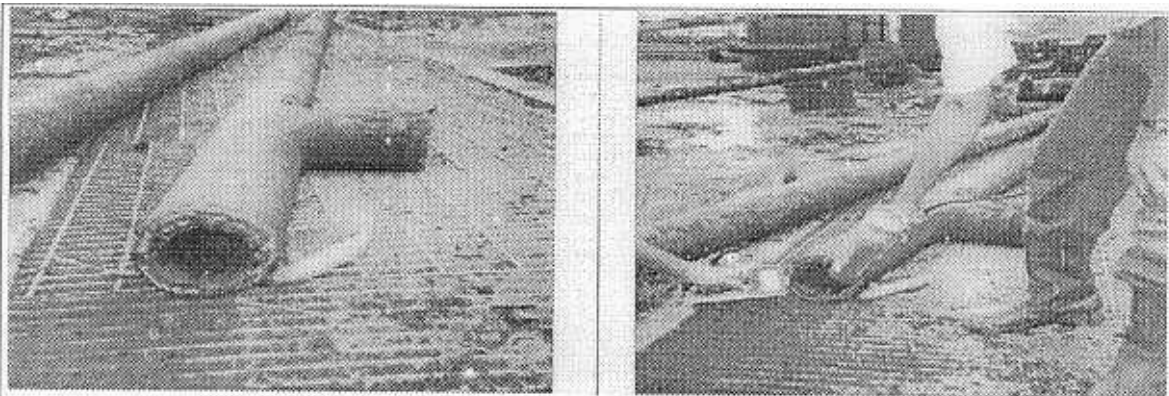
Dampak radiologi NORM terhadap pekerja, masyarakat sekitar dan lingkungan dapat berupa pajanan radiasi eksterna maupun interna. Potensi bahaya radiasi NORM dapat diterima tubuh melalui beberapa cara :

- ✓ Radionuklida-radionuklida pemancar gamma dari fasilitas-fasilitas produksi yang terkontaminasi NORM akan memberikan risiko pajanan radiasi eksterna pada pekerja yang berada di sekitarnya.
- ✓ NORM berupa partikel / debu yang tersuspensi dan terbawa masuk ke dalam tubuh melalui jalur pernafasan (inhalasi), berpotensi memberikan risiko pajanan radiasi interna.
- ✓ Gas radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) bersama anak luruhnya yang berasal dari fasilitas-fasilitas terkontaminasi NORM dapat terbawa masuk ke dalam tubuh melalui jalur pernafasan (inhalasi) sehingga berpotensi memberikan risiko pajanan radiasi interna [7,9].

Mereka yang terlibat langsung (pekerja industri), dan yang tidak terlibat langsung dalam kegiatan industri tersebut seperti masyarakat sekitarnya akan ikut menerima dampak radiasi NORM melalui salah satu atau tiga cara ini kalau seandainya NORM tidak dikelola dengan baik.



Gambar 1. Deret Peluruhan Uranium (^{238}U) dan Thorium (^{232}Th)



Gambar 2. Contoh *Scale* dalam pipa pada industri minyak bumi

Beberapa penelitian melaporkan bahwa NORM dapat memberikan kontribusi kenaikan radioaktif alam di lingkungan. Sebagai contoh Industri pupuk fosfat di Rotterdam Belanda dilaporkan telah menyebabkan terlepasnya sejumlah bahan radioaktif alam seperti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb dan ^{210}Po ke lingkungan. Sebagai akibatnya ikan-ikan dari sungai Rhein tempat pembuangan NORM mengandung ^{210}Po sebanyak 10 – 50 Bq/kg dan nilai tersebut jauh lebih tinggi 4 – 5 kali dibandingkan dengan ikan-ikan dari kawasan lain. Disamping itu telah terjadi pula kenaikan dosis efektif individual mencapai 150 μSv . Radium-226 pada contoh air dan sedimen sungai Rhein mencapai 10 – 50 kali lebih tinggi dibandingkan kawasan lain. Industri pupuk fosfat di Spanyol juga dilaporkan telah membuang limbah cairnya ke pesisir Tinto dan sungai Odjel. Sebagai akibatnya dosis efektif tahunan untuk kelompok kritis dilaporkan telah mencapai 60 μSv , terutama melalui jalur konsumsi ikan dan *crustacea* [11].

IV. SURVEI PENDAHULUAN (SCREENING SURVEY) NORM

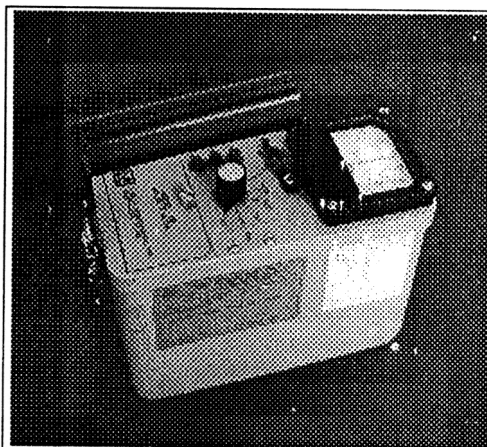
Berbeda dengan cemaran industri lainnya, NORM tidak dapat diidentifikasi dengan mudah

dengan panca indera manusia karena tidak mempunyai rasa, bau dan warna yang spesifik. Akan tetapi NORM dapat dideteksi keberadaannya menggunakan alat ukur radiasi yang jauh lebih peka dari panca indera manusia.

NORM sebagaimana yang telah dijelaskan diatas dominan terdiri dari radionuklida-radionuklida pemancar alfa. Radionuklida pemancar alfa tidak

mudah dideteksi karena sifat radisi alfa yang sangat kuat mengionisasi medium yang dilaluinya sehingga "rate of energy loss" nya sangat cepat dan partikel-partikel ini sudah berhenti pada jarak yang pendek. Pengukuran radiasi alfa memerlukan prosedur pemisahan kimia yang cukup rumit untuk memurnikan radionuklidanya. Terlebih lagi kalau NORM tersebut sudah tercampur dengan bahan lain seperti Lumpur atau air dan mengendap ditempat-tempat

tertutup seperti dalam pipa dan tanki. Namun demikian, karena radionuklida-radionuklida pemancar alfa ini dalam proses peluruhannya juga disertai radiasi gamma, maka keberadaan NORM dapat dideteksi secara langsung melalui radiasi gamma dari anak luruhnya dengan detektor khusus radiasi gamma tanpa melalui tahap pemisahan kimia.



Gambar 3. Survey meter MODEL 19 MICRO R METER

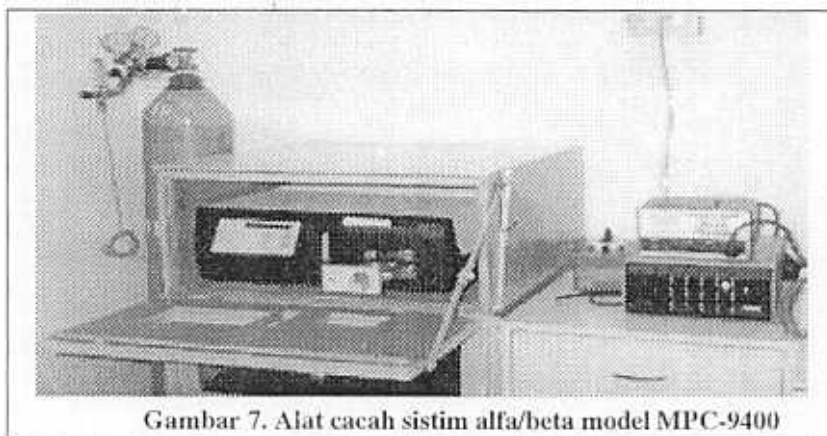
tetentu seperti dalam tanah, dalam ruangan atau dalam pipa, spektrometer gamma in-situ sekaligus bisa dipakai untuk menghitung konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam NORM.

Detektor HPGe mempunyai respon linear terhadap energi gamma dengan jangkauan yang cukup lebar, daya pisah (resolusi) energi tinggi, efisiensi tinggi, cacah latar rendah. Detektor semikonduktor Ge dioperasikan pada temperatur N₂ cair. Oleh karena itu detektor ini dilengkapi dengan dewar sebagai wadah N₂ cair untuk mendinginkan detektor sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4, Spektrometer gamma in-situ model INSPECTOR buatan CANBERRA yang dirangkai dengan detektor

digunakan untuk monitor kontaminasi permukaan.

V. PENENTUAN RADIONUKLIDA

Pengukuran konsentrasi masing-masing radionuklida yang terkandung di dalam NORM perlu dilakukan untuk memperkirakan dosis yang diterima. Dengan diketahuinya konsentrasi masing-masing radionuklida, dapat diperkirakan dosis efektif tahunan yang diterima pekerja industri. Dosis maksimum yang diizinkan untuk pekerja non radiasi sama dengan batas untuk masyarakat umum yaitu sebesar 5 mSv/tahun. Menurut rekomendasi IAEA terbaru batasan ini diturunkan lagi menjadi 1 mSv/tahun [13,14]. Untuk penentuan konsentrasi radionuklida di dalam NORM maka contoh NORM harus dibawa ke laboratorium untuk dianalisis kecuali penentuan gas radon dan thoron beserta anak luruhnya. Metode penentuan masing-masing radionuklida di dalam NORM berbeda-beda sesuai dengan jenis radionuklida dan sifat fisik atau wujud dari NORM tersebut. Berikut dijelaskan



Gambar 7. Alat cacah sistim alfa/beta model MPC-9400

HPGe model GC2020.

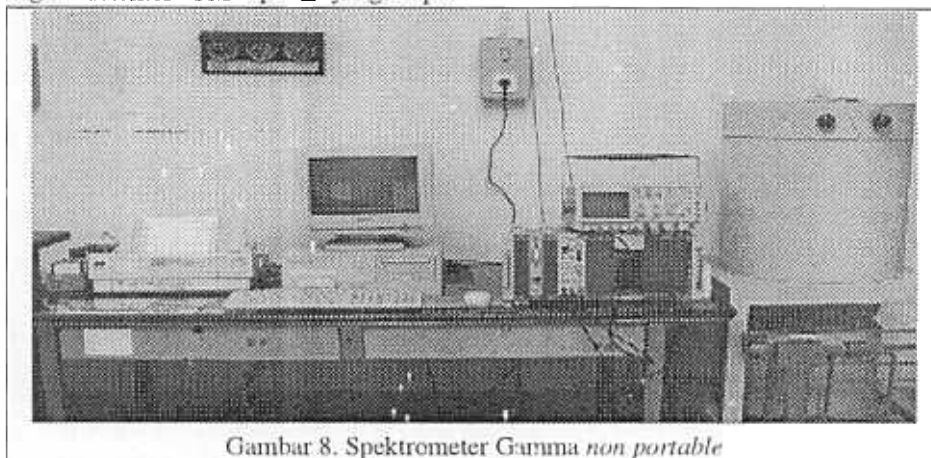
Gambar 5 adalah contoh spektrum gamma hasil pengukuran menggunakan spektrometer gamma in-situ. Apabila kontaminan NORM berupa lapisan kering yang sangat tipis, detektor khusus yang peka terhadap radiasi alfa atau beta dapat digunakan seperti *plastic scintillation* dan tabung Geiger yang mempunyai area luas dan *window* tipis.

Pada Gambar 6 diperlihatkan survey meter Mini Monitor Series 900 buatan Mini Instrument Ltd UK dengan detektor GM tipe E yang dapat

metode pengukuran radionuklida dalam NORM atau sampel-sampel lingkungan yang terkontaminasi NORM baik berupa padat, cair ataupun gas.

V. 1. Pengukuran aktivitas total (gross) alfa dan beta

Pengukuran aktivitas total (gross) alfa / beta biasa dilakukan sebagai analisis pendahuluan sebelum dilakukan analisis radionuklida tertentu. Hal ini dilakukan untuk melihat apakah contoh



Gambar 8. Spektrometer Gamma non portable

NORM perlu untuk dianalisis lebih lanjut atau tidak. Alat ukur untuk pengukuran aktivitas total (gross) alfa / beta adalah jenis detektor proporsional dengan isian gas P-10 yaitu campuran 90 % argon dan 10 % methan. Contoh NORM disiapkan atau dikeringkan dalam planset kemudian dicacah dengan alat cacah sistim alfa/beta. Alat cacah sistim alfa/beta latar rendah (*Low Background Counter*) model MPC-9400 buatan Protean Instrument Corp. USA. seperti yang ditampilkan pada Gambar 7 dapat digunakan untuk pengukuran aktivitas total alfa/beta NORM.

V. 2. Pengukuran konsentrasi ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam contoh padat

Konsentrasi ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra dan ^{40}K dalam contoh NORM yang berupa padatan dapat diukur secara langsung di laboratorium menggunakan Spektrometer gamma dengan detektor HPGe. Spektrometer gamma laboratorium pada dasarnya sama dengan spektrometer gamma in-situ. Pada Gambar 8 diperlihatkan spektrometer gamma *non portable* buatan ORTEC, USA dengan detektor HPGe model GMX-35195-P.

Contoh NORM yang sudah dikeringkan dimasukkan ke dalam beker marinelli, ditimbang dan dilem tutupnya supaya gas radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn) tidak ke luar. Contoh-contoh tersebut dibiarkan selama satu bulan menunggu kesetimbangan antara ^{226}Ra dan ^{228}Th dengan anak luruhnya. Spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar yang mempunyai geometri dan densitas yang sama dengan contoh. Konsentrasi ^{228}Ra ditentukan menggunakan energi gamma 911,07 dari ^{228}Ac dan konsentrasi ^{228}Th ditentukan menggunakan energi 238,63 keV dari ^{212}Bi . Sedangkan konsentrasi ^{226}Ra ditentukan melalui energi gamma 609,31 keV dari ^{214}Bi dan konsentrasi ^{40}K ditentukan melalui energinya sendiri yaitu 1460,75 keV [15].

V.3. Pengukuran konsentrasi ^{238}U dan ^{232}Th dalam contoh padat

Konsentrasi ^{238}U dan ^{232}Th ditentukan dengan teknik analisis pengaktifan neutron (*neutron Activation Analysis*). Contoh NORM hasil preparasi ditimbang 5 - 10 mg dimasukkan ke dalam vial atau plastik polietilen dan diséal. Cara yang sama juga dilakukan terhadap standar dan *reference material*. Vial yang berisi contoh dan standar disusun dalam

geometri yang sama dan dibungkus dalam aluminium foil selanjutnya dimasukkan ke dalam kapsul iradiasi. Kemudian kapsul diiradiasi selama 10 - 15 menit di fasilitas Rabbit Reaktor nuklir. Setelah pendinginan beberapa hari, contoh dan standar hasil aktivasi dicacah dengan peralatan spektrometer gamma. Konsentrasi ^{238}U dan ^{232}Th dihitung berdasarkan aktivitas ^{239}Np dan ^{233}Pa yang terbentuk setelah aktivasi.

V.4. Pengukuran konsentrasi ^{210}Pb dalam contoh padat

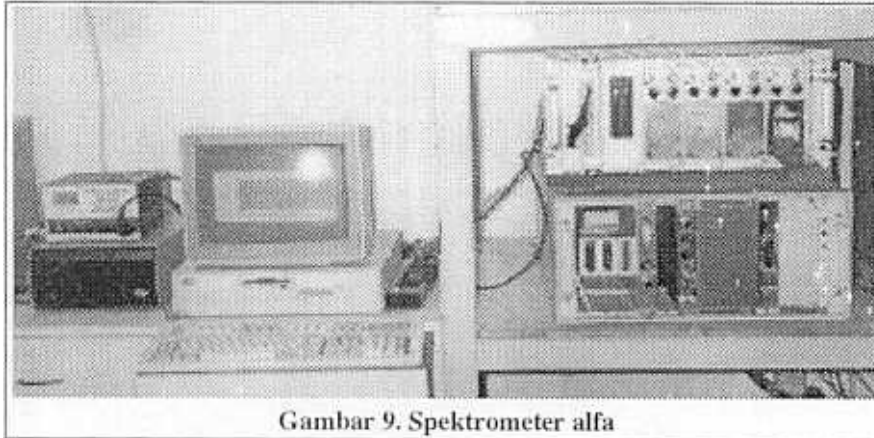
Konsentrasi ^{210}Pb ditentukan secara metode pengukuran langsung dengan spektrometer gamma dengan jenis detektor HPGe khusus untuk energi rendah (*Low Energy Photon*). Konsentrasi ^{210}Pb ditentukan melalui energi foton gamma 46,5 keV dengan intensitas 4 % [16].

V.5. Pengukuran konsentrasi ^{210}Po dalam contoh padat

Konsentrasi ^{210}Po ditentukan secara pemisahan kimia yaitu contoh dilicing dengan HNO_3 , H_2O_2 dan HClO_4 . Larutan hasil licing diuapkan, residu dilarutkan dalam HCl 0,5 M. Tambahkan *ascorbic acid* (Vit. C), masukkan *silver disc* ke dalam larutan sambil dipanaskan selama 6 jam pada suhu 70 – 90 °C. Po-210 akan terdeposit kepada *silver disc*, kemudian aktivitas ^{210}Po diukur dengan spektrometer alfa [17]. Detektor yang biasa digunakan dalam spektrometri alfa adalah detektor semikonduktor sawar muka silicon (*silicon surface barrier*). Pengukuran dengan spectrometer alfa memerlukan sumber cacah yang tipis dan rata untuk menghilangkan efek "self absorption". Teknik elektrodeposisi sangat baik sekali untuk preparasi radionuklida-radionuklida pemancar alfa yang akan dicacah dengan spektrometer alfa.

Dengan teknik ini sumber bisa dibuat melekat seara merata dan tipis pada permukaan *disc* yang akan dijadikan sebagai sumber cacah. Disamping itu pada spektrometer alfa, untuk menghindari hilangnya energi alfa dalam udara antara sumber dengan detektor, sumber cacah dan detektor ditempatkan dalam ruang vakum (*vacuum chamber*). Sebelum dilakukan pencacahan, udara dalam *vacuum chamber* dikeluarkan dengan bantuan pompa vakum. Tanpa divakum energi alfa akan hilang kira-kira 1 keV per 0,001 atm per cm jarak

sumber dengan detektor. Pada Gambar 9 diperlihatkan seperangkat alat spektrometer alfa buatan Tennelec, USA dengan detektor *silicon surface barrier* dilengkapi dengan *vacuum chamber*-nya.



Gambar 9. Spektrometer alfa

V.6. Pengukuran konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th dalam contoh air

Penentuan konsentrasi ^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th dalam contoh NORM berwujud cair atau air di lingkungan yang diperkirakan terkontaminasi dengan NORM diawali dengan prekonsentrasi U dan Th dengan cara kopresipitasi dengan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ setelah ditambahkan terlebih dahulu traser ^{232}U dan ^{229}Th [18]. Endapan dilarutkan dengan HNO_3 7 M, dilewatkan kedalam kolom resin penukar anion (Dowex AG 1x8) setelah resin dikondisikan terlebih dahulu dengan HCl 8 M. Selanjutnya dilakukan proses elektrodeposisi isotop-isotop U dan Th pada *stainless steel disc*. Aktivitas isotop-isotop U dan Th (^{238}U , ^{232}Th , ^{228}Th) dicacah dengan spektrometer alfa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.

V.7. Pengukuran konsentrasi ^{226}Ra , ^{228}Ra dalam contoh air

Metode yang lebih sederhana dan tidak memerlukan pemisahan kimia adalah metode penguapan. Contoh diuapkan sampai volume menjadi satu liter, kemudian dimasukkan ke dalam marinelli 1 L dan seal supaya gas radon dan thoron tidak keluar. Biarkan selama satu bulan menunggu kesetimbangan antara ^{226}Ra dengan anak luruhnya dan

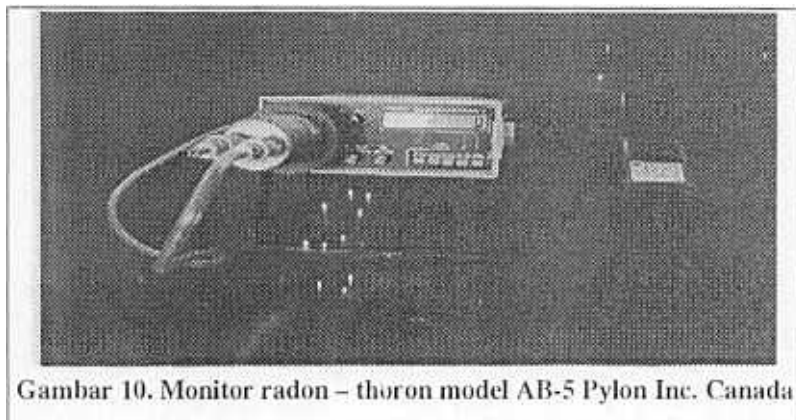
dicacah dengan spektrometer gamma. Metode ini hanya bisa dilakukan kalau contoh pada waktu diuapkan tidak menimbulkan endapan dari garam-garam yang terlarut dalam contoh. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan metode lain yaitu melalui pemisahan kimia. Prinsip dasar metode ini adalah

pertama pemekatan atau pemisahan Ra dari contoh air secara proses kopresipitasi dengan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, kemudian setelah dilarutkan dengan HNO_3 8 M dilakukan kembali kopresipitasi dengan BaCrO_4 . Setelah dilarutkan HCl 4 M, dilewatkan ke dalam kolom resin penukar

anion untuk memisahkan ion kromat. Efluen yang mengandung barium dan radium diuapkan sampai hampir kering. Setelah dilarutkan dengan CyDTA 0,05 M, pH larutan diatur 5,0 dengan HCl 1M dan NaOH 1 M. Lewatkan ke dalam kolom resin penukar kation dengan kecepatan alir 0,3 ml/menit. Selanjutnya kolom resin dielusi dengan HNO_3 dan isotop Ra di elektrodeposisikan pada *stainless steel disc*. Aktivitas Ra diukur dengan spektrometer alfa [19,20].

V.8. Pengukuran konsentrasi ^{210}Pb dan ^{210}Po dalam contoh air

Pengukuran ^{210}Pb dalam contoh cair tidak dapat dilakukan secara langsung seperti metode untuk contoh padat. Ke dalam contoh air, ditambahkan larutan pengemban Pb dan Bi (masing-masing 5 mg/ml). Kemudian dilakukan kopresipitasi bersama CaCO_3 dengan penambahan Na_2CO_3 dan



Gambar 10. Monitor radon – thoron model AB-5 Pylon Inc. Canada

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Endapan dilarutkan dalam HCl 3 N, dilakukan kopresipitasi kembali dengan BiOCl pada pH 4 untuk memisahkan ^{210}Po . Endapan dilarutkan dalam HCl 0,5 M kemudian tambahkan ascorbic acid (Vit. C), masukkan *silver disc* ke dalam larutan sambil dipanaskan selama 6 jam pada suhu 70 – 90 °C. Po-210 akan terdeposit kepada *silver disc*, kemudian aktivitas ^{210}Po diukur dengan spektrometer alfa. Ke dalam filtrat yang mengandung ^{210}Pb ditambahkan 25 mg Bi, kemudian dibiarkan selama lebih dari 5 bulan. Aktivitas ^{210}Pb ditentukan berdasarkan pengukuran aktivitas anak luruhnya yaitu ^{210}Po [21,22].

V.9. Pengukuran konsentrasi Gas radon (^{222}Rn) dan thoron (^{220}Rn)

Radon dan thoron dapat diukur konsentrasinya dengan metode langsung atau secara in-situ menggunakan alat gas radon-thoron monitor. Alat monitor portabel AB-5 buatan Pylon Kanada dengan detektor elektrostatik model Lucas cell merupakan salah satu instrumentasi nuklir yang dapat digunakan untuk mengukur gas radon dan thoron. Prinsip kerjanya, contoh udara ditiupkan ke dalam tabung Lucas cell, kemudian radon dan thoron di dalam tabung tersebut akan menumbuk sintilator dan akan meluruh menjadi anak-anak luruhnya. Karena anak luruhnya memancarkan partikel alfa, partikel ini berinteraksi dengan detektor menghasilkan pulsa-pulsa listrik dan dicacah oleh pencacah AB-5.

V.10. Pengukuran konsentrasi Luruhan radon dan thoron

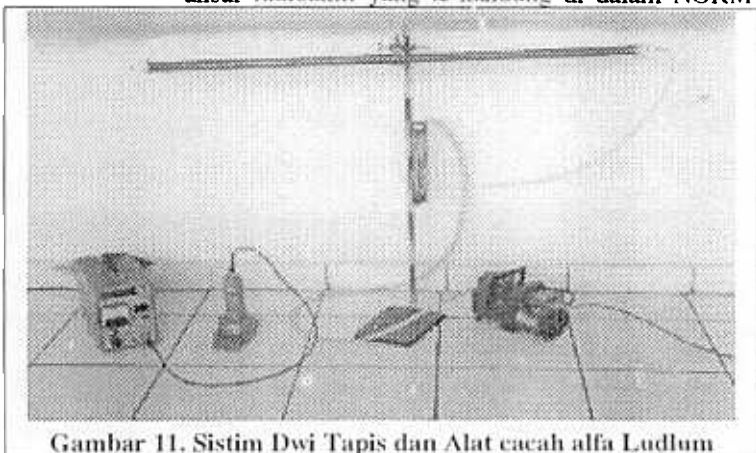
Meskipun radon dan thoron memiliki waktu paro pendek ($T_{1/2}$ radon = 3,8 hari, $T_{1/2}$ thoron = 55,6 detik), namun karena berbentuk gas yang dapat dihirup dan masuk kedalam paru-paru, dan seluruh anak luruhnya merupakan radionuklida pemancar alfa, sehingga radon dan thoron merupakan sumber radiasi interna yang sangat berbahaya. Batas tertinggi yang diijinkan untuk luruhan radon dan thoron masing-masingnya adalah 4 WLM dan 12 WLM [13]. Daerah kerja yang terkontaminasi NORM atau tempat penumpukan NORM yang sering

dikunjungi pekerja, perlu diukur hasil luruhan radon-thoron. Berdasarkan konsentrasi hasil pengukuran dapat diperkirakan berapa lama seorang pekerja boleh berada di tempat tersebut.

Hasil luruhan radon-thoron berupa partikel radioaktif dengan ukuran sekitar 0,15 mikrometer. Konsentrasinya dapat ditentukan dengan metode dwi tapis buatan P3KRBiN BATAN dan alat cacah alfa buatan Ludlum Measurement Inc. USA seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11. Udara dicuplik melalui kertas tapis (filter) dengan laju pencuplikan ~ 30 lpm selama 10 menit. Kemudian filter diambil dan dilakukan pencacahan dengan alat cacah alfa pada menit ke 2 – 7 dan menit 340 – 350 setelah akhir pencuplikan. Konsentrasi luruhan radon – thoron dinyatakan dengan tingkat kerja (*working level*). Tingkat kerja adalah konsentrasi energi alfa potensial (yaitu jumlah energi total per satuan volume udara dari partikel alfa yang dipancarkan pada peluruhan sempurna setiap atom dan turunannya) yang dihasilkan oleh turunan radon – thoron yang besarnya $1,3 \times 10^5 \text{ MeV m}^{-3}$, atau $2,1 \times 10^5 \text{ J m}^{-3}$.

VI. PENUTUP

Terbentuknya NORM pada industri-industri pertambangan dan industri yang menggunakan hasil tambang sebagai bahan baku adalah sebagai akibat dari terkonsentrasinya unsur radioaktif alamiah pada waktu proses produksi. NORM yang sudah memenuhi kriteria limbah radioaktif, bila tidak ditangani dan dikelola dengan baik dapat memberikan dampak negatif bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan berupa paparan radiasi eksterna dan radiasi interna melalui jalur pemapasan dan jalur pencernaan (makanan, minuman). Adapun unsur radioaktif yang terkandung di dalam NORM



Gambar 11. Sistem Dwi Tapis dan Alat cacah alfa Ludlum

umumnya adalah ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{222}Rn dan ^{220}Rn . Oleh karena itu pengelolaan terhadap NORM perlu mendapat perhatian yang serius untuk mengurangi paparan radiasi eksterna dan mencegah terjadinya paparan radiasi interna akibat masuknya radionuklida melalui jalur pencernaan (makanan, minuman) dan jalur pernafasan. Keberadaan NORM di industri – industri perlu dilakukan pengkajian supaya dampak radiologi dari NORM ini terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan dapat dikendalikan sedemikian rupa.

Mengingat di Indonesia cukup banyak industri-industri yang menghasilkan NORM, maka sudah saatnya diberikan fokus perhatian terhadap pengelolaan NORM di masing-masing daerah di seluruh Indonesia. Dengan telah dikeluarkannya UU No. 22/1999 yang disusul dengan PP No. 25/2000 tentang otonomi daerah maka pemerintah daerah berwenang mengelola sumber daya nasional yang tersedia di wilayahnya dan bertanggung jawab memelihara kelestarian lingkungan khususnya terhadap dampak negatif dari NORM untuk menjamin terpeliharanya daya dukung lingkungan dalam melaksanakan pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*) serta dapat meningkatkan kualitas hidup manusia dan daya dukung lingkungan untuk generasi dimasa yang akan datang.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- HEATON, B. and LAMBLEY, J., Tenorm in the Oil, Gas and Mineral Mining Industry, *J. Appl. Radiation and Isotop*, 46 (1995), 577 – 581.
- OESTERHUIS, L., Radiological Aspects of the Non-Nuclear Industry in the Netherlands Radiation Protection Dosimetry, 45 (1992), 703 – 705.
- HIPKIN, J., and PAYTER, R. A., Radiation Exposures to the Workforce from Natural Occurring Radioactivity in Industrial Processes, *Radiation Protection Dosimetry*, 36 (1991), 96 – 100.
- ANNALIAH I., SURTIPANTI S, S., BUNAWAS, MINARNI A., Pengukuran Kadar Radioaktivitas Alam dari Deposit Fosfat Alam dan Hasil Pengolahannya, Prosiding “Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir”, PPNY – Yogyakarta, 6 – 8 Maret 1989.
- MAJID A. A., and SARMANI S., Radiation and Contamination Survey of the Terengganu Offshore Facilities, *Proced. Radiation and Occupational Health Symposium, University of Malaya*, 22 & 23 November 1993.
- TESTA, C., DESIDERI, D., MELI, M. A., ROSELLI, C., BASSIGNAIRI, A., and FINOZZI, P. B., The Determination of Radium, Uranium and Thorium in Low Specific Activity Scales and in Water of some Oil and Gas Production Plants, *Proced. IRPA*, 8 (1992), 1286 – 1289.
- O'BREIN, R., PEGGIE, J. R., and LEITH, I. S., Estimation of Inhalation Doses Resulting from the Possible Use of Phospho-Gypsum Plaster Board in Australian Hones, *Health Physics*, 68 (1995), 561 – 570.
- LISCHINSKY, J., VIGLIANN, M. A., and ALLARD, D. J., Radioactivity in Zirconium Oxide Powders Used in Industrial Applications, *Helth Phys.* (1991) 859 – 862.
- SANDER HEIJDE, H. B., KLIJN, P. J., and W. F. PASSCHIER, Radiological Impact of the Disposal of Phosphogypsum, *Radiation Protection Dosimetry*, 24 (1988), 419 – 423.
- BUNAWAS, PUJADI, Industri dan Pencemaran Radionuklida Alam di Lingkungan, *Buletin ALARA*, 2 (2), (1998) 13 – 18.
- MARTINEZ AQUIRE, A., GARCIA LEON, M., and IVANOVICH, M., The Distribution of U, Th, and ^{226}Ra Derived from the Phosphate Fertilizer Industries on an Estuarine System in Southwest Spain. *J. Enviroment Radioactivity* 22 (1994) 155 – 177.
- American Petroleum Institute, Buletin on the Management of Natural Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Production. API Buletin E2, April 1992.
- IAEA, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources., *Safety Series No.115*, Vienna (1996).
- PASCHOA, A. S., Potential Environmental and Regulatory Implications of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM), *J. Applied Radiation Isotop*, 49 (3), (1998) 189 – 196.
- SUTARMAN, PRIWANTO, B., Pengukuran Konsentrasi Th-228, Ra-226 dan K-40 dalam Plasterboard fosfogypsum, Prosiding Presentasi

- Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan VII, 24 – 25 Agustus 1999.
16. Hussain N., Kim G., Church T. M., and Carey W., A Simplified Technique for Gamma Spectrometric Analysis of ^{210}Pb in Sediment Samples, *J. Applied Radiation and Isotopes*, 47 (1996) 473 – 477.
 17. Martinez Aquire A. and Garcia Leon M, ^{210}Po Distribution in Riverwaters and Sediments Near Phosphate Fertilizer Factories, *J. Applied. Radiation and Isotopes*, 47 (1996) 599 – 602.
 18. ROESSLER, C. E., SMITH, Z. A., BOLCH, W. E., and PRINCE, R. J., Uranium and Ra-226 in Florida Phosphate Materials, *Health Phys.* 37 (1979) 269 – 277.
 19. VAN DER HEIGDE, H. B., KLINJN, P. J., DUURSMA, K., EISMA, D., DE GROOT, D. J., HOGEL, P., KOSTER, H. W., and NOOYEN, J. L., Environmental Aspects of Phosphate Fertilizer Production in the Netherlands with Particular Reference in the Disposal of Phosphogypsum, *Sci. Total Environment*, 90 (1990) 203 – 225.
 20. PERIARIEZ, R., ABRIL, J. M., and GARCIA LEON, M., A Modelling Study of ^{226}Ra Dispersion in an Estuarine System in South-West Spain, *J. Enviroment. Radioactivity* 24 (1994) 159 – 179.
 21. Pennders R. M. J., Koster H. W., and Lembrechts J. F., Characteristics of ^{210}Po and ^{210}Pb in Effluents from Phosphate-producing Industries : a First Orientation Rad. Prot. Dos. 45 (1992) 737 – 740.
 22. CHOWDHURY, M. I., ALAM, M. N., HAZARI, S. K. S., Distribution of Radionuclides in the River Sediments and Coastal Soils of Chittagong, Bangladesh and Evaluation the Radiation Hazard, *J. Applied. Radiation and Isotopes*, 51 (1999) 747 – 755.

DISKUSI

Kamarul Hajar- PT. Krakatau Steel

Saya pernah ditawari BATAN suatu alat ukur radiasi berupa "gate" yang berfungsi mengontrol keluar masuknya bahan besi secara kontinu. Apakah alat ini sudah di rekomendasikan oleh BATAN.

Wahyudi-P3KRBiN

Untuk penggunaan alat ukur radiasi BATAN tidak merekomendasikan , BATAN hanya menyarankan penggunaan alat berdasarkan pengalaman.

Agus Sutan- PT. Krakatau Steel

Bagaimana cara mengukur NORM dalam volume yang begitu luas , misalnya di PT Krakatau Steel terdapat bayak serab (besi bekas) yang akan diolah kembali.

Wahyudi-P3KRBiN

Pertama dilakukan dengan screening survey apabila paparan radiasi > 50 uR/jam maka lokasi tersebut perlu diperlakukan secara khusus seperti pada daerah radiasi. Screening survey sebaiknya menggunakan survey meter skala rendah (uR/jam) dengan detektor NaI(Tl)