

**PROBLEMATIKA UNREPORTED PU PRODUCTION DI DALAM PENGOPERASIAN
REAKTOR RISET DITINJAU DARI SISI SEIFGARD**

Endang Susilowati

ABSTRAK

PROBLEMATIKA UNREPORTED PU PRODUCTION DI DALAM PENGOPERASIAN REAKTOR RISET DITINJAU DARI SISI SAFEGUARDS. Isu *unreported Pu production* muncul dalam kaitannya dengan kajian jalur penyimpangan di dalam fasilitas nuklir yang berpotensi dimanfaatkan oleh operator untuk memproduksi bahan nuklir secara ilegal. Reaktor riset dengan daya sama atau lebih dari 25 Mwatt termal dipertimbangkan mampu memproduksi sejumlah berarti, 8 kg untuk isotop plutonium dalam rentang waktu 1 tahun. Dari sisi seifgard bahan nuklir, fenomena ini perlu dicermati dan ditangkal jangan sampai terjadi karena plutonium adalah salah satu bahan dasar senjata nuklir. Skenario *unreported Pu production* dilaksanakan dengan melakukan iradiasi pada sejumlah target uranium alam di dalam/ di sekeliling teras reaktor. Makalah ini membahas tentang problematika *unreported Pu production* didalam pengoperasian reaktor riset, meliputi strategi penyimpangan yang mungkin dilakukan operator, *possible indicator* yang muncul serta tindakan seifgard untuk menangkalnya. Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa pengoperasian reaktor riset berpeluang disalahgunakan untuk produksi Pu. Yang pertama karena reaktor riset dioperasikan secara *discrete* dan yang kedua karena adanya posisi iradiasi didalam teras reaktor yang dapat digunakan untuk mengiradiasi target bahan fertil. *Possible indicator* yang muncul atau terpantau perlu segera ditindak lanjuti. Begitu juga tambahan peralatan baru berupa monitor daya seperti ATPM, perlu dipasang pada sistem primer reaktor untuk secara independen memperoleh data sumber secara akurat agar ada/tidaknya kegiatan produksi Pu secara ilegal dapat segera ditindak lanjuti.

Kata kunci : reaktor riset; seifgard; plutonium

ABSTRACT

SAFEGUARDS POINT OF VIEW ON PROBLEM ASSOCIATE WITH UNREPORTED PU PRODUCTION WITHIN RESEARCH REACTOR OPERATION. Issue of *unreported production of plutonium* appear on the assessment of possible proliferation path ways occur at a nuclear facilities in which facility operator may utilize this path ways to illegally produce nuclear material. A research reactor with 25 MWatt thermal power output or more is considered to be able to produce 1 significant quantity of 8kgs during 1 year reactor operation. From safeguards point of view, this phenomena needs attention and deterrence due plutonium hazardous as nuclear base weapon. Fertile target ^{238}U is irradiated into reactor core or irradiated at the pheriphery of reactor core. Quantities of irradiated targets depending on the availability of irradiation position at the reactor core or at the pheriphery of the reactor core without abusing

safety aspect or limiting condition of reactor operation are not violated. This paper discuss problems associated with unreported production of Pu during reactor operation, consisting of diverting scenario, possible indicator appear and safeguards requirement and correct approaches to deter it. From discussion it can be concluded that unreported Pu production may be conducted within research reactor operation due to mode of research reactor operation is discrete and availability of irradiation position in research reactor core give a chance for operator to illegally irradiate fertile target. Possible indicator appear should be responded soon. Safeguards equipment such as advance thermal power monitor (ATPM) must be installed at primary cooling system in order to decide whether illegal Pu production need further action.

Key words :research reactor; safeguards; plutonium

PENDAHULUAN

Reaktor riset dengan daya tinggi ≥ 25 MWatt termal dipertimbangkan mampu memproduksi sejumlah berarti plutonium (Pu), yaitu 8 kg, melalui iradiasi bahan fertile ^{238}U secara ilegal/ tidak dilaporkan. Tindakan ilegal ini dalam terminologi seifgard dinamakan *unreported plutonium (Pu) production*.¹⁾ Target uranium alam dengan kandungan ^{238}U sekitar 99,3% diiradiasi di dalam/ di sekeliling teras reaktor selama periode waktu dan fluks neutron tertentu. Jumlah target yang diiradiasi disesuaikan dengan posisi iradiasi yang tersedia di teras reaktor dengan mempertimbangkan aspek atau batas keselamatan operasi yang pada hakekatnya telah dipatuhi oleh operator.

Isu *unreported Pu production* muncul dalam kaitannya dengan kajian jalur penyimpangan di dalam fasilitas nuklir yang berpotensi dimanfaatkan oleh operator untuk memproduksi bahan nuklir secara ilegal. Bahan nuklir yang dihasilkan akan disembunyikan atau berpeluang untuk tidak dilaporkan. Dari sisi seifgard, fenomena ini menjadi pemikiran serius dan memerlukan tindak penangkalan karena Pu merupakan salah satu bahan senjata nuklir. Keakuratan produksi Pu pada masing-

masing reaktor dipengaruhi oleh karakteristik reaktor yang diwakili oleh unjuk kerja neutronik dan unjuk kerja termohidraulik.

Pada umumnya reaktor riset dioperasikan pada rentang daya sesuai dengan disainnya serta mengacu kepada batas keselamatan yang diijinkan. Akibat penambahan target fertil yang diiradiasi ke dalam/ sekeliling teras, panas yang dibangkitkan di dalam teras menjadi lebih besar dibanding dengan pengoperasian reaktor tanpa target fertil. Apabila target yang diiradiasi cukup signifikan dan target diiradiasi dalam jangka waktu yang lama, panas yang dihasilkan teras reaktor akan berlebih. Situasi ini berpotensi menimbulkan kecelakaan karena bahan bakar akan menerima panas berlebih, akibatnya integritas bahan bakar terganggu dan akhirnya meleleh serta produk fisi yang sangat radioaktif akan lolos. Untuk mengatasi rusaknya bahan bakar, kapasitas pendinginan perlu ditambah.

Makalah ini membahas tentang strategi penyelewengan yang dilakukan operator, *possible indicator* yang merupakan petunjuk atas situasi yang sedang dilakukan operator serta tindakan seifgard untuk menangkalnya. Meskipun pendeteksian *unreported Pu production* tidak dapat secara

langsung dilaksanakan dengan hanya memantau parameter terkait, terpantaunya kondisi operasi yang sangat berbeda antara kondisi normal dan kondisi adanya tambahan target bahan fertil yang sedang diiradiasi dapat membangkitkan kesadaran *knowledgeable safeguards inspector* untuk waspada dan menindaklanjuti anomali yang terjadi. Diharapkan tulisan ini dapat bermanfaat menambah wawasan pengetahuan dibidang *safeguards* bahan nuklir dan selanjutnya tujuan teknologi nuklir hanya untuk kesejahteraan dan kepentingan damai dapat terwujud.

PROBLEMATIKA UNREPORTED PU PRODUCTION

Unreported production atau produksi yang tidak dilaporkan adalah produksi ^{239}Pu pada reaktor riset melalui iradiasi target yang mengandung bahan fertil ^{238}U . Kemampuan reaktor riset untuk memproduksi Pu dibatasi oleh salah satunya adalah ketersediaan posisi iradiasi untuk menempatkan target bahan fertil. Biasanya posisi iradiasi berada di dalam teras reaktor diantara bahan bakar atau posisi iradiasi dapat ditemukan disekeliling teras reaktor yaitu dengan mengganti *movable* reflektor, sebagai contoh adalah reflektor Be elemen yang ditempatkan di sekeliling teras RSG-GAS.

Operasi reaktor riset pada umumnya lebih fleksibel dibanding dengan operasi reaktor daya. Pemanfaatan reaktor riset untuk produksi isotop, uji bahan, *neutron beam experiment*, *fuel safety experiment* dan lain-lain membutuhkan reaktor riset harus dioperasikan secara tidak terus-menerus sebagaimana yang dilakukan pada reaktor daya. Sifat operasi yang tidak terus menerus ini berpeluang untuk disimpangkan untuk memproduksi Pu, yaitu dengan mengiradiasi target ^{238}U .

Faktor lain yang perlu diketahui adalah bahwa sebagian besar reaktor riset

dirancang agar dapat dioperasikan dengan handal. Berkaitan dengan strategi *unreported Pu production*, batas keselamatan dapat dinaikkan ketika target bahan fertil diiradiasi di dalam teras. Kondisi ini akan menaikkan daya reaktor, meskipun demikian batas keselamatan masih dapat dipertahankan. Sebab pertama adalah bahwa efek dari target yang ditempatkan di posisi iradiasi, khususnya di dalam teras reaktor bukan target yang ditempatkan disekitar teras, dapat menurunkan perbandingan fluks neutron maksimum dan fluks neutron rerata, dan selanjutnya juga menurunkan perbandingan rapat daya maksimum dan rapat daya rerata serta perbandingan fluks panas maksimum dan fluks panas rerata. Daya reaktor ditentukan oleh rapat daya rerata, tetapi margin keselamatan ditentukan utamanya oleh harga rapat daya maksimum. Sebab kedua adalah bahwa pemuatan target fertil akan membentuk jalur aliran baru bagi pendingin primer, akibatnya rintangan kalang pendingin primer berkurang.

Mekanisme pengoperasian reaktor yang pada hakekatnya adalah proses atau interaksi neutron dengan materi akan bertambah kompleks apabila operator secara bersamaan berniat memproduksi Pu dengan mengiradiasi target bahan fertil. Kerumitan ini semakin bertambah karena produksi Pu tidak linier dengan fungsi waktu iradiasi. Kecepatan produksi Pu berkurang dengan naiknya neutron *fluence* (jumlah neutron dikalikan waktu iradiasi). Oleh sebab itu agar Pu yang diproduksi maksimal, target harus segera dikeluarkan dari reaktor. Kendalanya adalah pengambilan target dari posisi iradiasi secara rutin sulit. Meskipun demikian metoda ini dipandang sebagai metoda atau strategi yang paling memungkinkan untuk dilakukan, sebab kalau target terlalu lama diiradiasi ^{239}Pu yang diproduksi akan menyerap neutron dan membentuk ^{240}Pu . ^{240}Pu bukan merupakan bahan pembuat senjata nuklir yang disenangi.

Semakin lama target berada di dalam teras reaktor semakin banyak ^{240}Pu terbentuk.

Konsumsi bahan bakar pada reaktor riset yang sedang digunakan untuk produksi Pu juga akan terpengaruhi. Konsumsi bahan bakar/ tingkatan fraksi bakar akan berkurang disebabkan kontribusi ^{235}U di dalam target. Jika penggantian bahan bakar dilaksanakan secara normal, tingkatan fraksi bakar akan lebih kecil. Sebaliknya jumlah bahan bakar yang dikeluarkan dari teras reaktor akan semakin banyak untuk mengimbangi reaktifitas lebih yang disebabkan oleh jumlah/ banyaknya target bahan fertil yang diiradiasi.

Secara teknis banyaknya target bahan fertil dapat dioptimumkan, namun kondisi optimum dengan mudah akan terdeteksi oleh inspektur yang berpengalaman. Oleh sebab itu biasanya operator lebih menyukai strategi yang *less optimum* tetapi mudah untuk menyembunyikan.

SKENARIO PRODUKSI PLUTONIUM

Scenario/ strategi untuk memproduksi Pu secara ilegal melibatkan aspek teknis berkaitan dengan fisika reaktor, perpindahan panas dan aspek pengoperasian reaktor lainnya. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan di dalam merealisasi *unreported Pu production* adalah ²⁾:

a. Bahan/ bentuk fisik dan disain target fertil

1. Bahan / bentuk fisik target

Logam uranium adalah bahan target yang lebih disukai untuk diselewengkan karena densitasnya tinggi sehingga volume target menjadi lebih kecil dibandingkan apabila target terbuat dari uranium bentuk oksida UO_2 atau U_3Si_2 . Dari segi pengkayaan, uranium deplesi atau uranium alam adalah bahan target yang mudah didapat. Dalam

hal U deplesi *reactivity poisoning effect* dari ^{238}U mempunyai pengaruh yang besar terhadap operasi reaktor dibanding U alam. Berkaitan dengan hal pengkayaan, jumlah bahan target yang dapat diiradiasi pada prinsipnya dibatasi oleh banyaknya panas yang dibangkitkan oleh reaksi fisi di dalam target itu sendiri. Target yang diperkaya membutuhkan pendinginan lebih dibanding dengan target U alam, sehingga dipandang penggunaan target diperkaya tidak mempunyai keunggulan.

2. Disain Target

Karakteristik perpindahan panas yang melekat pada disain target akan membatasi strategi produksi maksimum Pu. Disain target perlu diperhatikan ketika memperkirakan jumlah target yang dapat diiradiasi di dalam teras reaktor. Disain target perlu mengakomodasikan ruang untuk mengalirkan aliran pendingin. Karakteristik penyerapan neutron dari bahan target perlu dipikirkan dan perlu dipertimbangkan juga bahwa disain target harus dapat mengoptimalkan *self shielding* sehingga dapat mengurangi jumlah bahan target yang diiradiasi.

b. Pola Pemuatan Target Kedalam Teras

Ketidak leluasaan dalam menempatkan target ke dalam posisi iradiasi disebabkan pertama adalah : Target fertil harus berada di tempat dengan paparan fluks neutron tinggi, kedua tangkapan neutron ^{238}U adalah proses resonansi yang terjadi terutama pada rentang energi 5eV – 200 eV dan secara relatif adalah tampang lintang kecil untuk neutron termal. Oleh sebab itu penempatan target disekeliling neutron termal adalah tidak layak. Sebagai contoh adalah

pemuatan target di *experimental hole*. Tempat ini kurang efisien karena terpapar neutron termal akibatnya bahan fertil yang dibutuhkan untuk memproduksi Pu harus dalam jumlah yang sangat besar. Sebab ketiga adalah bahwa panas yang terbangkit di dalam target harus dipindahkan. Penempatan target yang tidak bersinggungan dengan aliran pendingin membutuhkan pendinginan khusus.

Penempatan target fertil di bagian tengah teras adalah sangat layak. Panas yang terbangkit pada target dapat didinginkan oleh aliran pendingin yang mengalir di sela-sela bahan bakar. Pola penempatan bahan fertil juga dapat dilakukan dengan mengganti satu atau lebih pelat bahan bakar dengan bahan fertil. Cara ini perlu bekerja sama dengan pihak fabrikasi. Kelemahan cara ini ada kemungkinan terdeteksi ketika secara acak inspektur memverifikasi tingkat pengkayaan bahan bakar segar. Pada bahan bakar yang mengalami pemalsuan, tingkat pengkayaan ^{235}U akan lebih rendah. Masalah yang timbul dengan cara *plate replacement* ini adalah bahwa bahan bakar bekas terpalsukan perlu dipisahkan dari bahan bakar normal agar pengambilan Pu dapat dilakukan.

Pola pemuatan alternatif lainnya adalah dengan mengganti semua pelat bahan bakar normal dengan bahan fertil. Akibat yang ditimbulkan adalah reaktivitas teras akan berkurang karena jumlah ^{235}U berkurang dan penyerap neutron yang berasal dari bahan fertil ^{238}U bertambah. Pemuatan bahan fertil dengan mengganti beryllium elemen reflektor. Di sekeliling reflektor sebagian besar neutron yang dihasilkan oleh reaksi fisi telah mengalami pelemahan dan berubah menjadi neutron termal. Oleh sebab itu apabila target fertile

ditempatkan di sekeliling reflektor, massa bahan fertile harus banyak.

PENDEKATAN SEIFGARD

Kebijakan dan pendekatan seifgard yang dilakukan IAEA untuk semua reaktor riset dengan daya ≥ 25 MWatt memerlukan perhatian tambahan yaitu apakah reaktor tersebut mampu/ tidak mampu memproduksi *unreported* Pu di dalam atau di sekeliling teras reaktor dimana fluks neutron cukup untuk memproduksi Pu sebanyak 1 SQ/ tahun. Persyaratan tambahan sebagai pendekatan seifgard dilaksanakan apabila ¹⁾:

- Terdapat posisi iradiasi di dalam atau di seliling teras reaktor dimana fluks neutron cukup untuk memproduksi Pu tanpa memodifikasi struktur/ sistem reaktor
- Ketika target fertile diiradiasi, reaktor tetap dapat dioperasikan dengan selamat
- Sistem perpindahan panas mampu untuk memindahkan panas yang dibangkitkan oleh target

Jika data yang diperlukan untuk menginvestigasi kemampuan reaktor berkaitan dengan *unreported Pu production* tidak tersedia di dalam *Design Information Questionnaire* (DIQ), maka data perlu dicari dari sumber lain.

Jika dari hasil pengkajian dipertimbangkan reaktor mampu untuk memproduksi *unreported Pu* tanpa memodifikasi struktur maka ketersediaan posisi iradiasi harus diverifikasi ketika inspeksi seifgard berlangsung. Pendekatan seifgard harus memungkinkan IAEA untuk mendapatkan data/ informasi secara independent (monitor daya) perihal proses/ mode pengoperasian reaktor termasuk daya yang dihasilkan reaktor dengan tujuan untuk menjamin bahwa reaktor beroperasi normal dan tidak dioperasikan

sebagaimana operasi reaktor untuk produksi Pu. Sebaliknya apabila produksi Pu dapat dilakukan dengan memodifikasi struktur reaktor, perhatian harus ditujukan kepada DIQ. Dokumen ini harus secara periodik minimum 1 kali/ tahun diriviu untuk menjamin bahwa modifikasi terhadap struktur reaktor untuk mengkompensasi akibat keselamatan atas *unreported Pu production* tidak dilakukan operator. Pengkajian dan evaluasi terhadap konsumsi bahan bakar segar dan data fraksi bakar bahan bakar bekas dilaksanakan untuk menguji konsistensi antara laporan/ data pengoperasian reaktor dan data sumber.

Mengacu kepada pendekatan seifgard yang dilaksanakan untuk reaktor riset, menyimpulkan bahwa *unreported Pu production* sulit dideteksi hanya dengan memantau parameter yang mudah teramati saja.³⁾ Meskipun demikian, terdapat perbedaan kondisi yang mudah dideteksi antara reaktor operasi normal dengan reaktor beroperasi untuk memproduksi sejumlah berarti (1SQ) *unreported Pu*. Teramatinya perbedaan ini memberi sinyal akan adanya penyimpangan seifgard. Tanda –tanda tersebut adalah:

1. Keberadaan Pu berpotensi untuk terdeteksi oleh peralatan/ instrumentasi seifgard
2. Keberadaan target teriradiasi/ tak teriradiasi yang mengandung fraksi ²³⁸U dalam jumlah besar di dalam teras reaktor atau kolam penyimpan bahan bakar bekas
3. Perpindahan komponen teras yang frekuensinya sangat sering dibanding ketika reaktor operasi normal
4. Pemakaian komponen berat untuk memindahkan pin/ pelat bahan bakar
5. Tingkatan fraksi bakar bahan bakar bekas menurun pada tingkatan daya reaktor yang tetap
6. Terjadinya perubahan struktur yang dirancang untuk memindahkan komponen di sekitar teras reaktor
7. Pengurangan fungsi reaktor sebagai penyedia neutron untuk eksperimen dan produksi isotop.

Inspektur perlu mempunyai kemampuan untuk mendeteksi adanya perubahan sebagai yang disebutkan diatas. Karakteristik reaktor yang menjadi tanggung jawabnya perlu dipelajari dan dikaji melebihi dari apa yang disebutkan didalam *DIQ*. Peralatan/ instrumen untuk mendeteksi daya reaktor perlu dipasang untuk memverifikasi daya reaktor.

PEMBAHASAN

Unreported Pu production/ produksi Pu secara ilegal adalah salah satu bentuk penyalahgunaan fasilitas nuklir untuk memproduksi dan mengumpulkan bahan senjata nuklir. Terdapat dua macam bahan nuklir yang dapat dijadikan senjata nuklir meliputi uranium pengkayaan tinggi dan plutonium. Uranium terjadi di alam (uranium alam). Plutonium diperoleh dari proses fisi di dalam reaktor riset ataupun reaktor daya. Pengkajian seifgard berkenaan dengan *plausible path ways* untuk secara ilegal memproduksi dan mengumpulkan bahan senjata nuklir memunculkan beberapa fenomena antara lain adalah bahwasanya reaktor riset mempunyai potensi untuk memproduksi Pu secara ilegal dibandingkan dengan reaktor daya.

Pada struktur *grade plate* teras reaktor riset, terdapat beberapa posisi yang sengaja tidak diisi dengan bahan bakar tetapi diperuntukkan untuk insersi target/ sampel. Selain itu masih ada kemungkinan untuk menambahkan jumlah target untuk diiradiasi di luar teras reaktor, yaitu dengan memindahkan beryllium (Be) reflektor yang menempati *grade*

plate di sekeliling bahan bakar. Sebagai contoh adalah *grade plate* (lubang) teras reaktor RSG-GAS dengan struktur 10 x 10 *grade plate*. Elemen bakar dan elemen kendali menempati 48 posisi dengan posisi sisa sebanyak 52 lubang yang sebagian besar ditempati oleh Be reflektor. Oleh sebab itu peluang untuk melakukan kegiatan produksi Pu adalah dengan melakukan iradiasi target bahan fisil di posisi iradiasi di sela-sela bahan bakar dan posisi sisa, diluar *grade plate* bahan bakar yaitu sebanyak 52 lubang. Beberapa posisi iradiasi yang diperuntukan untuk melakukan insersi target bahan fisil ini tidak tersedia pada reaktor daya, semua *grade plate* teras reaktor daya diisi oleh bahan bakar. Oleh sebab itu tidak ada peluang untuk melakukan kegiatan produksi Pu secara ilegal.

Pengoperasian reaktor daya dijalankan secara terus menerus selama 12 – 18 bulan. Pola pengoperasian ini tidak menguntungkan untuk melakukan produksi Pu secara ilegal karena dalam waktu iradiasi yang lama ^{239}Pu yang dihasilkan di dalam teras reaktor akan meluruh menjadi ^{240}Pu . Sifat yang melekat yaitu sifat fisik dan sifat kimia pada ^{240}Pu menyulitkan isotop ini untuk diproses menjadi senjata nuklir dibanding sifat isotop ^{239}Pu . Sebaliknya pengoperasian reaktor riset dengan pola *discrete* merupakan suatu keunggulan untuk memproduksi ^{239}Pu . Meskipun untuk melaksanakan tujuan ilegal tersebut kondisi-kondisi tertentu misal daya dan ketersediaan posisi iradiasi harus memenuhi syarat.

Sebagai contoh adalah model pengoperasian RSG-GAS, setiap siklus operasi dengan rentang waktu 3 – 4 bulan terdiri dari dua kali pengoperasian jangka panjang (11 hari); lima kali pengoperasian jangka pendek (4 hari); tujuh kali perawatan masing-masing 2 hari; satu kali *refueling*, dilakukan sebelum operasi awal (16 hari). Perawatan dilakukan antar waktu operasi. Mengacu kepada model pengoperasian

tersebut, peluang untuk memasukan/mengeluarkan target fertil dapat dilakukan pada saat perawatan (2 hari). Model pengoperasian ini dipandang dari sudut kegiatan ilegal menguntungkan, karena isotop Pu yang terbentuk adalah ^{239}Pu yang merupakan bahan nuklir yang cocok sebagai bahan senjata nuklir. Pada pengoperasian PLTN, isotop Pu yang terbentuk adalah ^{240}Pu dan merupakan bahan yang tidak disukai sebagai bahan senjata nuklir.

Meskipun ada peluang, tidak serta merta kegiatan ilegal ini mudah dilakukan bahkan kemungkinan besar diperlukan modifikasi sistem pendingin untuk mengantisipasi tambahan panas yang timbul dari target bahan fisil.

Mengacu kepada fenomena sebagai yang dicontohkan diatas, diperlukan persyaratan dan pendekatan yang cocok untuk menangkalnya selain pendekatan seifgard yang telah secara rutin dilakukan

Dari hanya mengamati parameter operasi dan aspek keselamatan yang diakibatkan oleh tindakan *unreported Pu production* saja sulit untuk membenarkan bahwa operator sedang memproduksi Pu secara ilegal. Meskipun demikian beberapa *possible indicator* dapat dijadikan petunjuk untuk melakukan tindakan verifikasi seifgard sehingga penyelewengan dapat dicegah. Sebagai contoh adalah apabila produksi Pu dari bahan fertil dicurigai dilakukan operator, maka akan ada target bahan fertil yang difabrikasi, dikirim ke reaktor, disimpan dan kemudian pada waktu tertentu diinsersikan ke dalam/sekeliling teras reaktor. Setelah diiradiasi, target dengan radioaktivitas tinggi dapat dipindahkan dengan segera atau diinginkan di kolam penyimpanan gedung reaktor sebelum dipindahkan keluar fasilitas reaktor. Pemindahan ini memerlukan *shielded container*, akibatnya komponen teras bertambah. *Short notice inspection* atau

inspeksi mendadak adalah salah satu upaya untuk mencegah kegiatan ilegal.

Contoh lain dari *possible indicator* adalah jika target fertil diiradiasi di dalam reaktor, akibatnya adalah bahwa konsumsi bahan fisil yang terkandung di dalam bahan bakar akan berkurang tanpa menurunkan daya reaktor. Atau sebaliknya konsumsi bahan fisil tidak berubah tetapi daya reaktor bertambah. Untuk mengidentifikasi anomali ini daya reaktor dan komposisi isotop pada bahan bakar bekas perlu secara independen diverifikasi. Pemasangan alat *Advance thermal power monitor* (ATPM) di sistem pendingin primer, sebagai yang dipasang di RSG-GAS (karena daya termal RSG-GAS adalah 30MW) adalah usaha IAEA untuk secara independen mengukur daya reaktor dalam jangka waktu tertentu. Dengan menganalisis keluaran daya beserta model operasinya, informasi perihal kegiatan produksi Pu secara ilegal dapat dikonfirmasi.

Pemikiran lanjut yang perlu diwaspadai adalah tersedianya *hot cell* di balai operasi reaktor. *Hot cell* dapat bertindak sebagai fasilitas untuk memisahkan Pu yang terkandung di dalam target.

KESIMPULAN

Pengoperasian reaktor riset berpeluang disalahgunakan untuk produksi Pu. Yang pertama karena reaktor riset dioperasikan secara *discrete* dan yang kedua karena adanya posisi iradiasi didalam teras reaktor yang dapat digunakan untuk mengiradiasi target bahan fertil.

Possible indicator yang muncul atau terpantau perlu segera ditindak lanjuti. Begitu juga tambahan peralatan baru berupa monitor daya seperti ATPM, perlu dipasang pada sistem primer reaktor untuk secara independen memperoleh data sumber secara akurat agar ada/ tidaknya kegiatan produksi Pu secara ilegal dapat segera ditindak lanjuti.

DAFTAR PUSTAKA

1. International Atomic Energy Agency. "Safeguard Criteria" SMR-IAEA, 2004
2. Jared S. Dreiser and Debra A. Rutherford "Global Estimation of Potential of Unreported Plutonium Production at Thermal Research Reactor" Safeguards System Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA 1996
3. T. F. Moriarty, and V. N. Bragin, "Unreported Plutonium Production At Large Research Reactors," Nucl. Mater. Manage. XXIII, 1994.