

BAB III

DATA PERATURAN-PERATURAN TENTANG KEAMANAN PENGGUNAAN ENERGI NUKLIR

3.1. PERATURAN INTERNASIONAL TENTANG KEAMANAN PENGGUNAAN ENERGI NUKLIR

Salah satu hal yang paling mendasar dari seluruh peraturan mengenai penyelenggaraan K3 pada instalasi nuklir adalah memastikan bahwa semua fasilitas nuklir dapat difungsikan dan dinonaktifkan dengan baik dan secara aman. Bagaimanapun juga, dalam menyelaraskan kedua hal tersebut, peraturan itu harus berpegangan pada acuan bahwa pelaksana kerja (operator) mempunyai tanggung jawab terhadap pengoperasian fasilitas nuklir dengan baik. Peran peraturan di sini adalah memberikan pengawasan terhadap aktivitas operator dalam kaitan tanggung jawabnya tersebut.

Terdapat banyak sumber yang dapat digunakan oleh pemerintah yang berhubungan dengan K3 pada semua fasilitas nuklir, seperti laporan inspeksi, laporan pengalaman pemakaian, hasil riset, pengecekan K3 berkala, dan hasil analisis probabilitas penyelenggaraan K3, dalam wawasan IAEA dan informasi lainnya yang serupa. Tantangan terbesar bagi pemerintah adalah mengumpulkan informasi secara sistematis dan melakukan analisis terhadap informasi tersebut yang bertujuan untuk mendapatkan suatu penaksiran yang terintegrasi terhadap tingkat keselamatan dari sebuah fasilitas tertentu dan kemudian mengambil keputusan yang tepat mengenai tindakan yang harus diambil.

Sadar akan dampak negatif penggunaan energi nuklir, maka telah banyak lembaga dan komisi internasional yang dibentuk untuk menangani hal ini. Aspek yang ditangani meliputi :

- Pendataan perkembangan penggunaan energi nuklir

- Menyebarkan informasi ilmu pengetahuan dan pengalaman penggunaan energi nuklir, melalui forum internasional berupa pertemuan seminar, pelatihan, diskusi atau lainnya didukung oleh fasilitas internet melalui situsnya yang dapat diakses setiap waktu.
- Membuat pedoman dan peraturan untuk kesehatan dan keselamatan kerja dalam penggunaan energi nuklir.

Lembaga dan komisi internasional tersebut antara lain :

- *The International Atomic Energy Agency – IAEA,*
- *World Nuclear Association – WNA,*
- *Nuclear Material Management & Safeguard System – NMMSS,*
- *Nuclear Energy Agency – NEA:*
 - *Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI),*
 - *Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA),*
- *Asian Nuclear Safety Network – ANSN,*
- *Nuclear Regulatory Commission – NRC,*
- *International Nuclear Safety Advisory Group,*
- *Organization for Economic Cooperation and Development,*
- *Department of Nuclear Safety and Security,*
- *Waste Safety Standards Committee – WASSC,*
- Dan lain-lain.

3.1.1. Peraturan Internasional Tentang Bahaya Radiasi Nuklir

Pedoman keselamatan kerja internasional memberikan rekomendasi-rekomendasi mengenai penggunaan elemen-elemen dari standar keselamatan internasional radiasi nuklir lengkap dengan penerapannya pada uji radiografi. Sampai pada langkah tersebut, pedoman keselamatan akan memberikan panduan praktek yang spesifik untuk keamanan penggunaan sumber radiasi pada pengujian radiografi, baik pada fasilitas yang berpelindung maupun selama pengerjaan di lokasi uji radiografi. Targetnya adalah untuk menyeleksi pemerintah sebagai pemegang otoritas kebijakan dan organisasi-organisasi pelaksana yang terlibat dalam pengujian radiografi tersebut.

Peraturan-peraturan Internasional mengenai bahaya radiasi nuklir

bersumber dari laporan-laporan yang dibuat oleh lembaga-lembaga seperti tersebut sebelumnya mengenai kecelakaan-kecelakaan yang telah terjadi dan kemungkinan bahaya yang akan timbul kemudian. Pada Tabel 3.1 diberikan beberapa contoh peraturan dan laporan pertemuan tingkat dunia mengenai bahaya radiasi nuklir. Pada tabel terlihat bahwa isu-isu internasional tersebut dijadikan dasar untuk pembentukan peraturan untuk pengambilan tindakan dan penanganan atau solusi dari masalah bahaya radiasi nuklir. Isu tersebut berlaku internasional dan dijadikan acuan untuk setiap negara anggotanya sebagai tolok ukur pembuatan peraturan domestiknya masing-masing negara tersebut. Untuk mendukung laporan dan peraturan yang dikutip di atas, dilampirkan juga keseluruhan data dan fakta yang didapat mengenai peraturan dan laporan internasional.

3.1.2. Peraturan Internasional Tentang Pengelolaan Limbah

Peraturan internasional mengenai pengelolaan limbah radioaktif mengatur tentang standar pelaksanaan dan kondisi-kondisi yang dibolehkan pada pembuangan dan pengelolaan limbah radioaktif. Limbah radioaktif hasil dari reaksi nuklir merupakan salah satu limbah industri yang berbahaya. Peluruhan zat radioaktif memerlukan waktu yang cukup lama, sehingga jika pengelolaannya terbengkalai akan sangat membahayakan lingkungan sekitar, baik masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan industri nuklir maupun makhluk hidup lainnya dan ekosistem lingkungan itu sendiri.

Dunia internasional mengenal sebuah komisi yang menjadi tempat berkumpulnya ahli-ahli senior di bidang manajemen limbah radioaktif dari seluruh dunia. Komisi tersebut adalah *Waste Safety Standards Committee (WASSC)*. WASSC memberikan saran-saran bagi Wakil Direktur Jenderal yang sekaligus adalah Kepala Departemen *Nuclear Safety and Security* terhadap keseluruhan program pengembangan, peninjauan dan revisi mengenai acuan standar dari keamanan limbah radioaktif.

Termasuk di dalamnya adalah manajemen limbah, pengambilan tindakan terhadap limbah, dan keamanan fasilitas pembuangan. Tujuannya adalah untuk mencapai kualitas yang baik, konsensus yang disepakati, hubungan yang baik

Tabel 3.1 : Peraturan dan Laporan Internasional dari IAEA Tentang Keselamatan Terhadap Radiasi Nuklir.

No	Peraturan & Laporan	Sumber	Keterangan
1.	<i>Code of Conduct on The Safety and Security of Radioactive Sources</i>	<i>Division of Radiation and Waste Safety Legal Division International Atomic Energy Agency, 2004</i>	-Menjaga keselamatan & keamanan yang tinggi terhadap sumber radiasi achieve and -Mencegah akses ilegal, pengrusakan, kebocoran sumber untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan berbahaya pada sumber radiasi atau penyalahgunaan sumber radiasi yang dapat membahayakan pekerja, masyarakat dan lingkungan. -Mitigasi atau meminimalkan konsekuensi radiasi pada setiap kecelakaan atau tindak kejahatan menggunakan sumber radiasi.
2.	<i>Radiation Protection and Norm Residue Management in The Zircon and Zirconia Industries</i>	<i>Safety Reports series no. 51 International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.</i>	Informasi material dan proses detail di industri zircon and zirconia tentang radiasi yang harus dimonitor dan besarnya untuk dimasukkan kedalam peraturan IAEA guna meningkatkan proteksi bahaya radiasi.
3.	<i>Radiation Safety in Industrial Radiography</i>	<i>IAEA Safety Report (No. 13) 'Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography', 1988.</i>	Standar internasional untuk penyelenggaraan K3 dasar mengenai proteksi terhadap radiasi pengion dan keselamatan terhadap sumber radiasi memberikan kebutuhan mendasar bagi suatu proteksi untuk manusia terhadap radiasi pengion di alam terbuka dan keselamatan terhadap sumber radiasi.
4	<i>Assesing the Need for For Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials</i>	<i>Safety Reports Series No. 49 International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006</i>	Perlunya aturan tambahan terhadap aturan yang ada dalam pemanfaatan bahan baku <i>radionuclides</i> selain radon, untuk pengukuran tingkat radiasi dan proteksinya. Hal ini ditekankan kebanyakan pada tambang mineral komersial karena ditemuinya radiasi yang melebihi ambang. Terlebih lagi pada mobilisasi mineral <i>radionuclides</i> pada saat proses.

dengan semua rangkaian proses (berkesinambungan), dan konsistensi dalam perkembangan standar internasional mengenai keamanan limbah radioaktif. Pada Tabel 3.2 diberikan beberapa laporan dan peraturan internasional dari IAEA mengenai pengelolaan limbah radioaktif.

Fungsi dari WASSC adalah sebagai berikut:

- Memberikan masukan mengenai pendekatan yang digunakan untuk perkembangan standar keamanan limbah radioaktif secara tematik dan praktis terhadap beberapa aspek K3, seperti dasar-dasar K3, persyaratan K3, dan panduan K3. Kemudian juga memberikan masukan mengenai prioritas yang harus diambil.
- Meninjau proposal-proposal yang diajukan tentang perkembangan standar baru yang berhubungan dengan keamanan limbah radioaktif dan menyetujui terlebih dahulu profil dokumen persiapan yang bersangkutan disertai kepatuhan proposal-proposal tersebut terhadap komisi yang menangani standar keamanan (K3).
- Meninjau konsep standar keamanan limbah radioaktif dan mempertimbangkannya sepanjang proses persiapan dan peninjauan. Yang ditinjau adalah setiap standar konsep dan kebutuhan pengguna terhadap standar tersebut.
- Memastikan penyebaran masukan internasional dalam hal persiapan dan peninjauan standar keamanan limbah radioaktif.
Memberikan masukan terhadap peninjauan berkala dan kebutuhan revisi terhadap standar keamanan yang dipublikasikan.

3.1.3. Peraturan Internasional Tentang Keamanan Instalasi Nuklir Terhadap Bahaya Gempa.

Gempa bumi merupakan suatu bencana alam yang punya pengaruh besar terhadap bangunan-bangunan yang ada di muka bumi. PLTN contohnya, termasuk bangunan yang akan terkena pengaruh dari gempa tersebut. Untuk itu, dalam peraturan Internasional (Tabel 3.3), diatur mengenai desain PLTN tahan gempa

Tabel 3.2 :Peraturan dan Laporan Internasional dari IAEA Mengenai Pengelolaan Limbah Radioaktif:

No.	Peraturan & Laporan	Sumber	Keterangan
1.	<i>Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores</i>	<i>International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002</i>	Sebuah proses yang cukup rumit, karena tujuannya adalah mencapai keseimbangan dari dua hal yang seringkali justru saling bertolak belakang, yaitu memaksimalkan pengurangan resiko dan meminimalisasikan dana pengeluaran
2.	<i>Regulation on Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants</i>	<i>International Atomic Energy Agency, Issue 66 of 30, Juli 2004</i>	Kriteria dasar dan peraturan tentang keamanan nuklir dan proteksi radiasi. Di dalamnya memuat aturan-aturan dalam pembangunan sebuah pembangkit listrik bertenaga nuklir untuk mengatur lokasi, desain, konstruksi, persiapan, dan operasional. Termasuk juga peraturan mengenai Radioactive Waste (RAW) Management (manajemen limbah radioaktif)
3	<i>Measures to Strengthen International Co-operation in Nuclear, Radiation and Transport Safety and Waste Management</i>	<i>International Atomic Energy Agency, Resolution adopted on 19 September 2003 during the tenth plenary Meeting</i>	Menekankan pentingnya pendidikan dan training tentang nuklir, radiasi, keamanan transportasi dan manajemen limbah; Mendukung kelanjutan implementasi dari strategi untuk pendidikan, pelatihan tentang keamanan nuklir, keamanan radiasi dan manajemen limbah.

Tabel 3.3 : Peraturan dan Laporan Internasional dari IAEA dan JNES Tentang Keselamatan Terhadap Gempa

No.	Peraturan & Laporan	Sumber	Keterangan
1.	<i>Creation of Seismic Safety Division</i>	<i>Incorporated Administrative Agency Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES), October 10, 2007</i>	Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES) membentuk Divisi keselamatan gempa pada 10 Oktober 2007 untuk meningkatkan kapabilitas organisasi dalam hal keselamatan gempa dengan harapan peningkatan efektifitas peraturan tentang keselamatan kerja setelah tragedi gempa Niigataken Chuetsu-Oki di PLTN the Kashiwazaki–Kariwa.
2.	<i>Regulation on Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants</i>	<i>International Atomic Energy Agency, Issue 66 of 30, Juli 2004</i>	Kriteria dasar dan peraturan tentang keamanan nuklir dan proteksi radiasi. Terdapat aturan-aturan mengenai lokasi yang baik dan kurang baik hingga yang tidak diijinkan untuk membangun sebuah instalasi nuklir pembangkit listrik karena terletak pada daerah potensi bencana alam.

sampai dengan titik tertentu dan jika mencapai pergerakan bumi yang sangat besar, PLTN tersebut dapat dinon aktifkan secara otomatis dengan aman.

Di Jepang, sebagai negara yang didera gempa bumi paling banyak di dunia, memiliki organisasi yang mengatur tentang keselamatan PLTN. Organisasi tersebut bernama *Japan Nuclear Energy Safety (JNES)*. Dalam hubungannya dengan gempa bumi, JNES memiliki sebuah Divisi Keselamatan Gempa (Gambar 3.1) yang membawahi beberapa grup di bawahnya lagi yang antara lain bertanggung jawab mengenai evaluasi gempa bumi dan tsunami, evaluasi struktur sipil dan bangunan, evaluasi sistem dan peralatan, evaluasi usia pakai dan ketegangan, serta informasi dan uji gempa.

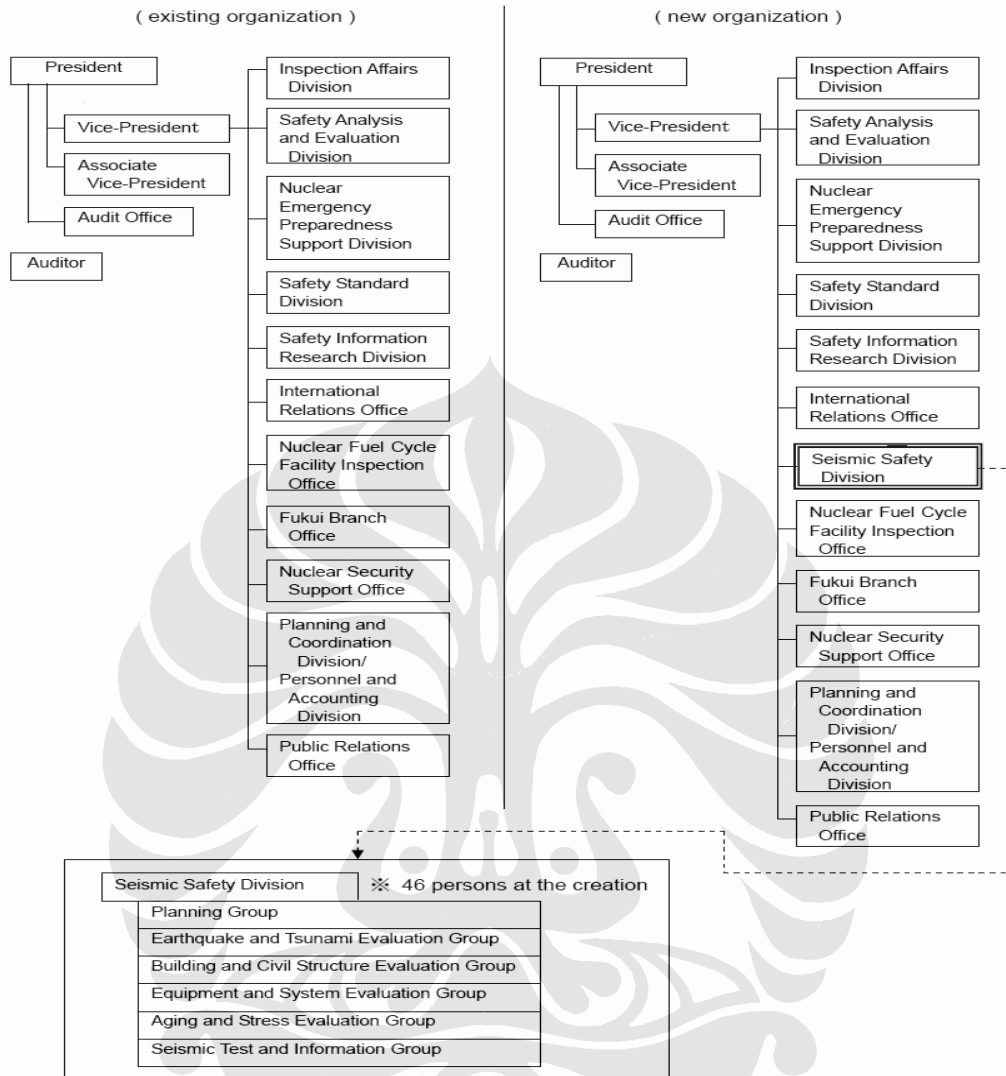
Dalam peraturan internasional mengenai keamanan pembangunan PLTN, terdapat peraturan tentang karakteristik lokasi yang dapat digunakan sebagai lahan bangunan PLTN. Persyaratan umum agar suatu wilayah diijinkan untuk pembangunan PLTN adalah sebagai berikut:

1. Terdapat perundangan yang lengkap mengenai perlindungan lingkungan dan pemenuhan persyaratan tentang radiasi, kebakaran, dan perlindungan fisik
2. Lokasinya berada di dalam batas lempengan tektonik bumi; tidak terpengaruh oleh kekeliruan yang mungkin terjadi dan zona pergerakan bumi (geodinamik).
3. Percepatan tanah maksimum pada lapangan terbuka selama terjadi gempa yang ditentukan dengan probabilitas melebihi angka 0,0001 harus kurang dari 1 m/s^2 .
4. Lokasi tidak terkena banjir.

Perubahan peraturan gempa di Jepang dikeluarkan pada Mei 2007, yaitu menaikkan nilai S_1 sehingga ekuivalen dengan 6.7 pada skala Logaritmik Richter - dengan factor 1.5 (naik dari 6.5). PGA adalah ukuran dalam satuan Galileo - Gal (cm/sec²) atau g - gaya gravitasi, satu adalah 980 Gal. Disini digunakan satuan non -SI.

Setelah gempa Kobe dengan magnitudo 7.2 pada 1995, dibentuk suatu panel untuk mengkaji keamanan dari fasilitas nuklir di Jepang dan pedoman pelaksanaan konstruksinya. Japanese Nuclear Safety Commission (JNSC)

(Reference 1) Reorganization associated with creation of Seismic Safety Division



Gambar 3.1 : Restrukturisasi Organisasi JNES [7]

kemudian menyetujui hasil kajian panel tersebut. Setelah menghitung ulang criteria desain yang dibutuhkan untuk sebuah pembangkit tenaga nuklir menghadapi gempa besar dengan episenter yang dangkal, diputuskan bahwa dengan pedoman yang berlaku saat ini, reactor dapat bertahan terhadap getaran getaran sebesar 7.75 skala Richter.

Reaktor lainnya seperti Hamaoka di dekat Tokai berada pada daerah dimana kemungkinan terjadi gempa dengan kekuatan sampai 8.5 Richter, sehingga didesain sesuai dengan itu. Juga Rokkasho *reprocessing plant* dan fasilitas

penunjangnya dibangun di atas batuan yang stabil dan didesain untuk menahan gempa sampai 8.25 skala Richter.

Setelah gempa magnitude 7.3 pada tahun 2000 pada area dimana diketahui tidak ada patahan geologi, NSC Jepang memerintahkan untuk merevisi peraturan gempa Jepang tahun 1978 yang masih berlaku. Hal ini dilaporkan pada tahun 2006 dan akibatnya NSC dan the Nuclear & Industrial Safety Agency (NISA) pemilik reactor untuk me-review ketahanan gempa dari reactor yang akan selesai dibangun tahun 2008. Sedangkan revisi pedoman gempa diajukan pada Mei 2007, sehingga peraturan gempa Jepang kemudian akan direvisi lagi.

Reaktor baru di Korea Utara tipe APR-1400 didesain tahan terhadap percepatan gaya gempa 0.3g. Sedangkan di pusat Taiwan, Gempa dangkal dengan magnitude 7,6 yang mengakibatkan korban tewas ribuan orang tahun 1999, mengakibatkan tiga reaktor mati secara otomatis

Gempa besar didasar laut sering mengakibatkan **tsunami** – Tekanan gelombang yang bergerak cepat di lautan dan menjadi gelombang tinggi lebih dari 10 m ketika mencapai pantai yang dangkal, dan menyapu bersih daratan. Tsunami pada Desember 2004 akibat gempa magnitud 9 mencapai pantai India dan mempengaruhi PLTN Kalpakkam didekat Madras/Chennai yang dibangun sesuai peraturan internasional. Ketika dideteksi ketinggian air yang abnormal pada *cooling water intake*, pembangkit otomatis mati, dan baru hidup enam hari kemudian.

Walau pembangkit nuklir terletak dekat dengan permukaan laut, *the robust sealed containment structure* disekeliling reactor itu sendiri akan menjaga setiap kerusakan pada bagian nuklir dari tsunami, walaupun bagian-bagian lain pembangkit akan rusak. Maka tidak ada bahaya radioaktif yang diakibatkan.[9].

3.2. PERATURAN PEMERINTAH TENTANG KEAMANAN PENGGUNAAN ENERGI NUKLIR DI INDONESIA

3.2.1. Peraturan Pemerintah Tentang K3 Ketenaga Nukliran di Indonesia

Pemerintah RI, melalui BATAN dan BAPETEN, mengerjakan konsep standar keamanan instalasi dan aktivitas ketenaga nukliran tersebut di Indonesia. Tenaga nuklir seperti sudah banyak disinggung pada bab-bab sebelumnya,

memiliki prosedur standar keselamatan yang sedikit berbeda, mengingat efek destruktifnya yang sangat besar. Hal berbahaya ini terjadi dari sejak awal pemenuhan kebutuhan bahan bakarnya hingga pembuangan limbah radioaktifnya, sehingga perlu dibuat suatu konsep peraturan keamanan tersendiri untuk aktivitas nuklir tersebut. Pengerjaan ini tidak dilakukan sendiri dan tidak independen. IAEA selalu mengawasi transportasi Uranium (U^{235}) di Indonesia.

Sedikit sejarah mengenai ketenaga nukliran di Indonesia, Indonesia untuk kali pertama melakukan percobaan reaksi nuklir dengan berhasil pada tanggal 16 Oktober 1964. Percobaan tersebut dilakukan di Bandung, menggunakan reaktor nuklir riset bernama Triga Mark II hibahan dari pemerintah Amerika Serikat buatan *General Atomic Mark II* sekitar tahun 1960an. Percobaan tersebut dipimpin Djali Ahimsa yang beberapa waktu kemudian menjabat sebagai Dirjen BATAN. Percobaan tersebut merupakan babak baru bagi Indonesia untuk turut serta dalam kancah ketenaga nukliran dunia dan selaras dengan itu, maka pemerintah Indonesia mengeluarkan beberapa peraturan untuk mengikat dan mengatur aktivitas ketenaga nukliran di tanah air.

Beberapa peraturan yang dikeluarkan pemerintah RI antara lain:

1. Keppres RI No. 106 Tahun 2001 tentang Pengesahan *Convention on Nuclear Safety* (Konvensi tentang Keselamatan Nuklir).
2. PP RI No. 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan radiasi Pengion.
3. PP RI No. 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif.
4. Keppres RI No. 81 Tahun 1993 tentang Pengesahan *Convention on Early Notification of a Nuclear Accident*.
5. Keppres RI No. 82 Tahun 1993 tentang Pengesahan *Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or radiological Emergency*.
6. S.K. Kepala BAPETEN Nomor.: 01/Ka. BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi).

3.2.2. Penyelenggaraan K3 Radiasi Nuklir

Keselamatan kerja radiasi yang dimaksudkan dalam hal ini adalah petunjuk pelaksanaan kerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi, agar setiap orang yang terlibat dalam pekerjaan dengan zat radioaktif atau sumber radiasi dapat bekerja dengan baik, aman, dan selamat. Keselamatan kerja radiasi perlu dipahami dengan baik karena aplikasi teknologi nuklir pada saat ini sudah sedemikian maju dan manfaat aplikasinya dalam berbagai bidang sudah banyak dijumpai. Melalui keselamatan kerja radiasi manusia diharapkan dapat bersahabat dengan zat radioaktif atau sumber radiasi, sekaligus menghilangkan kesan zat radioaktif atau sumber radiasi sebagai "sesuatu yang menakutkan dan harus dihindari".

Untuk dapat memahami keselamatan kerja radiasi dengan baik, urutan pembahasannya akan dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Filosofi Dasar Keselamatan Kerja Radiasi.
2. Sarana dan Prasarana Kerja.
3. Tata Tertib Bekerja Dengan Zat Radioaktif atau Sumber Radiasi.
4. Petunjuk Pelaksanaan Kerja.

3.2.2.1. Filosofi Dasar Keselamatan Kerja Radiasi

Keselamatan kerja radiasi adalah bagian dari program keselamatan kerja yang khusus, karena pekerjaan yang harus dilakukan melibatkan penggunaan zat radioaktif atau sumber radiasi. Oleh karena itu, maka filosofi dasar yang perlu diketahui oleh setiap pekerja radiasi, adalah:

1. Setiap pekerjaan yang melibatkan penggunaan zat radioaktif harus mengingat dasar-dasar keselamatan kerja, yaitu:
 - a. Menjaga keselamatan diri sendiri.
 - b. Menjaga keselamatan orang lain.
 - c. Menjaga keselamatan lingkungan dan peralatan.
2. Selain dasar-dasar keselamatan kerja seperti tersebut di atas, setiap orang yang akan bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi perlu juga menghayati pedoman dan arti **ALARA**.
3. Filosofi dasar keselamatan kerja radiasi berikutnya yang harus diketahui oleh orang yang akan bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi adalah faktor-faktor yang mempengaruhi penerimaan dosis radiasi, yaitu:

- a. Faktor waktu. Ingat, laju penerimaan dosis radiasi adalah laju dosis dikali waktu paparan ke tubuh.
- b. Faktor jarak. Setiap pekerja menggunakan alat bantu kerja seperti tang panjang, *masterslave* atau robot.
- d. Faktor bahan pelindung radiasi. Menggunakan bahan pelindung radiasi, seperti sarung tangan, jas lab, jas apron, dan bahan perisai radiasi.

3.2.2.2. Sarana dan Prasarana Kerja

Ada dua macam pekerjaan yang melibatkan penggunaan zat radioaktif atau sumber radiasi, yakni zat radioaktif atau sumber radiasi tertutup dan zat radioaktif atau sumber radiasi terbuka.

Zat radioaktif atau sumber radiasi tertutup merupakan radioisotop yang diberi wadah tertutup atau terbungkus rapat sehingga radioisotopnya tidak mudah tercecer ke lingkungan. Tetapi, intensitas radiasinya cukup kuat untuk digunakan. Zat radioaktif atau sumber radiasi tertutup yang aktivitasnya rendah sering dinamakan *sealed source*, sedang yang aktivitasnya tinggi (seperti radiasi Gamma) disebut *irradiator*. Sebagai contoh aplikasi teknologi nuklir dalam bidang industri, irradiator radiasi Gamma yang digunakan dapat mencapai aktivitas 100.000 Curie. Dalam bidang kedokteran misalnya jarum Radium (Ra^{226}) yang waktu paronya 1620 tahun dan jarum Cobalt (Co^{60}) dengan waktu paro 5,3 tahun.

Zat radioaktif atau sumber radiasi terbuka merupakan radioisotop yang digunakan langsung dalam keadaan terbuka, dapat berupa cairan, padatan, ataupun gas. Penanganan zat radioaktif atau sumber radiasi jenis ini memerlukan kecermatan yang tinggi. Faktor keselamatan lingkungan harus diperhitungkan dengan baik agar tidak terjadi kontaminasi yang pada akhirnya akan sampai ke manusia. Contoh-contoh jenis ini dalam bidang kedokteran adalah I^{131} dalam bentuk NaI^{131} dan I^{131} dalam bentuk Hipuran I^{131} . Dalam bidang pertanian adalah P^{32} yang dilabelkan pada pupuk fosfat. Zat radioaktif atau sumber radiasi jenis ini juga dapat berguna dalam bidang hidrologi dan sensor, yakni penggunaan Na^{24} , Br^{28} , dan Cr^{51} .

Tahap berikutnya untuk dapat bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi secara benar dan aman adalah dengan memperhatikan masalah sarana dan prasarana yang harus memenuhi persyaratan keselamatan kerja radiasi. Secara garis besar, sarana dan prasarana yang harus diperhatikan adalah:

1. Tempat kerja atau laboratorium.

Tempat kerja atau laboratorium harus memadai dan memenuhi persyaratan untuk bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi. Tempat kerja atau laboratorium ini dapat digunakan untuk melakukan persiapan dan percobaan dengan menggunakan zat radioaktif atau sumber radiasi. Persyaratan yang harus dipenuhi oleh tempat kerja atau laboratorium tersebut antara lain:

- a. Pencahayaan ruangan cukup baik, tidak ada kesilauan dan sirkulasi udara cukup baik.
- b. Kalau ruang kerja tertutup, udara ruangan harus bertekanan lebih rendah daripada tekanan udara luar.
- c. Tersedia lemari asam atau glove box yang dilengkapi pengatur aliran udara.
- d. Tersedia bak pencuci umum dan bak pencuci khusus yang berpenampung khusus limbah zat radioaktif.
- e. Alas/lantai ruang kerja harus dilapisi karpet karet atau vinil yang sewaktu-waktu dapat dibuka.
- f. Tersedia kran khusus untuk pencuci mata dan kran siap dioperasikan setiap saat.
- g. Tersedia perlengkapan P3K.
- h. Tersedia kamar mandi khusus yang dilengkapi dengan pancuran dan penampungan air limbah tersendiri.
- i. Tersedia lemari tempat penyimpanan peralatan.
- j. Tersedia meja dan kursi yang ergonomis secukupnya.
- k. Tersedia alat monitorkontaminasi badan, tangan, dan kaki.

2. Perlengkapan kerja, meliputi:

- a. Pakaian kerja berupa jas lab. atau jas apron.
- b. Sepatu kerja khusus (*boot* karet).

- c. Sarung tangan karet, sarung tangan kulit, bedak pelicin sarung tangan.
 - d. Tempat limbah khusus.
 - e. Nampan sebagai alas kerja.
 - f. Lembaran plastik untuk alas kerja pada nampan.
 - g. Lembaran kertas merang untuk pelapis di atas lembaran plastik pada nampan.
 - h. Kacamata khusus (*googles*).
3. Peralatan kerja sesuai dengan keperluan dalam bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi, meliputi:
- a. Peralatan gelas (gelas ukur, pipet, gelas beker, buret, gelas arloji, pengaduk).
 - b. Tang panjang, tang pendek.
 - c. Berbagai macam jenis alat/bahan pelindung (*shielding*).
 - d. Alat timbang elektronis, digital.
 - e. Alat ukur (panjang, ketebalan, suhu)
 - f. Peralatan monitor perorangan (*personal monitor, pocket dosimeter, film badge*).
 - g. Wadah sumber radioaktif (*container*).
 - h. Lampu pemanas.
 - i. Planset dan Pinset.
4. Peralatan deteksi nuklir yang meliputi alat-alat berikut ini:
- a. Pengukur waktu (*preset timer*).
 - b. Berbagai macam detektor yang disesuaikan dengan keperluan pekerjaan, misalnya:
 - 1) Detektor kamar kabut (*cloud chamber*)
 - 2) Detektor ionisasi.
 - 3) Detektor proporsional.
 - 4) Detektor Geiger Muller.
 - 5) Detektor sintilasi (ZnS-Ag, NaITl, POPOP).
 - 6) Detektor semikonduktor (GeLi, SiLi) berikut wadah N₂ cair.

- 7) Detektor neutron (BF_3).
 - 8) Detektor sawar muka (*Surface barrier detector*) berikut pompa vakumnya.
- c. Piranti alat elektronis untuk melakukan deteksi radiasi, misalnya:
- 1) *Preamplifier*.
 - 2) *Amplifier*.
 - 3) *Counter*.
 - 4) *Scaler*.
 - 5) *Single channel dan multi channel analyzer*.
 - 6) *Survey meter Beta Gamma*.

3.2.2.3. Tata Tertib Bekerja dengan Zat Radioaktif atau Sumber Radiasi

Setelah memahami filosofi dasar keselamatan kerja radiasi dan memenuhi persyaratan sarana dan prasarana kerja radiasi, maka langkah selanjutnya adalah memahami dan menjalankan tata tertib dalam melakukan pekerjaan yang berhubungan dengan zat radioaktif atau sumber radiasi. Secara umum tata tertib tersebut adalah sebagai berikut:

1. Setiap kali akan bekerja di laboratorium, diharuskan mengenakan pakaian kerja yang disyaratkan.
2. Menggunakan sarung tangan yang telah disediakan.
3. Memakai film badge atau dosimeter yang telah disediakan.
4. Dilarang keras makan, minum, dan merokok selama bekerja dan berada di laboratorium.
5. Dilarang menggunakan kosmetika bila bekerja di laboratorium yang melibatkan pemakaian zat radioaktif.
6. Usahakan kuku jari tangan terpotong rapi, tidak panjang.
7. Penghisapan zat cair atau pemipetan tidak boleh menggunakan mulut, terlebih lagi bila yang dihisap adalah bahan radioaktif cair atau bahan kimia korosif dengan konsentrasi tinggi.
8. Menggunakan lemari asam atau *gloves box* dengan *blower* dihidupkan.
9. Cairan zat radioaktif yang akan digunakan harus dituangkan ke dalam gelas beker yang telah diberi tanda khusus. Sisa cairan tidak boleh dibuang

ke bak cuci umum, tetapi harus ditampung dalam wadah yang telah disediakan dan diberi tanda "awas radiasi!".

10. Semua peralatan dan bahan yang terkontaminasi harus dikirim ke tempat pengolahan limbah radioaktif disertai catatan spesifikasi kontaminannya.
11. Jika terjadi kecelakaan radiasi sekecil apapun, misalnya zat radioaktif tumpah di lantai, maka segera dilakukan pengukuran aktivitas di tempat kejadian kecelakaan. Melakukan pencatatan terhadap aktivitas, unsur, dan jenis radiasinya. Memberi tanda "daerah kontaminasi" di tempat tumpahan. Melakukan pembersihan berulang sambil diukur aktivitasnya sampai kembali ke keadaan aktivitas latar.
12. Jika terjadi kecelakaan yang mengenai orang (praktikan misalnya), maka segera laporkan kepada penanggungjawab laboratorium atau instruktur praktikan untuk dilakukan penanganan lebih lanjut.
13. Merapikan tempat kerja dari semua kotoran sisa pekerjaan, kertas, tisu, zat kimia, zat radioaktif, dan lain-lain.
14. Mengembalikan sisa zat radioaktif atau sumber radiasi ke tempat semula.
15. Sebelum meninggalkan laboratorium, praktikan harus menanggalkan semua pakaian kerja dan menyimpannya pada tempat yang telah ditentukan.
16. Mencuci tangan dan memeriksa kebersihan tangan dan badan dengan menggunakan Beta Gamma monitor yang tersedia. Memastikan bahwa tidak ada zat radioaktif yang terbawa keluar, baik melalui pakaian maupun badan.
17. Merapikan semua catatan hasil kerja sebelum meninggalkan tempat kerja.

3.2.2.4. Petunjuk Pelaksanaan Kerja

Setelah memahami tata tertib seperti yang telah diuraikan di atas, selanjutnya perlu dipahami petunjuk pelaksanaan kerja (juklak). Juklak juga sering dikenal dengan prosedur tetap (protap). Untuk setiap pekerjaan tertentu, harus disertai dengan juklak. Oleh karena itu, sebelum memulai suatu pekerjaan, harus disiapkan terlebih dahulu juklak yang sesuai. Juklak yang dimaksud dapat berupa buku petunjuk untuk mengoperasikan suatu peralatan (manual

book/instructions book/guide book) dan bentuk serta susunannya tertentu sesuai dengan maksud dan tujuan pekerjaan serta peralatan yang digunakan.

Juklak untuk bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi adalah petunjuk yang memuat urutan kerja yang harus dilakukan dalam bekerja dengan zat radioaktif atau sumber radiasi. Juklak tersebut harus memiliki urutan yang jelas dan menggunakan bahas yang singkat, jelas, dan mudah dipahami. Dan, satu hal yang harus diingat adalah bahwa juklak tidak boleh bertentangan dengan tata tertib bekerja di lingkungan radiasi.

Untuk mendapatkan hasil juklak yang baik, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Pelajari dengan baik pekerjaan yang akan dilakukan, berbagai perlengkapan dan peralatan yang harus disiapkan.
2. Perlu diketahui jenis dan sifat radiasinya.
3. Perlu diketahui tingkat toksisitas radiasinya.
4. Perlu diketahui jenis laboratorium yang akan digunakan.
5. Perlu diketahui jenis dan macam peralatan yang akan digunakan.
6. Membuat urutan kerja yang jelas.
7. Bila sifat pekerjaan menuntut pemakaian beberapa laboratorium yang berbeda kelasnya, maka tata tertib pada laboratorium yang akan digunakan harus diketahui. Misalnya, setelah selesai bekerja di laboratorium preparasi lalu pindah ke laboratorium deteksi, pekerja harus memastikan bahwa tidak ada kontaminasi yang terbawa ke laboratorium deteksi, karena dapat berakibat mengganggu hasil deteksi.
8. Kelas laboratorium ditunjukkan oleh perbedaan warna pakaian kerjanya, atau diberi tanda khusus pada jas lab.
9. Berdasarkan pengalaman kerja, juklak tidak menutup kemungkinan untuk diperbaiki demi mendapatkan hasil yang lebih optimal.
10. Mengingat bahwa semua pekerjaan yang melibatkan pemakaian zat radioaktif atau sumber radiasi telah diatur melalui peraturan perundangan yang ditetapkan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), maka sangat dianjurkan dan diwajibkan untuk mengetahui peraturan dan perundangan yang dimaksud.