

IDENTIFIKASI POTENSI, DAMPAK DAN PENGENDALIAN LINGKUNGAN DALAM PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

Fatah Sulaiman¹

Abstrak

Untuk menjaga keberlanjutan pembangunan di segala bidang guna memenuhi kebutuhan kesejahteraan manusia, dimana penggunaan energi sangat terkait erat, maka secara otomatis kecukupan persediaan energi secara berkelanjutan untuk generasi kini maupun yang akan datang harus terjamin dan dipertahankan. Oleh karena itu perlu dilakukan pencarian energi alternatif dalam rangka mendukung konsep pembangunan berkelanjutan yang berdampak pada kesejahteraan sosial, ekonomi dan tetap menjaga kestabilan dan kelestarian lingkungan. Salah satu alternatif pembangkitan energi yang dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Indonesia memerlukan pembangkit-pembangkit listrik baru untuk memenuhi kenaikan kebutuhan listrik di masa yang akan datang. Di AS, untuk tahun 1990, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara (PLTU) berkontribusi masing-masing 12,5% dan 55% dari total pembangkitan listrik, suatu angka yang lebih besar dari kontribusi jenis-jenis sumber energi lain.

Kata Kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, Pembangunan*

Pendahuluan

Sejak tahun 2006 Presiden Susilo Bambang Yudhoyono sudah mengeluarkan Keputusan Presiden Nomor 5 pada Januari 2006. Isinya adalah, pada 2016 Indonesia sudah harus menghasilkan listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

¹ Dosen dan Pembantu Rektor IV Untirta

Berdasarkan Undang-Undang 17 Tahun 2007 tentang Rencana Jangka Panjang Pembangunan Nasional menyebutkan bahwa pada 2015-2019, Indonesia harus menghasilkan listrik Dari PLTN. Salah satu rencana pembangunan PLTN akan di bangun di provinsi Banten dan ditargetkan pada 2015-2020. Terkait dengan hal ini maka perlu sosialisasi dan kajian komprehensif berbagai disiplin, termasuk kajian sosial kemasyarakatan dan keagamaan guna mempertimbangkan *maslahat mudharat* rencana pembangunan PLTN ini. Tulisan ini dimaksudkan sebagai informasi awal untuk menjadi stimulus kajian-kajian lanjutan terkait dengan rencana dibangunnya PLTN di Provinsi Banten.

Pertumbuhan Penduduk dan Kebutuhan Energi

Sejak revolusi industri abad 18 sampai dengan abad modern saat ini, kecendrungan peningkatan konsumsi energi akan terus berlangsung di segala sektor kehidupan manusia. Hal ini akan menyebabkan jumlah persediaan sumber-sumber energi tak terbarukan dari dalam perut bumi akan semakin menipis dan akan habis, terutama sumber energi berbasis fosil seperti, minyak/gas bumi dan batubara yang hingga saat ini masih digunakan secara masif sebagai sumber energi. Dilain pihak setiap pembakaran bahan bakar fosil akan selalu diikuti oleh pelepasan polutan yang akan menimbulkan pencemaran, seperti CO₂ yang menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim global.

Populasi penduduk dunia yang senantiasa meningkat menuntut kita untuk mencari alternatif sumber energi terbarukan. Pada tahun 1650, populasi dunia mencapai 0.5 milyar jiwa berkembang dengan laju mendekati 0.3 persen per tahun. Di tahun 1950, populasi dunia menjadi 2.5 milyar orang, menjadi 3.6 milyar pada tahun 1970 dengan laju pertambahan 2.1 persen per tahun. Pada tahun 2001, penduduk bumi dihuni oleh 6 milyar orang. Berdasarkan penelitian *United Nation Long-Range World Population Projections*, populasi dunia akan bertambah menjadi 7.2 milyar pada tahun 2015, hampir 8

milyar jiwa pada tahun 2025 akan menjadi 9.3 milyar di tahun 2050.

Permasalahan lainnya adalah penyusutan dengan cepat sumber daya alam *non-renewable* khususnya bahan bakar fosil. Seperti : minyak dengan kapasitas tersedia secara global adalah 1195 trilyun barrel, akan terpakai sampai 43 tahun. Batu bara, dengan cadangan global 1316 trilyun ton, akan habis digunakan selama 231 tahun. Gas alam mempunyai cadangan global 144 trilyun m³, dapat digunakan tidak lebih dari 62 tahun. Kontribusi dari keseluruhan sumber energi pada total konsumsi energi dunia, saat ini 87% untuk supply energi, 63% untuk supply listrik berasal dari bahan bakar fosil.

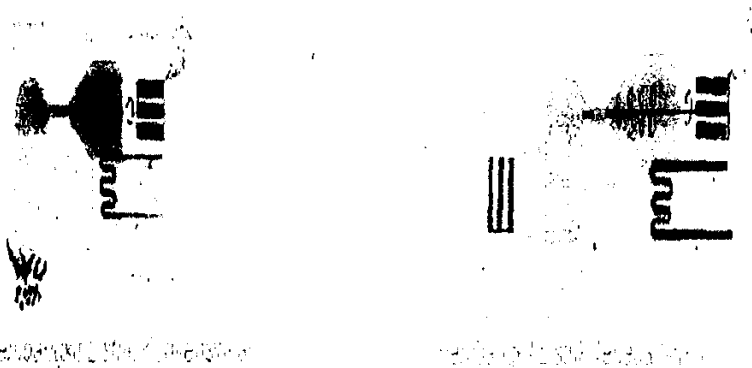
Untuk menjaga keberlanjutan pembangunan di segala bidang guna memenuhi kebutuhan kesejahteraan manusia, dimana penggunaan energi sangat terkait erat, maka secara otomatis kecukupan persediaan energi secara berkelanjutan untuk generasi kini maupun yang akan datang harus terjamin dan dipertahankan. Oleh karena itu perlu dilakukan pencarian energi alternatif dalam rangka mendukung konsep pembangunan berkelanjutan yang berdampak pada kesejahteraan sosial, ekonomi dan tetap menjaga kestabilan dan kelestarian lingkungan. Salah satu alternatif pembangkitan energi yang dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Indonesia memerlukan pembangkit-pembangkit listrik baru untuk memenuhi kenaikan kebutuhan listrik di masa yang akan datang. Di AS, untuk tahun 1990, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara (PLTU) berkontribusi masing-masing 12,5% dan 55% dari total pembangkitan listrik, suatu angka yang lebih besar dari kontribusi jenis-jenis sumber energi lain .

Pemanfaatan teknik nuklir dalam bentuk PLTN mulai dikembangkan secara komersial sejak tahun 1954. Pada waktu itu di Rusia (USSR), dibangun dan dioperasikan satu unit PLTN air ringan bertekanan tinggi (PWR) yang setahun kemudian mencapai daya 5 MWe. Di Amerika Serikat juga

dioperasikan jenis reaktor yang sama, dengan daya 60 MWe. Pada tahun 1956 di Inggris dikembangkan PLTN jenis *Gas Cooled Reactor* (GCR=reaktor berpendingin gas) dengan daya 100 MWe. Tahun 1997 di seluruh dunia baik di negara maju maupun negara berkembang telah dioperasikan sebanyak 443 unit PLTN yang tersebar di 31 negara dengan kontribusi sekitar 18% dari pasokan tenaga listrik dunia dengan total pembangkitan dayanya mencapai 351.000 MWe dengan 36 unit PLTN sedang dalam tahap konstruksi di 18 negara.

II. Perbandingan PLTN Dengan Pembangkit Listrik Konvensional

Dalam pembangkit listrik konvensional, air diuapkan di dalam suatu ketel melalui pembakaran fosil (minyak, batubara, dan gas). Uap yang dihasilkan dialirkan ke turbin uap yang akan bergerak apabila ada tekanan uap. Perputaran turbin selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator, dan generator menghasilkan tenaga listrik. Pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara, minyak, dan gas mempunyai potensi yang dapat menimbulkan dampak lingkungan dan masalah transportasi bahan bakar, dari tempat penambangan menuju lokasi pembangkitan. Dampak lingkungan akibat pembakaran bahan fosil tersebut dapat berupa CO₂ (karbon dioksida), SO₂ (sulfur oksida), NO_x (nitrogen oksida), dan debu yang mengandung logam berat. Kekhawatiran terbesar dalam pembangkitan listrik dengan bahan bakar fosil adalah dapat menimbulkan hujan asam dan peningkatan pemanasan global.



Gambar 1. Perbedaan PLK dengan PLTN

PLTN beroperasi dengan prinsip yang sama seperti PLK, hanya panas yang digunakan untuk menghasilkan uap tidak dihasilkan dari pembakaran bahan fosil, tetapi dihasilkan dari reaksi pembelahan inti bahan fisil (Uranium) di dalam suatu reaktor nuklir. Tenaga panas tersebut digunakan untuk membangkitkan uap di dalam sistem pembangkit uap (*Steam Generator*) dan selanjutnya sama seperti pada PLK, uap digunakan untuk menggerakkan turbin, turbin menggerakkan generator, dan generator menghasilkan listrik. Sebagai pemindah panas biasa digunakan air yang disirkulasikan secara terus menerus selama PLTN beroperasi. Proses pembangkitan listrik ini tidak membebaskan asap atau debu yang mengandung logam berat yang dibuang ke lingkungan atau melepaskan partikel yang berbahaya seperti CO₂, SO₂, NO_x ke lingkungan, sehingga PLTN ini merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Limbah radioaktif yang dihasilkan dari pengoperasian PLTN adalah berupa elemen bakar bekas dalam bentuk padat. Elemen bakar bekas ini untuk sementara bisa disimpan di lokasi PLTN sebelum dilakukan penyimpanan limbah secara lestari.

2.1 Faktor Pencemaran Lingkungan dan Kesehatan

Dari data yang ada, pencemaran udara dari batubara adalah jauh lebih besar daripada bahan bakar nuklir, terutama

asap dari hasil pembakaran batubara dalam tungku PLTU. Meskipun berdasarkan Undang-Undang No. 23/1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup setiap PLTU baru diwajibkan untuk memakai "scrubbers" (*flue-gas desulphurizer*) untuk mengurangi kadar polutan yang dikeluarkannya, PLTU tetap memegang peranan penting dalam pencemaran udara secara keseluruhan. Adapun beberapa polutan utama yang dihasilkan dari PLTU adalah sebagai berikut:

- a. gas SO_x yang dikenal sebagai sumber gangguan paru-paru dan berbagai penyakit pernafasan.
- b. gas NO_x, yang bersama dengan gas SO_x adalah penyebab dari fenomena "hujan asam" yang terjadi di banyak negara maju dan berkembang, terutama yang menggantungkan produksi listriknya dari PLT Batubara. Fenomena ini diperkirakan membawa dampak buruk bagi industri peternakan dan pertanian.
- c. gas CO_x yang membentuk lapisan yang menyelubungi permukaan bumi dan menimbulkan efek rumah kaca ("*green-house effect*") yang pada akhirnya menyebabkan pergeseran cuaca yang telah terbukti di beberapa bagian dunia.
- d. partikel-partikel debu selain mengandung unsur-unsur radioaktif juga berbahaya bagi kesehatan jika sampai terhirup masuk ke dalam paru-paru.
- e. logam-logam berat seperti Pb, Hg, Ar, Ni, Se dan lain-lain, yang terbukti terdapat dengan kadar jauh di atas normal di sekitar PLTU.

Sebagai kondensator dari siklus uap air primer, kedua jenis pembangkit listrik di atas memanfaatkan air dari sumber yang berdekatan dengan lokasinya. Oleh karena itu polusi air yang disebabkan oleh masing-masing kurang lebih berimbang untuk ukuran generator yang sama. Sebuah PLTN rata-rata beroperasi dengan efisiensi panas 33% (40% untuk PLTU). Jadi kurang lebih dua pertiga dari panas yang dihasilkan oleh bahan bakar terpaksa dilepas ke lingkungan melalui siklus

pendingin. Untuk sebuah PLT (nuklir atau batubara) dengan ukuran 1.000 MWe yang beroperasi dengan efisiensi 35%, dihasilkan sekitar 1.860 MW sisa panas. Jika air diambil dengan debit 100 m³/s, maka air yang keluar dari siklus sekunder ini akan mengalami kenaikan suhu sekitar 4,5°C, suatu angka yang cukup untuk mengganggu kesetimbangan ekosistem dari organisme yang hidup di sumber air tersebut. Dampak ini akan bertambah lagi dengan adanya bahan-bahan kimia pemurni air yang dicampurkan sebelum air tersebut masuk ke siklus pendingin.

Bertentangan dengan anggapan umum, radiasi sinar-sinar radioaktif (selanjutnya akan disebut radiasi) bukanlah sumber utama polusi pada PLTN. Terbukti bahwa secara rata-rata untuk seorang yang tinggal sampai 1 km dari sebuah reaktor nuklir, dosis radiasi yang diterimanya dari bahan-bahan yang dipakai di reaktor tersebut adalah kurang dari 10% dari dosis radiasi alam (dari batuan radioaktif alami, sinar kosmis, sinar-sinar radioaktif untuk maksud-maksud medis) .

Pada tambang-tambang batubara dikenal istilah "black lung", dimana partikel batubara yang terhirup oleh para pekerja tambang mengendap di paru-paru dan menimbulkan berbagai macam gangguan kesehatan. Para pekerja di tambang Uranium (bahan utama untuk bahan bakar PLTN) terutama terkena radiasi dari Carbon 14 (C-14) dan gas Radon yang terpancar dari Uranium alam. Dari data statistik didapat bahwa kedua jenis radiasi ini menelan korban jiwa kurang lebih 1 orang tiap 20 juta MWH listrik yang dihasilkan PLTN per tahun. Tetapi karena kedua unsur tersebut mempunyai waktu paruh yang sangat besar, dampaknya akan terus terasa untuk masa-masa yang akan datang. Salah satu pencegahan adalah dengan menempatkan sisa-sisa Uranium tambang di bawah permukaan tanah, dimana radiasinya akan ditahan oleh dinding lapisan penyekat khusus, tetapi praktek ini juga dilakukan untuk sisa Uranium yang telah tidak mengandung C-14 dan Radon, pada dasarnya belum ada tindakan khusus

yang dicanangkan untuk penanganan bahaya dari kedua unsur ini.

Perlu disimak bahwa masalah radiasi bukan semata-mata berlaku untuk PLTN. Misalnya untuk kapasitas 1.000MWe, PLTN menghasilkan 50kCi radiasi yang sebagian besar berasal dari gas Xenon dan Krypton, sementara PLTU akan mengeluarkan 2Ci radiasi yang keluar dari cerobong asapnya. Meskipun jumlahnya jauh lebih kecil, radiasi dari PLTU mempunyai dampak kesehatan yang lebih besar karena kalau abu tersebut terhisap akan menetap di paru-paru, sumsum tulang atau jaringan yang lain dan merupakan ancaman yang kontinyu sementara radiasi PLTN lebih berupa sinar yang menembus tubuh dan tidak menetap. Pada kedua kasus ini, radiasi yang dihasilkannya masih berada jauh dibawah limit masing-masing.

2.2 Faktor Keamanan

Salah satu sumber ketidakpastian masyarakat tentang PLTN disebabkan oleh adanya kemungkinan kegagalan sistim yang mengakibatkan bencana pada PLTN, seperti yang terjadi di Three Miles Island USA dan Chernobyl USSR. Karakteristik bencana pada PLTN dapat didefinisikan sebagai insiden dengan "*low probability, high consequences*". Suatu bencana disebut katastrofi jika mengakibatkan sedikitnya 3.000 korban jiwa atau 45.000 orang cedera; maka probabilitas terjadinya katastrofi adalah sangat kecil, yaitu 1 tiap 107 tahun. Di samping katastrofi, insiden-insiden dalam skala lebih kecil yang terjadi di PLTN diperkirakan mengakibatkan kurang lebih 2 korban jiwa tiap 20 juta MWh per tahun listrik dari kanker, tumor, penyakit genetik dan lain-lainnya.

Karena pada PLTN angka korban insiden ini sedemikian kecilnya sehingga dapat diabaikan, faktor ini dapat dijadikan satu pertimbangan dalam memilih jenis Pembangkit Tenaga Listrik untuk sumber listrik kita di masa depan. Menjajagi segi keamanan (*safety*) dari kedua pilihan ini terhadap kemungkinan kecelakaan, terlihat bahwa sebagian besar risiko ditemui pada saat penambangan bahan bakar

tersebut. Di USA, sejauh ini teknologi PLTU telah menelan 1.300 korban jiwa dan 40.000 orang cedera, sementara untuk PLTN 5.000 orang cedera dan kurang dari 100 korban jiwa.

Limbah nuklir sampai saat ini tetap menjadi sumber utama kecemasan masyarakat banyak tentang PLTN. Sebuah PLTN dengan kapasitas 1.000 MWe membutuhkan sekitar 1 metrik ton bahan bakar dan menghasilkan limbah sebanyak kira-kira 70 liter per hari. Sampai tahun 1980, AS telah menghasilkan 36 juta ton limbah dengan radiasi rendah dan 8.300 ton limbah dengan radiasi tinggi. Jumlah ini sebenarnya menghasilkan dampak radiologis yang setingkat dengan ratusan juta ton sampah yang dihasilkan oleh PLTU. Hanya karena konsentrasi radiasi yang tinggi, limbah PLTN membutuhkan suatu penanganan yang khusus. Selama ini, sisa bahan bakar dengan radiasi tinggi disimpan sementara di kolam-kolam penampungan sehingga efek radiasi yang ditimbulkannya dapat diabaikan, tetapi dengan semakin meningkatnya pemakaian PLTN dalam produksi listrik, kebutuhan akan suatu metode penyimpanan permanen yang tepercaya terasa semakin mendesak. Meskipun sejauh ini belum ada satu cara yang dapat diterima secara meluas, beberapa metode yang diusulkan meliputi penyimpanan di tambang garam, lapisan granit, dibawah lapisan air tanah atau di dasar laut. Satu syarat mutlak yang telah dipenuhi oleh lokasi-lokasi ini terjaminnya kestabilan geologis untuk masa-masa yang akan datang.

2.3 Pemanfaatan Bahan Bakar Nuklir

Kontribusi energi nuklir terhadap pasokan energi sekitar 6 %, pasokan listrik sekitar 17 %. Densitas energi nuklir sangat tinggi dikarenakan dalam 1 kg uranium dapat menghasilkan 50.000 kWh (3.500.000 kWh dengan beberapa proses) energi, sementara 1 kg batu bara, dapat menghasilkan hanya 3 kWh, 1 kg minyak 4 kWh. Kemudian pada sebuah reaktor berkekuatan 1000 MWe memerlukan : 2.600.000 ton batu bara (2000 kereta angkut dengan daya angkut 1.300 ton), atau

2,000,000 ton minyak bumi (10 supertanker), atau 30 ton uranium (dengan teras reaktor 10 m³). Densitas energi bisa diukur dengan areal lahan yang diperlukan per unit produksi energi. Fosil, lahan reaktor nuklir membutuhkan 1-4 km². Lahan solar thermal atau photovoltaics (PV) memerlukan 20-50 km². Areal bahan dari sumber angin memerlukan 50-150 km². Biomass memerlukan 4.000 - 6.000 km². Dalam aspek investasi, faktor ekonomis, sebuah reaktor nuklir dapat bersaing secara kompetitif dengan sumber energi lainnya.

2.4 Limbah Bahan Bakar

Pada Sebuah pembangkit listrik 1000 MWe dengan bahan fosil menghasilkan ribuan ton nitrous oxide(NOx), partikel-partikel, abu logam berat, sampah padat berbahaya. Sekitar 500.000 ton produksi sulfur oksida (SOx) dari batu bara, lebih dari 300.000 ton dari minyak bumi, 200.000 ton dari gas alam. Pada sebuah reaktor nuklir 1000 MWe tidak menghasilkan gas noxious atau polutan lainnya, akan dihasilkan 3 % sampah hasil reaksi, yang sebagian besar adalah produk fisi. Sekitar 96% uranium yang tak terpakai, menyisakan 1% plutonium. Teknologi daur ulang sudah dapat menjadikan bahan bekas menjadi bahan bakar yang baru, menyisakan kurang dari 3% produk fisi dengan waktu paruh 100 sampai 1000 tahun, beberapa minor actinida. Kemudian pertimbangan lainnya terkait dengan bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara, gas alam) adalah potensi efek *greenhouse* dari gas keluaran. Karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), NOx adalah gas-gas utama yang meningkatkan efek *greenhouse* dari aktifitas manusia.

III. Isu Global Teknologi Nuklir

Terdapat 3 isu global tentang pemanfaatan energi nuklir, yaitu: isu mengenai "*Nuclear Safety*" atau keselamatan reaktor nuklir, "*nuclear non-proliferation*" atau pembatasan penggunaan bahan nuklir, "*radioactive waste management*" atau pengaturan sampah radioaktif. Untuk isu keselamatan reaktor nuklir,

estimasi resiko pada kecelakaan reaktor yang beresiko tinggi menjadi resiko yang rendah dibandingkan dengan semua resiko pada kehidupan manusia umumnya. Kemajuan dalam keselamatan reaktor ini dapat diperoleh dengan usaha keras untuk mempertinggi pemeliharaan keselamatan reaktor, manajemen keselamatan, sumber daya manusia.

IV. Keselamatan dan Kesehatan Nuklir

PLTN harus dibangun pada suatu tempat yang memenuhi syarat-syarat bebas dari adanya berbagai fenomena alam yang dapat mengancamnya, atau secara teknis dapat dihindarkannya. Misalnya harus bebas dari daerah yang bebas dari kemungkinan bahaya alam (vulkanologi, tsunami, tornado, dsb, dimana teknologi tidak dapat digunakan untuk mengatasinya), maupun bahaya yang dibuat oleh manusia (dekat dengan lapangan terbang, dekat dengan fasilitas militer yang mempunyai gudang amunisi, dll). Di samping itu PLTN juga harus dibangun di suatu lokasi dimana terdapat suatu jaringan listrik yang dapat memasok cadangan, sekaligus menyalurkan hasil listriknya dalam suatu batasan teknis tertentu.

PLTN sebagai suatu produk teknologi tentunya merupakan suatu hasil optimasi antara aspek teknologi dan keekonomiannya. Dalam hal gempa bumi, data gempa bumi baik dari sejarah kegempaan daerah tersebut, maupun pengukuran gempa/percepatan tanah digunakan sebagai suatu parameter input dalam menentukan desain keselamatan PLTN yang akan dibangun. Intensitas gempa terbesar yang pernah terjadi dari sejarah gempa seratus tahun, dikalikan dengan faktor keamanan tertentu, akan dijadikan sebagai input untuk mendesain bahwa PLTN dan komponennya harus tahan bila peristiwa tersebut terulang lagi.

Sistem keselamatan yang ada dibuat berdasarkan dengan "*inherent safety feature*" maupun "*engineered safety feature*", yang akhirnya akan disimulasikan sebagai suatu

sumber kecelakaan yang dapat terjadi, bagaimana sistem keselamatan tersebut dapat menahannya. Semua diskripsi sistem keselamatan, bagaimana sistem menangani masalah ini, juga bagaimana organisasi pengelola PLTN menangani masalah ini harus dilaporkan dalam suatu dokumen yang dinamakan dengan *Preliminary Safety Analysis Report* (PSAR), yang disyaratkan sebagai dokumen untuk memperoleh izin pembangunannya (bersama dengan dokumen AMDAL).

PSAR harus dilengkapi dengan data pengujian kemampuan sistem keselamatan yang sudah dibangun, laporan ini dituangkan dalam *Safety Analysis Report* (SAR) dan harus diserahkan kepada Lembaga Perizinan sebelum memperoleh Izin *Commissioning* operasi sementara.

Untuk menjamin keselamatan PLTN, diterapkan tiga hal pokok:

- (a) Penegakan peraturan dan pengawasan yang ketat oleh pengawas internal, nasional dan internasional,
- (b) Penggunaan SDM operator yang handal, tersertifikasi dan secara reguler disegarkan,
- (c) Pemanfaatan teknologi yang *proven* (teruji) dengan sistem pertahanan berlapis (*defence-in-depth*).

Berbagai usaha pengamanan dilakukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, para pekerja reaktor, dan lingkungan sekitar PLTN. Usaha ini dilakukan untuk menjamin agar radioaktif yang dihasilkan reaktor nuklir tidak terlepas ke lingkungan baik selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan. Tindakan protektif dilakukan untuk menjamin agar PLTN dapat dihentikan dengan aman setiap waktu jika diinginkan dan dapat tetap dipertahanan dalam keadaan aman, yakni memperoleh pendinginan yang cukup. Untuk ini panas peluruhan yang dihasilkan harus dibuang dari teras reaktor, karena dapat menimbulkan bahaya akibat pemanasan lebih pada reaktor.

1. Keselamatan terpasang

Keselamatan terpasang dirancang berdasarkan sifat-sifat alamiah air dan uranium. Bila suhu dalam teras reaktor naik, jumlah neutron yang tidak tertangkap maupun yang tidak mengalami proses perlambatan akan bertambah, sehingga reaksi pembelahan berkurang. Akibatnya panas yang dihasilkan juga berkurang. Sifat ini akan menjamin bahwa teras reaktor tidak akan rusak walaupun sistem kendali gagal beroperasi.

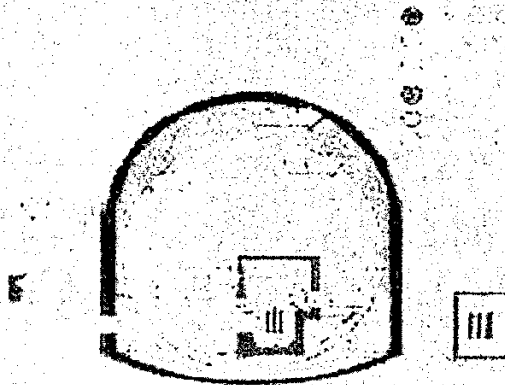
2. Penghalang Ganda

PLTN mempunyai sistem pengaman yang ketat dan berlapis-lapis, sehingga kemungkinan terjadi kecelakaan maupun akibat yang ditimbulkannya sangat kecil. Sebagai contoh, zat radioaktif yang dihasilkan selama reaksi pembelahan inti uranium sebagian besar (> 99%) akan tetap tersimpan di dalam matriks bahan bakar, yang berfungsi sebagai penghalang pertama. Selama operasi maupun jika terjadi kecelakaan, kelongsongan bahan bakar akan berperan sebagai penghalang kedua untuk mencegah terlepasnya zat radioaktif tersebut keluar kelongsongan. Dalam hal zat radioaktif masih dapat keluar dari dalam kelongsongan, masih ada penghalang ketiga yaitu sistem pendingin. Lepas dari sistem pendingin, masih ada penghalang keempat berupa bejana tekan dibuat dari baja dengan tebal ± 20 cm. Penghalang kelima adalah perisai beton dengan tebal 1,5-2 m. Bila zat radioaktif itu masih ada yang lolos dari perisai beton, masih ada penghalang keenam, yaitu sistem pengungkung yang terdiri dari pelat baja setebal ± 7 cm dan beton setebal 1,5-2 m yang kedap udara. Jadi selama operasi atau jika terjadi kecelakaan, zat radioaktif benar-benar tersimpan dalam reaktor, tidak dilepaskan ke lingkungan. Kalaupun masih ada zat radioaktif yang terlepas jumlahnya sudah

sangat diperkecil sehingga dampaknya terhadap lingkungan sangat kecil.

3. Pertahanan Berlapis

Disain keselamatan PLTN menganut falsafah pertahanan berlapis (*defence in depth*). Pertahanan berlapis ini meliputi : lapisan keselamatan pertama, PLTN dirancang, dibangun dan dioperasikan sesuai dengan ketentuan yang sangat ketat, mutu yang tinggi dan teknologi mutakhir; lapis keselamatan kedua, dilengkapi dengan sistem pengaman/keselamatan yang digunakan untuk mencegah dan mengatasi akibat-akibat dari kecelakaan yang mungkin dapat terjadi selama umur PLTN, lapis keselamatan ketiga, dilengkapi dengan sistem pengamanan tambahan, yang dapat diperkirakan kecelakaan dapat terjadi pada suatu PLTN. Namun demikian kecelakaan tersebut kemungkinan terjadinya sedemikian sehingga tidak akan pernah terjadi selama umur operasi.



Gambar 2. Sistem Keselamatan Reaktor dengan Pertahanan berlapis

V. Limbah Radioaktif

Selama PLTN beroperasi, pencemaran yang disebabkan oleh zat radioaktif terhadap lingkungan dapat dikatakan tidak ada, jika penerapan sistem pertahanan berlapis pada PLTN efektif dan terkontrol. Air laut atau sungai yang dipergunakan untuk membawa panas dari kondensor sama sekali tidak mengandung zat radioaktif, karena tidak bercampur dengan air pendingin yang bersirkulasi di dalam reaktor. Gas radioaktif yang dapat keluar dari sistem reaktor tetap terkungkung di dalam sistem pengungkung dan sudah melalui sistem ventilasi dengan filter yang berlapis-lapis. Gas yang dilepas melalui cerobong aktivitasnya sangat kecil (sekitar 2 milicurie/tahun), sehingga tidak menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Pada PLTN sebagian besar limbah yang dihasilkan adalah limbah aktivitas rendah (70 - 80 %). Sedangkan limbah aktivitas tinggi dihasilkan pada proses daur ulang elemen bakar nuklir bekas, sehingga apabila elemen bakar bekasnya tidak didaur ulang, limbah aktivitas tinggi ini jumlahnya sangat sedikit.

Penanganan limbah radioaktif aktivitas rendah, sedang maupun aktivitas tinggi pada umumnya mengikuti tiga prinsip, yaitu :

- a. Memperkecil volumenya dengan cara evaporasi, insenerasi, kompaksi/ditekan.
- b. Mengolah menjadi bentuk stabil (baik fisik maupun kimia) untuk memudahkan dalam transportasi dan penyimpanan.
- c. menyimpan limbah yang telah diolah, di tempat yang terisolasi.

Pengolahan limbah cair dengan cara evaporasi/pemanasan untuk memperkecil volume, kemudian dipadatkan dengan semen (*sementasi*) atau dengan gelas masif (*vitrifikasi*) di dalam

wadah yang kedap air, tahan banting, misalnya terbuat dari beton bertulang atau dari baja tahan karat.

Pengolahan limbah padat adalah dengan cara diperkecil volumenya melalui proses insenerasi/pembakaran, selanjutnya abunya disementasi. Sedangkan limbah yang tidak dapat dibakar diperkecil volumenya dengan kompaksi/penekanan, dipadatkan di dalam drum/beton dengan semen. Sedangkan limbah padat yang tidak dapat dibakar atau tidak dapat dikompaksi, harus dipotong-potong dan dimasukkan dalam beton kemudian dipadatkan dengan semen atau gelas masif. Selanjutnya limbah radioaktif yang telah diolah disimpan secara sementara (10-50 tahun) di gudang penyimpanan limbah yang kedap air sebelum disimpan secara lestari. Tempat penyimpanan limbah lestari dipilih di tempat/lokasi khusus, dengan kondisi geologi yang stabil dan secara ekonomi tidak bermanfaat.

VI. Dampak Radiasi Terhadap Manusia dan Lingkungan

7.1. Dampak Terhadap Kesehatan

Dampak radiologi terhadap manusia dan lingkungan (*sebagai end-point*) terjadi oleh adanya proses interaksi antara radiasi pengion yang berasal dari luar (*external*) maupun dalam tubuh (*internal*) dengan bahan sel biologi seperti kematian sel atau mutasi sel. Akan tetapi secara ilmiah setiap sel memiliki kemampuan untuk memperbaiki perubahan yang terjadi pada DNA. Hal ini berarti sebagian besar perubahan yang terjadi pada molekul tidak menimbulkan kerusakan, kecuali untuk sel yang gagal melakukan perbaikan (Wirjosimin 1995).

Bila dampak radiasi terjadi secara langsung terhadap sel penerima disebut dampak somatik, akan tetapi bila dampak atau efek baru muncul pada keturunannya disebut juga akibat hereditas atau genetik. Ditinjau dari sifatnya dampak biologi di bagi dalam dampak deterministik (*non-stokastik*) dan akibat stokastik. Akibat deterministik ditandai dengan adanya dosis minimum tertentu yang menyebabkan suatu akibat tertentu, tingkat kerusakan bertambah oleh bertambahnya dosis, dan

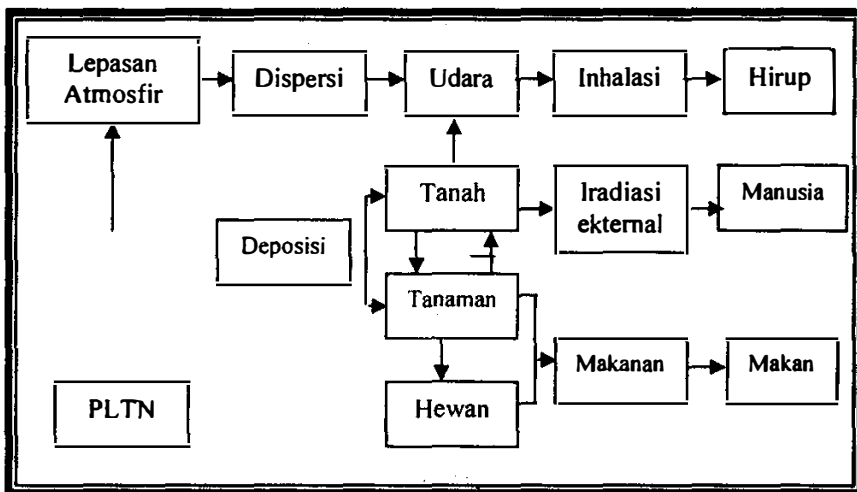
adanya keterkaitan yang jelas antara penyebab dan akibat. Pada penyinaran yang kecil dari satu Sievert (Sv) umumnya jaringan sel belum menunjukkan gejala klinis yang nyata kecuali pada organ berikut (ICRP 1990) :

- a) Gonad (kelenjar tyroid) yang akan steril sementara bila terkena 0.15 Sv dan steril menetap bila terkena 3 Sv.
- b) Tulang belakang yang akan mengalami gangguan pembentukan darah pada dosis 0.5 Sv
- c) Lensa mata yang akan menyebabkan kebutaan setelah beberapa tahun terkena penyinaran.

Sedangkan akibat stokastik adalah akibat yang terjadi berdasarkan kemungkinan (probabilitas) yang dapat dialami oleh penerima, atau dalam hal genetik yang dialami oleh salah satu keturunan. Probabilitas kejadian berbanding linier dengan dosis namun tingkat keparahannya tidak tergantung dari dosis, contoh efek karsinogenik dan hereditary (Wiryosmin 1995; IAEA 1988). Efek stokastik umumnya dinyatakan dalam jumlah kasus kejadian kanker (morbidity) atau kanker fatal (mortality) per unit dosis.

7.2. Penerimaan radiasi oleh manusia atau organ

Secara umum jalur masuknya radionuklida ke tubuh manusia maupun lingkungan dijelaskan pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Jalur penerimaan paparan radiasi pada manusia

Bahan radionuklida terlepas dari cerobong PLTN ke atmosfer dan tersebar di udara. Sebagian tetap mengapung di udara membentuk awan radioaktif sebagian.

Bahan radionuklida terlepas dari cerobong PLTN ke atmosfer dan tersebar di udara. Sebagian tetap membentuk awan radioaktif di udara sebagian lagi terdeposisi ke tanah. Paparan radionuklida yang berada di udara memberikan dampak radiologi kepada manusia melalui radiasi eksternal (eksternal irradiation) dalam bentuk awan radiasi (*cloud*) dan radiasi internal (*internal radiation*), termasuk penghirup udara (*inhalation*) dan makanan (*ingestion*). Penghirupan udara masuk ke dalam tubuh manusia sebanding dengan kemampuan hisap manusia itu sendiri. Paparan radionuklida yang terdeposisi dapat tetap berada di permukaan tanah maupun sebagian terserap ketanah. Paparan yang tetap di permukaan tanah dapat kembali ke udara oleh karena ada hembusan angin atau terdorong oleh benda keras. Paparan ini akan membesar paparan radionuklida yang ada di udara. Sedangkan yang masuk ke dalam tanah akan termakan oleh ternak atau terhisap oleh tanaman. Paparan ini akan masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur makan (*ingestion*) manusia sebagai penerima radionuklida. Untuk masing-masing jalur penyinaran dapat dibuat model untuk mengkuantifikasi besar penyinaran yang sampai ke end-point.

7.2.1 Awan Radiasi

Radionuklida yang terdispersi di atmosfer dapat menjadi sumber radiasi berupa awan radiasi terhadap manusia. Karena radiasi awan ini berada di luar tubuh manusia, maka sering disebut sebagai sumber radiasi eksternal. Radiasi eksternal ini terdiri dari dua jenis radiasi yaitu radiasi gamma dan radiasi beta (elektron). Awan radiasi bungkah gamma yang terbentuk awan semi-tak-hingga menimbulkan dosis serap di udara pertahun.

Untuk mengetahui efek dosis serap di udara terhadap dosis di organ tubuh, makan dapat digunakan daftar konversi laju dosis pada publikasi ICRP 60 (ICRP 1990). Awan radiasi

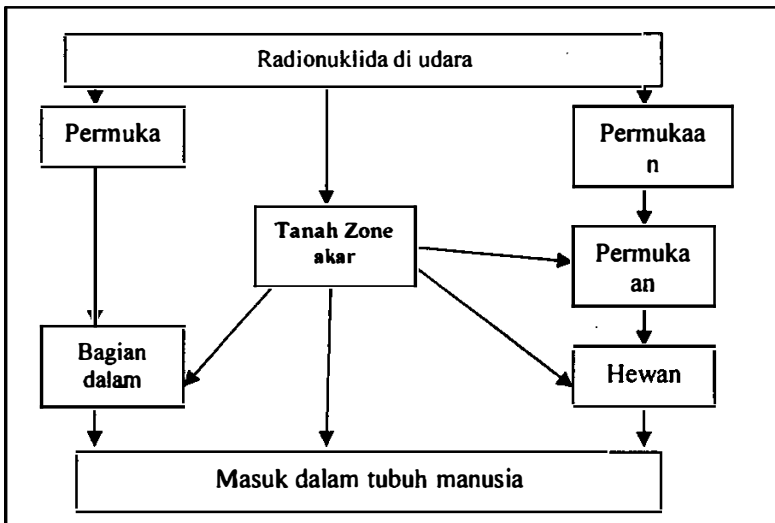
eksternal bungkah beta atau elektron. Awan radiasi ini sangat peka terhadap kulit. Sel yang paling sensitif yang terdekat dari permukaan kulit adalah lokasi lapis basal epidermi pada kedalaman 70 μm dari permukaan.

Konversi dosis serap elektron di udara ke organ tubuh

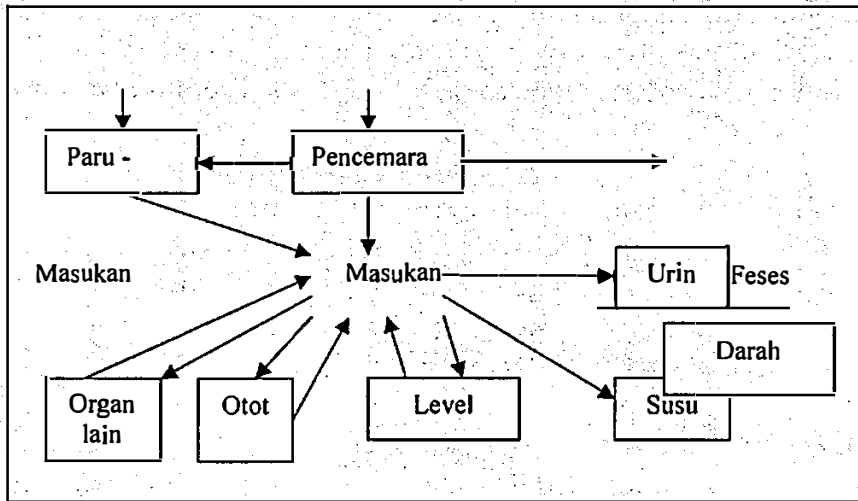
Untuk mengetahui efek dosis serap elektron di udara terhadap dosis serap elektron kulit dapat di evaluasi dari laju dosis di udara dengan mengijinkan penyerapan eksponensial fluk elektron dalam 70 μm lapisan.

7.2.2. Radiasi Internal

Radionuklida yang masuk ke dalam tubuh manusia akan memancarkan radiasi dari dalam disebut sebagai radiasi internal. Radiasi ini dapat masuk melalui hisapan udara maupun melalui makanan. Radionuklida yang masuk ke tubuh manusia melalui hisapan udara maupun makanan secara skematik dapat digambarkan seperti pada gambar 3. selanjutnya model metabolisme perpindahan bahan radionuklida di dalam tubuh manusia dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses masuknya bahan radionuklida ke dalam tubuh manusia



Gambar 5. Metabolisme radiasi radionuklida ke dalam tubuh manusia

7.3. Penanggulangan Dampak

Apabila terjadi kecelakaan nuklir, maka penanganan yang serius harus dilakukan untuk menurunkan resiko atau sering disebut sebagai manajemen resiko. Manajemen resiko pada intinya melakukan seleksi terhadap peralatan yang dapat mereduksi resiko secara maksimum dengan biaya murah. Langkah untuk mereduksi resiko dapat dilakukan dalam beberapa kategori (IAEA 1998) :

1. Langkah pencegahan. Langkah ini meliputi penggunaan teknologi atau proses untuk mencegah sumber pencemar, perencanaan pemanfaatan tanah (*land use planning*) untuk menghindarkan populasi dari tingkat radiasi yang tinggi, dan pengalihan jalur dengan mencegah bahan berbahaya melintasi penduduk yang padat.
2. Langkah reduksi resiko. Langkah ini meliputi penambahan instrumentasi pada instalasi sehingga dapat menurunkan kemungkinan akibat kecelakaan bersama dengan meningkatkan manajemen keselamatan instalasi, dan perencanaan penggunaan tanah yang sesuai.

3. *Emergency Preparedness*. Penanganan kondisi emergensi yang terlatih baik, akan menurunkan secara berarti akibat yang fatal dari suatu kecelakaan (IAEA 1997c)

Apabila telah terjadi kecelakaan, maka beberapa langkah dapat dilakukan untuk mencegah semakin besarnya akibat kecelakaan tersebut. Tindakan tersebut meliputi tindakan relokasi, evakuasi, perlindungan, dekontaminasi, larangan memakan makanan yang terkontaminasi, memakan tablet iod. Sebagai alat ukur untuk menentukan masing-masing tindakan di tentukan oleh besar dosis efektif yang sampai di permukaan bumi (NRPB 1995).

Pada kejadian kecelakaan nuklir di Chernobyl langkah-langkah yang diambil dalam rangka mengurangi dampak resiko adalah dengan mengevakuasi penduduk pada radius 30 Km, menutup reaktor yang mengalami kecelakaan dengan teknik pengungkungan (*sarkofagus*), meminum tablet iod, menghancurkan hewan dan tanaman yang dekat dengan reaktor, melakukan pengawasan yang ketat terhadap tanaman dan hewan yang berada pada daerah terkontaminasi (IAEA 1996a).

7.4. Nilai Ekonomi Dampak Radiologi

Kecelakaan nuklir bukanlah bentuk kecelakaan yang sering terjadi, sehingga tidak di miliki data statistik yang cukup memadai untuk di jadikan acuan dalam penentuan dampak ekonominya. Untuk kasus ini, maka perkiraan yang umum dilakukan adalah dengan memberikan harga bayangan (*shadow price*) pada dampak tersebut. Dalam hal lingkungan yang tercemar, biaya yang di butuhkan untuk membersihkan lingkungan dari pencemaran dapat dikatakan sebagai harga bayangan dampak kerusakan lingkungan (Kristanto 2002). Pada kecelakaan nuklir biaya pemulihan kerusakan yang ditimbulkan oleh suatu kecelakaan nuklir dapat dikatakan harga bayangan dampak kecelakaan nuklir.

Secara ekonomi biaya yang harus dikeluarkan apabila terjadi kecelakaan yang tidak dihindari adalah biaya

penanggulangan yang meliputi relokasi, evakuasi, perlindungan, dekontaminasi, larangan memakan makanan yang terkontaminasi, memakan tablet iod dan biaya perawatan kesehatan (IKET 2000; BATAN-IAEA 2002). Di samping itu, karena dampak terjadinya gangguan kesehatan maupun relokasi dapat menyebabkan seseorang kehilangan penghasilannya sekaligus kontribusi yang bersangkutan terhadap perekonomian, kehilangan pendapatan juga menjadi bagian dari biaya.

Biaya relokasi meliputi biaya transportasi, akomodasi, kehilangan pendapatan, dan kehilangan lahan. Biaya dekontaminasi meliputi pembiayaan untuk tenaga kerja. Akomodasi per orang per tahun, dan biaya kehilangan pendapatan karena relokasi per orang. Biaya penanganan barang pertanian dan peternakan meliputi biaya kehilangan produksi makanan, makanan biaya dari tiap-tiap penanganan tersebut diperlukan data unit harga, oleh karena itu secara lokal akan di tentukan nilai unit harga dari masing-masing penanganan.

Pada kejadian kecelakaan nuklir di Chernobyl tahun 1986, biaya akibat kecelakaan dihitung dengan memperkirakan besar kehilangan dan besar pembiayaan yang di keluarkan. Pengeluaran tersebut antara lain oleh kehilangan aset; penurunan produksi di bidang pertanian dan sektor terkait; tindakan yang diambil untuk menghilangkan akibat kecelakaan; pembangunan rumah; fasilitas kesejahteraan dan jalan, tindakan memproteksi hutan dan konservasi air; kompensasi untuk perusahaan pertanian. Dekontaminasi tanah; kerjasama dan masyarakat yang kehilangan panen, hewan, biaya pindah, dan biaya hidup sehari-hari penduduk yang terkena musibah (Voznyak 1996).

7.5. Kajian Pemanfaatan Ruang dan Lingkungan

Sebagaimana terjadi dengan proyek pembangunan lainnya di Indonesia, kehadiran PLTN akan diikuti dengan perkembangan jumlah penduduk di sekitar PLTN. Untuk itu wilayah di sekitar PLTN perlu di tata sedemikian rupa

sehingga dapat mengantisipasi bilamana terjadi kondisi kecelakaan agar dampaknya terhadap penduduk seminimal mungkin dan seekonomis mungkin dalam penanganannya. Sebagai langkah pertama adalah ditetapkannya wilayah yang memiliki kemungkinan mendapat dosis radiasi yang tinggi dan rendah. Wilayah ini di sebut sebagai wilayah eksklusi (*Exclusion Area*) dan zone penduduk jarang (*Low Population Zone*).

Zone eksklusi disebut sebagai zone penduduk dengan kepadatan rendah (*Low Population Zone*). Wilayah ini dibatasi dengan ketentuan bahwa tiap individu yang berada di lokasi luar radius sebagai akibat kecelakaan yang di postulasikan tidak akan menerima dosis efektif ekuivalen total melebihi 25 rem atau 0,25 Sv, 30 hari setelah pelepasan produksi fisi ke pengungkung.

Kedua, dengan diketahuinya zone-zone yang mungkin memiliki potensi terkena dosis radiasi dan distribusi penduduk perlu direncanakan tindakan kedaruratan bila terjadi kecelakaan dengan tujuan (IAEA 1997c) :

1. Memperkecil resiko atau mencegah akibat kecelakaan pada sumber
2. Mencegah dampak deterministik kesehatan yang lebih parah, misalkan kematian.
3. Memperkecil kemungkinan dampak stokist terhadap kesehatan, seperti penyakit kanker.

Salah satu langkah tindakan kedaruratan adalah mendefinisikan Zone Rencana Kedaruratan (*Zone Emergency Planning*) yang terdiri dari *Precautionary Zone (PAZ)*, *Urgent Protective Action Zone (UPZ)* dan *longer term protective action planning zone (LPZ)*. PAZ adalah zone yang ditetapkan sekitar fasilitas dimana tindakan perlindungan yang penting (*urgent protective action*) telah direncanakan sebelumnya dan segera di implementasikan setelah dinyatakan terjadinya keadaan darurat. Zone rencana tindakan perlindungan penting (UPZ) adalah zone di sekitar PLTN yang tindakan perlindungan penting akan dilakukan berdasarkan hasil monitoring lingkungan. Selanjutnya zone rencana tindakan perlindungan jangka panjang merupakan zone yang meliputi UPZ dan zone

lebih jauh yang digunakan untuk mencegah dan memperkecil dampak dosis jangka panjang dari deposisi dan makanan. Mengacu pada studi-studi sebelumnya (USNRC 1990; USNRC 1988).

Dalam hal ini PLTN termasuk pada kategori fasilitas 1 yaitu reaktor dengan daya lebih dari 100 MW(th) (IAEA 1997c). Zone PAZ adalah wilayah dimana penduduk maupun pekerja dimungkinkan mendapat informasi dengan segera misalnya melalui sirine dan menginstruksikan mereka untuk mengambil tindakan perlindungan yang penting misalnya berlindung (*sheltering*), evakuasi (*evacuation*), dan memakan tablet Iodium untuk memblokir penyerapan iod radioaktif dalam tubuh (kelenjar gondok). Ukuran PAZ didasarkan pada :

- (a) Pelaksanaan tindakan protektif penting sebelum atau segera sesudah pelepasan bahan radionuklida di dalam zone ini akan mengurangi resiko secara signifikan dengan dosis di atas nilai ambang kematian segera (*early death threshold*) pada kasus kecelakaan terparah
- (b) Pelaksanaan tindakan protektif sebelum atau segera setelah pelepasan di dalam zone ini yang akan mencegah dosis di atas nilai ambang kematian segera pada kebanyakan kecelakaan parah pada fasilitas.
- (c) Untuk pelepasan atmosfer pada kondisi meteorologi di bawah rata-rata, zone ini meliputi jarak dimana 90% resiko luar kawasan yang menyebabkan efek kesehatan akut terjadi.

Zone UPZ merupakan wilayah dimana tindakan monitoring lingkungan segera dilakukan dan menerapkan tindakan protektif berdasarkan hasil monitoring tersebut. Rencana dan kemampuan harus dipersiapkan untuk menerapkan perlindungan, evakuasi dan distribusi tablet iod. Harus dapat ditunjukkan bahwa evakuasi mungkin dibutuhkan sampai ke batas zone ini. Ukuran UPZ terutama mempertimbangkan hal berikut :

- (a) Tindakan penting harus diambil 4-5 jam di dalam zone untuk menurunkan secara signifikan resiko dosis di atas

nilai ambang kematian segera pada kasus kecelakaan terparah

- (b) Jarak yang dibutuhkan kira-kira dapat menurunkan 10 kali konsentrasi dibanding dengan PAZ
- (c) Rencana detil dalam zone yang dapat memberikan perluasan usaha-usaha penanggulangan pada kejadian kecelakaan parah.

Zone LPZ adalah zone untuk mengimplementasikan tindakan protektif untuk menurunkan resiko dampak deterministik dan stokastik jangka panjang dari bahan yang terdeposisi dan masuk tumbuhan makanan. Secara umum tindakan relokasi dan pembatasan makanan, dan penanganan pertanian didasarkan hasil monitoring dan pengambilan sampel makanan. Ukuran LPZ mempertimbangkan :

- (a) Dosis rata-rata kontaminasi tanah yang menjalin relokasi tidak akan terjadi melebihi jarak ini untuk kebanyakan kecelakaan
- (b) Jarak yang menyebabkan penurunan konsentrasi 10 kali lipat dibandingkan batas UPZ. Wilayah ini meliputi jarak dimana 99% resiko dosis luar kawasan di atas tingkat intervensi generik.
- (c) Rencana detil dalam zone yang dapat memberi perluasan langkah-langkah penanggulangan pada kecelakaan parah.

Dengan mengetahui zone-zone tersebut dapat di tentukan langkah-langkah kedaruratan yang akan dilakukan, demikian pula pada daerah tertentu misalnya daerah eksklusi tidak dibenarkan adanya fasilitas-fasilitas yang dapat menimbulkan ancaman terhadap PLTN seperti fasilitas industri yang berpotensi menimbulkan ledakan, fasilitas militer, dan transportasi yang membawa bahan berbahaya.

Sejalan dengan perkembangan waktu maka penggunaan lahan di sekitar PLTN dapat berubah yang di dorong oleh pertumbuhan populasi, urbanisasi, industrialisasi, perubahan tatanan sosial ekonomi, harga tanah, dan lain-lain (Verbug et al 2000). Sebagai akibatnya dapat terjadi pemusatan penduduk dan aktifitas di wilayah yang memiliki tingkat potensu resiko radiologi yang relatif tinggi.

Sesuai dengan Kotter (2003). IAEA (1998) salah satu langkah untuk mencegah terjadinya pemusatan penduduk dan aktifitas di lokasi sekitar PLTN adalah melalui perencanaan penggunaan lahan sejak awal. Melalui berbagai kebijakan tata ruang dapat diatur penggunaan ruang sekitar PLTN, sehingga terhindar dari potensi risiko radiologi yang tinggi.

Secara prinsip langkah tersebut berkaitan dengan adanya zone penyangga (*physical buffer zone*) atau pemisahan antara industri yang berbahaya atau berpolusi dengan lahan yang sensitif atau lingkungan alam lainnya. Akan tetapi langkah penentuan jarak zone penyangga tidak hanya tergantung pada aspek teknis saja tetapi lebih luas menyangkut aspek sosial ekonomi. Oleh karena itu lokasi PLTN, penggunaan tanah di sekitarnya dan isu-isu lain yang bertalian harus dipertimbangkan dalam konteks yang lebih luas yang meliputi lingkungan, keselamatan, ekonomi, sosial dan isu-isu perencanaan secara keseluruhan. Dan yang paling penting adalah langkah penanganan harus dengan rencana strategi wilayah di sekitar PLTN.

Kesimpulan

1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir merupakan salah satu alternative untuk memenuhi kebutuhan energi .
2. Dibandingkan dengan penggunaan Pembangkit Listrik Konvensional berbasis energi fosil batubara atau minyak/gas bumi, PLTN relatif lebih rendah dalam pencemaran lingkungan.
3. Teknologi PLTN yang dikembangkan sekarang ini memungkinkan sebagai pembangkit yang aman.
4. Teknologi dalam penanganan Limbah Radioaktif yang aman untuk PLTN dapat terus dikembangkan.
5. Hidup selalu dihadapkan pada pilihan keputusan dan risiko. Pilihan terbaik adalah yang memiliki risiko minimal dan manfaat maksimal.
6. Pemanfaatan ruang disekitar PLTN haruslah dikontrol dengan menetapkan zone eksklusi (*exclusion area*) dan

zone penduduk jarang (*low population zone*), dan zone untuk melakukan evakuasi .

7. Selanjutnya untuk mengatasi atau mengurangi dampak bila kondisi kecelakaan tidak dapat di hindari maka setiap PLTN harus membuat rencana tanggap darurat.
8. Kajian lebih lanjut perlu dilakukan secara komprehensif dengan melibatkan pakar berbagai disiplin ilmu termasuk kajian sosial kemasyarakatan dan keagamaan, terkait rencana pembangunan PLTN di Banten.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANS, 2001, World list of nuclear power plants, Nuclear News, March 2001.
2. Jupiter S Pane, Kajian Dampak Radiologi Dan Pemanfaatan Ruang PLTN, IPB, 2006
3. Pedoman Keselamatan Kerja Non Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
4. PP No. 64 Tahun 2000 tentang Perijinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir
5. UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
6. Berbagai sumber lain.