

Kontribusi Pembangkitan Energi Listrik terhadap Efek Rumah Kaca

Oleh:

Nuraini dan Erwansyah Lubis

ABSTRAK

Kegiatan pembangunan telah berhasil meningkatkan kesejahteraan manusia, namun juga menyebabkan terjadinya kecenderungan perubahan planet yang radikal, akibat terjadinya efek rumah kaca (ERK), penipisan lapisan ozon dan hujan asam, yang keseluruhannya dapat mengancam kelestarian kehidupan spesies-spesies, termasuk umat manusia di dalamnya. Pembangkitan energi listrik dan transportasi merupakan kontribusi utama emisi gas rumah kaca (GRK), mencapai 1/3 emisi global. Sesuai kesepakatan Protokol Kyoto pada tahun 1997, tiap negara secara sendiri-sendiri atau bersama-sama sepakat mereduksi konsentrasi GRK sebesar 5,2 % di bawah tingkat emisi tahun 1990. Pengurangan emisi GRK dapat dilakukan melalui implementasi teknologi pembangkitan yang mengandung karbon rendah, seperti pemanfaatan gas alam, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin dan tenaga nuklir. Keragaman pembangkitan energi yang arif disesuaikan dengan kapasitas lingkungan hidup merupakan faktor kunci untuk kesinambungan suplai listrik dan melestarikan pembangunan berkelanjutan. Hasil studi IAEA menunjukkan bahwa bahan bakar fosil mempunyai faktor emisi GRK tertinggi. Batu-bara mempunyai faktor emisi 2 kali lebih tinggi dari gas alam. Faktor emisi tenaga angin dan biomas berada di antara tenaga surya dan tenaga nuklir. Dalam seluruh daur pembangkitan listrik, tenaga nuklir mengemisikan 25 g CO₂ per kWh dibandingkan bahan bakar fosil yang mengemisikan 250 – 1250 g CO₂ per kWh.

Kata kunci: energi listrik, gas rumah kaca, efek rumah kaca dan lapisan ozon

ABSTRACT

The development activities has successfully increasing the welfare of the human kind, but also has increasing trend the planet changes radically, because of the greenhouse effect (GHE), decreasing ozone layer and acid rain, that all could treat the living of the species-species and including man inside. The electricity generation and transportation are the main contribution of greenhouse gas (GHG), reaching 1/3 of global emission. Base on the Kyoto protocol in 1997, that all countries, alone or together agree to reduce the emission of GHG of 5.2 % under the emission of the 1990. The decreasing of GHG could be reached by implementing the technology generation that contain low carbon, such a natural gas, hydro power, wind, solar and nuclear power. Diversification of electricity generation has to take a count of environmental capacity, so the supply stability and sustainable development could be reached. The IAEA results studies indicated that the emission factor of fossil fuel 2 times greater compare to the natural gas. The emission factor of wind and biomass lie between solar and nuclear power. In the electricity generation chain, nuclear power emit the 25 g of CO₂/kWh compare to fossil fuel emit 250 – 1250 g CO₂/kWh.

Key words : electric energy, greenhouse gas, greenhouse effect and ozone layer.

I. PENDAHULUAN

Lingkungan hidup (*biosfer*) adalah tempat kita semua hidup dan tempat seluruh kegiatan pembangunan, keduanya tidak dapat dipisahkan. Dalam biosfer ini juga tersedia berbagai jenis sumber daya alam (SDA), namun SDA ini memiliki keseimbangan yang kritis, mempunyai ambang batas (*threshold*) yang tidak boleh dilampaui, bila dilampaui dapat membahayakan integritas dasar sistemnya. Bila SDA mengalami degradasi, pembangunan yang berlangsung akan mengalami gangguan dan kemungkinan tidak berkelanjutan dapat saja terjadi ^[1,2].

Kita menyadari dan sulit untuk disangkal, bahwa permasalahan lingkungan semakin besar dan kompleks, baik secara lokal, regional maupun global. Pembangunan yang telah berhasil meningkatkan kesejahteraan manusia, dilain sisi juga menyebabkan terjadinya kecenderungan perubahan planet yang radikal akibat efek rumah kaca (ERK), penipisan lapisan ozon dan hujan asam, yang keseluruhannya dapat mengancam kehidupan spesies-spesies, termasuk umat manusia di dalamnya ^[3].

Dalam tulisan ini akan ditelaah kontribusi gas rumah kaca (GRK) dari jalur pembangkitan listrik, sehingga diperoleh gambaran yang proporsional untuk pengambilan keputusan yang arif dalam menilai teknologi pembangkitan listrik. Namun kita juga harus menyadari bahwa alam telah mengajari kita bahwa keragaman menjamin adanya kestabilan dan kelestarian. Hutan yang di dalamnya terdapat beragam jenis flora dan fauna selalu lestari, berbeda dengan tanaman budi-daya yang mono-kultur sangat rentan terhadap gangguan hama. Oleh karena itu keragaman dalam pembangkitan listrik dengan memperhitungkan daya dukung lingkungan dapat menjamin suplai listrik juga kelestarian lingkungan hidup.

II. EFEK RUMAH KACA

Efek rumah kaca adalah proses alami yang membantu terjadinya pemanasan pada lapisan atmosfer dan permukaan bumi. Hal ini terjadi karena gas-gas yang terdapat dalam lapisan atmosfer, seperti karbon dioksida (CO_2), gas metan (CH_4), dinitrogen oksida (NO_2), chlorofluorocarbon (CF_xC_x) dan gas-gas lainnya mampu merubah kesetimbangan energi dari planet bumi melalui penyerapan radiasi gelombang panjang (*longwave*) yang diemisikan dari permukaan

bumi. Tanpa adanya ERK suhu udara dipermukaan bumi akan dingin berkisar -18°C , dibandingkan saat ini suhu udara rata-rata di permukaan bumi sebesar 15°C ^[4,5].

Energi sinar matahari yang melewati lapisan atmosfer sebanyak (26 %) dipantulkan kembali ke ruang angkasa oleh awan dan sebanyak 19 % diserap oleh partikel-partikel dan gas-gas yang terdapat dalam lapisan atmosfer. Sisanya sebanyak 55 % diteruskan ke permukaan bumi, di permukaan bumi sinar radiasi matahari ini digunakan untuk berbagai proses, untuk pemanasan bumi, pencairan es dan salju, penguapan air permukaan (laut, danau, sungai, waduk, dll) dan fotosintesa ^[4,5].

Pemanasan permukaan bumi oleh sinar matahari menyebabkan permukaan bumi seperti sebuah radiator energi gelombang panjang (radiasi infra merah). Emisi radiasi infra merah seharusnya kembali ke ruang angkasa, namun sebagian besar diserap oleh GRK yang terdapat pada lapisan atmosfer. Penyerapan radiasi infra merah oleh GRK menyebabkan terjadinya penambahan energi. panas terhadap sistem lapisan atmosfer bumi. Sebanyak 90 % sinar infra merah yang dipantulkan permukaan bumi dipantulkan kembali oleh GRK yang terdapat dalam lapisan atmosfer ke permukaan bumi, sekali lagi diserap dan dipantulkan kembali oleh permukaan bumi, demikian proses ini terjadi berulang-ulang. Proses ini dikenal dengan sebutan ERK dan dampaknya menyebabkan terjadinya pemanasan global (*global warming*).

Jumlah energi panas yang diserap oleh lapisan atmosfer dikendalikan oleh konsentrasi GRK. Konsentrasi CO_2 , NO_2 dan CH_4 dalam lapisan atmosfer telah banyak mengalami peningkatan, pada tahun 1750 konsentrasinya masing-masing adalah 280 ppm, 280 ppb dan 0,70 ppm, saat ini telah mengalami peningkatan masing-masing mencapai 360 ppm (29%), 360 ppb (11 %) dan 1,7 ppm (143 %). Berdasarkan sejarah pengukuran suhu bumi yang dilakukan secara independen, disimpulkan bahwa suhu rerata global permukaan bumi telah meningkat sebesar $0,5^\circ\text{C}$ selama 100 tahun terakhir. Para ilmuwan meyakini bahwa pemanasan global ini disebabkan oleh adanya peningkatan ERK. Peningkatan ERK disebabkan oleh adanya peningkatan konsentrasi GRK di lapisan atmosfer melampaui yang ditimbulkan secara alami. Walaupun terdapat ketidak-pastian yang besar, para ilmuwan meramalkan bahwa emisi GRK

dan aerosol sulfat dengan laju peningkatan yang saat ini terjadi pada akhir abad yang akan datang dapat meningkatkan suhu global rata-rata sebesar $1 - 4 \text{ }^\circ\text{C}$ [4,5].

Dampak pemanasan global selain menyebabkan terjadinya peningkatan suhu udara juga mengakibatkan mencairnya es dan salju, meningkatkan penguapan air permukaan lebih besar lagi, sehingga meningkatkan terjadinya awan, frekuensi dan intensitas hujan. Hal ini menimbulkan perubahan iklim global, sementara makhluk hidup di bumi sangat bergantung terhadap iklim. Perubahan iklim akan berdampak negatif pada ketersediaan sumber air, sumberdaya pesisir, kesehatan, pertanian kehutanan, energi dan transportasi. Jumlah dan kualitas air minum, ketersediaan air untuk irigasi, industri, pembangkitan listrik, perikanan dan kesehatan secara signifikan dipengaruhi oleh intensitas hujan dan tingkat evaporasi. Peningkatan curah hujan dapat menimbulkan terjadinya banjir dan memberi tekanan pada daerah aliran sungai.

Pada tahun 2100 para ahli telah memprakirakan bila lapisan es di kutub terus mengalami pencairan karena peningkatan suhu global, maka permukaan air laut akan meningkat dapat mencapai hingga 50 Cm. Hal ini akan menyebabkan lebih dari 5000 mil² lahan produktif di permukaan bumi akan terendam air. Peningkatan suhu udara dalam jangka panjang akan menyebabkan terjadinya peningkatan kematian yang disebabkan *heat stress*, selain itu juga akan memacu perkembangan berbagai jenis penyakit di suatu kawasan. Perubahan suhu udara dan pola hujan dapat meningkatkan potensi terjadinya kebakaran hutan dan terganggunya/punahnya kehidupan berbagai jenis serangga, dan akan meningkatkan kebutuhan akan alat pendingin, serta transportasi air akan dipengaruhi oleh banjir dan tingkat permukaan air [4,5].

Berdasarkan beberapa uraian yang diinformasikan pada beberapa harian ibukota, bila terjadi pasang, air laut masuk lebih jauh ke daratan dan beberapa pulau kecil terendam. Pada musim penghujan, curah hujan yang terjadi di beberapa daerah relatif tinggi dan menyebabkan terjadinya banjir besar. Fenomena ini mengindikasikan bahwa Indonesia juga sudah mendapat dampak dari adanya pemanasan global. Sudah barang tentu kebenaran hal ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

III. UPAYA INTERNASIONAL

Berbagai dampak yang mengglobal seperti halnya ERK, hujan asam dan penipisan lapisan ozon diketahui setelah terjadi, kejadiannya di luar jangkauan prakiraan para ahli dari berbagai disiplin ilmu. Pada pertemuan *Conference Of the Parties* ketiga (COP-3) di Kyoto pada bulan Desember 1997, para kepala negara menyetujui ketetapan untuk mengurangi emisi GRK yang menyebabkan terjadinya ERK. Ketetapan protokol Kyoto, Annex-I, menyatakan bahwa tiap negara secara sendiri-sendiri atau secara kelompok sepakat untuk mengurangi emisi GRK sebesar 5,2 % di bawah tingkat emisi tahun 1990. Ketetapan ini merupakan komitmen untuk periode 2008 – 2012. Ketetapan lainnya, tiap negara dianjurkan untuk melakukan penelitian, pengembangan dan peningkatan penggunaan energi baru dan terbarukan, teknologi pengurangan emisi CO₂ dan teknologi ramah lingkungan [6].

IV. EMISI GAS RUMAH KACA

Pembangkitan listrik dan transportasi merupakan kontribusi utama emisi GRK, saat ini emisi GRK dari sektor pembangkitan listrik diprakirakan mencapai 1/3 emisi global. Emisi GRK sisanya adalah dari kegiatan lainnya yang dilakukan manusia, diantaranya adalah dari berbagai kegiatan industri, pembakaran biomas, penggundulan hutan, pembukaan lahan untuk pembangunan dan berbagai kegiatan lainnya. Badan tenaga atom internasional (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) pada tahun 1994 – 1998 telah melakukan pengkajian nilai faktor emisi GRK dari tiap jenis rantai pembangkitan listrik. Jenis rantai pembangkitan listrik yang menjadi objek studi meliputi bahan bakar lignite, batu-bara, minyak bumi, gas alam, tenaga nuklir, biomas, tenaga air, tenaga angin dan tenaga surya berdasarkan teknologi tahun 1990 dan teknologi yang diharapkan beroperasi pada era 2005 – 2020. Dalam studi yang dimaksud dengan total emisi GRK untuk BB fosil adalah jumlah emisi dari cerobong selama pembakaran dan pelepasan (*release*) yang terjadi selama kegiatan hulu hingga hilir (seluruh rantai produksi).

Untuk pembangkitan listrik dengan tenaga air, tenaga surya dan tenaga angin ukuran dan jenis teknologi merupakan faktor kunci dalam analisis. Analisis beban terhadap lingkungan hidup, aliran masa dan energi pada tiap tahapan posedur dihitung dengan menggunakan perangkat lunak *Life Cycle Assessment* (LCA). Dalam penggunaan metode LCA

ataupun *Process Chain Analysis* (PCA) dilengkapi dengan *Input Output Analysis* (IOA). Pembangkitan listrik dengan tenaga nuklir dan BB terbarukan tidak ada emisi GRK pada saat produksi, emisi GRK hanya terjadi pada saat penambangan dan transportasi dan pembangunan instalasi pembangkit listrik (IPL), dekomisioning dan pabrikasi peralatan. Dalam membandingkan seluruh tahapan (*cradle to grave*) diperhatikan beban terhadap lingkungan untuk berbagai jenis bahan bakar untuk teknologi yang berbeda dalam pembangkitan listrik. Dalam pembangkitan listrik dengan tenaga angin, tenaga surya dan tenaga air, analisis emisi dihitung untuk sistem primer dan sistem *back-up* secara terpisah. Hasil analisis ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 1.

Dalam Tabel 1 ditampilkan potensi pemanasan global dari beberapa jenis gas yang dihitung oleh *International Panel on Climate Change* untuk beberapa jenis GRK yang ditimbulkan dari rantai pembangkitan listrik. Potensi pemanasan global adalah ukuran suatu gas di atmosfer menangkap radiasi panas dari permukaan bumi dibandingkan terhadap gas acuan. Gas acuan yang digunakan adalah CO₂. Umur gas di atmosfer bervariasi, sehingga hasil yang diperoleh diintegrasikan terhadap waktu, waktu yang dipilih adalah 100 tahun kedepan.

Dalam Tabel 1 dapat dilihat bahwa SF₆ mempunyai kemampuan menangkap radiasi panas yang tertinggi, selanjutnya diikuti oleh ((CFCs): CFC-114)), CF₄, (HCFCs): HCFC-22), ((HFCs):HFC-134A)), N₂O dan CH₄. Gambar 1 menampilkan total emisi GRK untuk berbagai jenis bahan bakar, yang dinyatakan dalam setara karbon per kilowatt jam listrik (g C/kWh).

Data dalam Gambar 1 menampilkan data untuk pembangkitan listrik berdasarkan teknologi tahun sembilan puluhan dan teknologi yang akan beroperasi pada era 2005–2020. Hasil perkiraan yang ditampilkan dalam Gambar 1 menggambarkan perbedaan metodologi pengkajian, efisiensi konversi, kegiatan penyiapan bahan bakar, transportasi bahan bakar ke IPL dan isu-isu yang bersifat lokal. Teknologi yang akan beroperasi di masa depan adalah penyempurnaan proses konversi, reduksi selama ekstraksi dan transportasi serta emisi GRK yang rendah selama konstruksi dan pengoperasian IPL.

Total emisi GRK untuk bahan bakar fosil

adalah jumlah emisi dari lepasan cerobong selama pembakaran dan dari kegiatan hulu hingga hilir (penambangan, pengolahan, transportasi). Khusus emisi GRK dari pembangunan IPL, dekomisioning dan kontribusi daya dari IPL ke jaringan distribusi relatif kecil hanya 1 % dari total, sehingga diabaikan.

Teknologi pembangkitan listrik dari tenaga air, surya dan angin, ukuran dan jenis merupakan faktor kunci dalam analisis. Pertimbangan mengenai lokasi geografis dan regulasi lokal untuk pembangunan IPL sangat kuat mempengaruhi laju emisi GRK.

Hasil pengkajian IAEA menunjukkan bahwa teknologi untuk bahan bakar fosil mempunyai faktor emisi GRK yang tertinggi, gas alam separuh dari batu-bara atau lignite dan 2/3 dari bahan bakar minyak. Tenaga nuklir dan air mempunyai faktor emisi yang terendah dalam emisi GRK, 50 – 100 kali lebih kecil dari batu-bara, tenaga surya sedikit lebih tinggi dari tenaga nuklir [7].

V. TENAGA NUKLIR DAN LINGKUNGAN

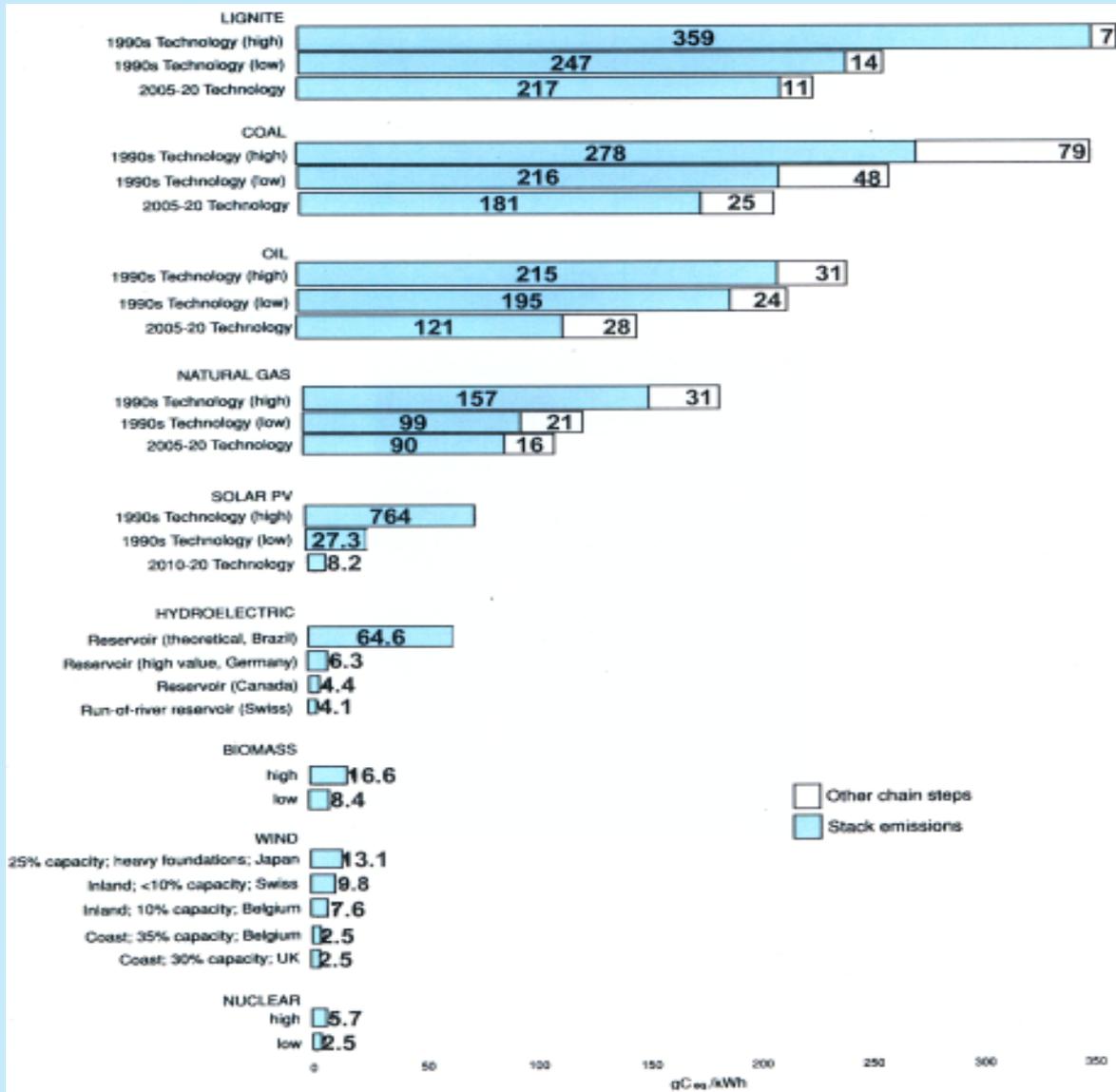
Pada akhir 1996 terdapat 442 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang beroperasi di 32 negara dengan kapasitas total 351 GWe. Kapasitas ini merupakan 85 % kapasitas di negara-negara *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD). Pada tahun 1996 PLTN memproduksi listrik sebesar 2312 TWh setara 17 % listrik yang dihasilkan di dunia atau 6 % dari energi yang digunakan di dunia. Kontribusi PLTN terhadap suplai energi listrik dunia mencapai 25 %.

Analisis komprehensif mengenai emisi GRK dari berbagai pembangkitan listrik, menunjukkan bahwa

Tabel 1
Potensi pemanasan global dari beberapa jenis gas dibandingkan terhadap CO₂

Jenis Gas	Potensi pemanasan global
Karbon Dioksida (CO ₂)	1
Methan (CH ₄)	21
Dinitrogen Oksida (N ₂ O)	310
Hydrofluorokarbon ((HFCs):HFC-134A))	1300
Hydrochlorofluorokarbon ((HCFCs): HCFC-22)	1700
Tetra Fluoromethan (CF ₄)	6500
Chlorofluorokarbon ((CFCs): CFC-114))	9300
Sulphur Hexafluorida (SF ₆)	23900

Sumber: Buletin IAEA No. 42, 2000 [7].



Sumber: Buletin IAEA No. 42, 2000^[7]

Gambar 1
Total emisi GRK dari rantai pembangkitan listrik

PLTN merupakan teknologi yang paling kecil melepaskan karbon, mengemisikan 25 g CO₂ per kWh dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang mengemisikan 250 – 1250 g per kWh dari seluruh daur pembangkitan listrik. Dengan asumsi PLTN yang beroperasi mensubstitusi IPL yang menggunakan bahan bakar fosil, maka PLTN tersebut dapat mereduksi emisi CO₂ dari sektor listrik sebesar 17 % dari yang seharusnya 60 % ^[7].

Dengan memperhatikan beban lingkungan lainnya, PLTN tidak mengacu gas ataupun partikulat

oksida asam yang dapat menimbulkan hujan asam, *urban smog* dan penipisan lapisan ozon. Namun dalam pengoperasian PLTN dan daur-ulang bahan bakar nuklir, sejumlah kecil zat radioaktif terlepas ke lingkungan melalui cerobong. Emisi zat radioaktif ke lingkungan tidak boleh melampaui dosis radiasi pembatas (*dose constraint*) yang ditetapkan secara internasional yaitu sebesar 0,3 mSv per tahun untuk anggota masyarakat. Penerimaan dosis radiasi oleh anggota masyarakat dari industri nuklir telah dikaji oleh *United Nations Scientific Committee on the*

Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Berdasarkan laporan tahun 1994, hasil pengkajian menunjukkan bahwa dosis efektif kolektif terhadap populasi dunia untuk 50 tahun pengoperasian PLTN, fasilitas daur-ulang bahan bakar nuklir dan penambangan uranium adalah 2 juta orang-Sievert (Sv). Sementara penerimaan dosis radiasi alam oleh penduduk dunia mencapai 650 juta orang-Sievert. Penerimaan dosis radiasi dari paparan latar (*background*) ini 325 kali lebih tinggi dari yang ditimbulkan dari PLTN yang beroperasi di dunia saat ini. Bila diasumsikan tidak ada reduksi emisi radioaktif dari industri nuklir per kWh dan penerimaan dosis oleh anggota masyarakat tidak melampaui dosis yang diterima dari alam, kapasitas listrik yang dapat dibangkitkan dari PLTN lebih dari 750,000 TWh^[8,9,10].

Limbah radioaktif padat yang ditimbulkan dari pengoperasian PLTN dan fasilitas olah-ulang bahan bakar nuklir mencapai 500 m³ limbah aktivitas rendah dan menengah, serta beberapa puluh m³ limbah aktivitas tinggi, untuk reaktor yang dioperasikan pada 1 siklus bahan bakar per GWe-tahun. Volume limbah yang ditimbulkan ini jauh lebih kecil dari limbah yang ditimbulkan pembangkitan listrik dengan bahan bakar batu-bara untuk kapasitas produksi listrik yang sama. Sementara dalam limbah abu batu-bara terjadi pemekatan radionuklida alam (*Naturally Occurring Radioactive Material*, NORM), dimana dampak radiologik dari zat radioaktif ini juga perlu diperhitungkan. Volume limbah yang relatif lebih kecil dari pengoperasian PLTN memungkinkan untuk diisolasi secara aman dan ekonomis, dimana biaya yang ditimbulkan tidak memungkinkan untuk menangani limbah yang ditimbulkan dengan volume yang besar yang ditimbulkan dari sistem energi batu-bara.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan yang perlu mendapat perhatian bagi para pembuat kebijakan, antara lain adalah,

1. Mengurangi konsentrasi GRK di atmosfer merupakan prioritas internasional dengan telah ditandatanganinya protokol Kyoto pada tahun 1997. Tiap negara secara sendiri-sendiri atau bersama-sama sepakat mereduksi konsentrasi GRK sebesar 5,2 % di bawah tingkat emisi tahun 1990.
2. Pengurangan emisi GRK dapat dilakukan melalui implementasi teknologi bahan bakar yang mengandung karbon rendah, seperti pemanfaatan

gas alam, tenaga air, tenaga surya, tenaga angin dan tenaga nuklir.

3. Diversifikasi pembangkitan energi yang disesuaikan dengan kapasitas lingkungan hidup merupakan faktor kunci selain stabilisasi suplai listrik juga melestarikan pembangunan yang berkelanjutan.
4. Berdasarkan hasil studi IAEA menunjukkan bahwa bahan bakar fosil mempunyai faktor emisi GRK tertinggi, batu-bara mempunyai faktor emisi 2 kali lebih tinggi dari gas alam dan faktor emisi tenaga angin dan biomas berada antara tenaga surya dan tenaga nuklir.
5. Dalam seluruh daur pembangkitan listrik, tenaga nuklir mengemisikan 25 g CO₂ per kWh dibandingkan bahan bakar fosil mengemisikan 250 – 1250 g CO₂ per kWh.

KEPUSTAKAAN

1. Swasono H., Sutiman B., Sarjono S., Pengantar Ekologi, Penerbit Rajawali, Jakarta, 1986.
2. Suryani M., Rofiq A., Rozy M., Lingkungan Sumberdaya Alam dan Kependudukan dalam Pembangunan, UI Press, 1987.
3. Hari Depan Kita Bersama, P.T. Gramedia, Jakarta, 1988.
4. <http://www.7hgreenhouse.htm>.
5. <http://www.GreenhouseEffect.htm>.
6. United Nations, *Kyoto Protocol to the United Nations Frame Work Convention on Climate Change*, FCC/CP/ 1997/L.7/Add., 10 December 1997.
7. Joseph V.S., Lucille L., Bruce H., *Greenhouse Gas Emissions of Electricity Generation Chain*, IAEA Bulletin, 42/2/2000.
8. NEA., *Nuclear Power and Climate Change*, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-Operation and Development, April, 1998.
9. Bennet, B.G., *Exposure from Worldwide Release of Radionuclides. Proceedings of a Symposium on Environmental Impact of Radioactive Release*, Vienna, 1995.
10. Safety Standards, *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, IAEA, Vienna, 1996.✓