

KONTRIBUSI PLTN DALAM MENGURANGI EMISI GAS CO₂ PADA STUDI OPTIMASI PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN LISTRIK SUMATERA

Ida N. Finahari, Djati H. Salimy

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp/Fax: (021)5204243 Email: finahari@batan.go.id

ABSTRAK

KONTRIBUSI PLTN DALAM MENGURANGI EMISI GAS CO₂ PADA STUDI OPTIMASI PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN LISTRIK SUMATERA. Telah dilakukan studi kontribusi PLTN dalam mengurangi emisi gas CO₂ menggunakan data hasil studi optimasi pengembangan sistem pembangkitan listrik Sumatera dengan opsi nuklir. Hasil optimasi mengindikasikan bahwa dengan variabel discount rate sebesar 8% dan 10%, PLTN akan muncul pada sistem kelistrikan Sumatera dengan porsi masing-masing sebesar 48,8% dan 36,8%. Sedang pada discount rate sebesar 12%, PLTN tidak muncul. Perhitungan emisi gas CO₂ selama periode studi (2006-2030) menunjukkan bahwa total emisi gas CO₂ untuk discount rate 8%, 10% dan 12% masing-masing sebesar 506.208, 1.138.360 dan 1.872.238 kiloton. Terlihat bahwa kontribusi PLTN sebesar 48,8% akan menurunkan jumlah emisi gas CO₂ sebesar 73%, dan kontribusi PLTN sebesar 36,8% akan menurunkan emisi gas CO₂ sebesar 55%. Kontribusi PLTN dalam pengembangan sistem pembangkitan listrik khususnya wilayah Sumatera selain dapat menghambat terjadinya pemanasan global juga dapat menghemat cadangan bahan bakar fosil. Disamping itu, pemakaian teknologi nuklir untuk pembangkit listrik tidak membutuhkan bahan bakar dalam jumlah besar, sehingga menguntungkan dari sisi pengangkutan dan kebutuhan lahan untuk penyimpanan.

Kata kunci: emisi gas CO₂, PLTN, sistem pembangkitan listrik

ABSTRACT

NPP CONTRIBUTION IN REDUCING CO₂ GAS EMISSION AT THE OPTIMIZATION STUDY OF ELECTRICITY GENERATION SYSTEM EXPANSION AT SUMATERA. The study of NPP contribution in reducing CO₂ gas emission using the study result of electricity generation system expansion at Sumatera has been carried out. The optimization indicates that at discount rate of 8% and 10%, nuclear will contribute about 48.8% and 36.8% to the electricity system of Sumatera. While at discount rate of 12%, there is no nuclear contribution in the system. The calculation of CO₂ gas emission indicates that for discount rate of 8%, 10%, and 12%, the total emission is 506,208; 1,138,360; and 1,872,238 kilotons respectively. Nuclear share at about 48.8% and 36.8% of total electricity output will decrease the emission of CO₂ gas by about 73% and 55% respectively. Contribution of nuclear power plant in the electricity system, beside capable of hampering global warming, is also able to save fossil fuel reserve. Beside that, the small quantity of fuel in utilization of nuclear power plant, give the advantage from the point of transportation and fuel storage.

Keywords: CO₂ gas emission, NPP, electricity generation system

1. PENDAHULUAN

Penyelenggaraan sistem ketenagalistrikan Indonesia hingga saat ini tidak menganut sistem otonomi daerah dan pengelolannya masih dilakukan oleh PT. PLN (Persero). Karena itu sistem kelistrikan pada suatu provinsi hampir seluruhnya saling terhubung atau terinterkoneksi tanpa melalui proses jual beli antar wilayah atau daerah. Untuk Pulau Sumatera pengelolaan ketenagalistrikan dilakukan oleh beberapa unit seperti PLN Pembangkitan, P3BS (PLN Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera) dan PLN Wilayah. Saat ini sistem wilayah Sumatera Barat-Riau-Jambi (Sumbagteng) sudah terinterkoneksi dengan sistem wilayah Sumatera Selatan-Lampung-Bengkulu (Sumbagsel). Sambungan tersebut telah terlaksana pada pertengahan tahun 2004. Diharapkan pada tahun 2009 sistem ketenagalistrikan untuk wilayah daratan Pulau Sumatera sudah terinterkoneksi secara keseluruhan. Sistem Sumatera masih terbagi atas dua bagian wilayah *grid* sistem, yaitu utara dan selatan. Sistem utara meliputi wilayah Propinsi NAD dan Sumatera Utara. Sedangkan sistem selatan meliputi wilayah propinsi-propinsi Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu dan Lampung^[1].

Berdasarkan data P3BS, realisasi penjualan tenaga listrik PLN selama lima tahun terakhir tumbuh rata-rata sebesar 8% per tahun. Proyeksi kebutuhan sistem Sumatera oleh PLN didasarkan pada asumsi pertumbuhan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) luar Jawa sebesar 7,7% per tahun hingga tahun 2015 yang menyebabkan pertumbuhan beban sebesar 11,3% per tahun. Sementara PLN Wilayah membuat proyeksi kebutuhan tenaga listrik masing-masing dengan simulasi *software DKL 3.2* dan menghasilkan pertumbuhan beban sistem Sumatera hingga tahun 2015 sebesar 11,8% per tahun dengan kebutuhan beban puncak tahun 2006 sebesar 2.599 MW, akan menjadi 4.041 pada tahun 2010^[2].

Dari studi yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu studi optimasi pengembangan sistem pembangkitan listrik Sumatera dengan opsi nuklir berdasarkan pertumbuhan beban proyeksi P3BS, periode studi dari tahun 2006–2030 dengan variabel *discount rate* 8%, 10% dan 12%, menggunakan program WASP IV, diperoleh hasil bahwa dengan data proyeksi kebutuhan listrik P3BS, untuk *discount rate* 8% PLTN muncul pada tahun 2006 dan pada akhir periode studi dibutuhkan PLTN sebanyak 13.800 MW. Sedangkan untuk *discount rate* 10%, PLTN muncul pada tahun 2014 dan pada akhir periode studi dibutuhkan PLTN sebesar 10.400 MW dan untuk *discount rate* 12% PLTN tidak muncul dalam perencanaan. Jenis pembangkit yang digunakan dalam studi optimasi tersebut adalah pembangkit listrik berbahan bakar batubara, BBM, gas alam, air dan nuklir^[3].

Berdasarkan hasil studi optimasi tersebut, pada makalah ini akan dibahas lebih lanjut seberapa besar pengaruh kontribusi PLTN dalam mengurangi besarnya emisi gas CO₂ yang ditimbulkan dari pembangkit-pembangkit konvensional. Hal ini mengingat pada pembangkit-pembangkit konvensional berbahan bakar fosil seperti batubara, BBM dan gas alam akan dihasilkan emisi gas CO₂ dalam pembakarannya. Gas CO₂ merupakan penyumbang terbesar gas rumah kaca, yang dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global.

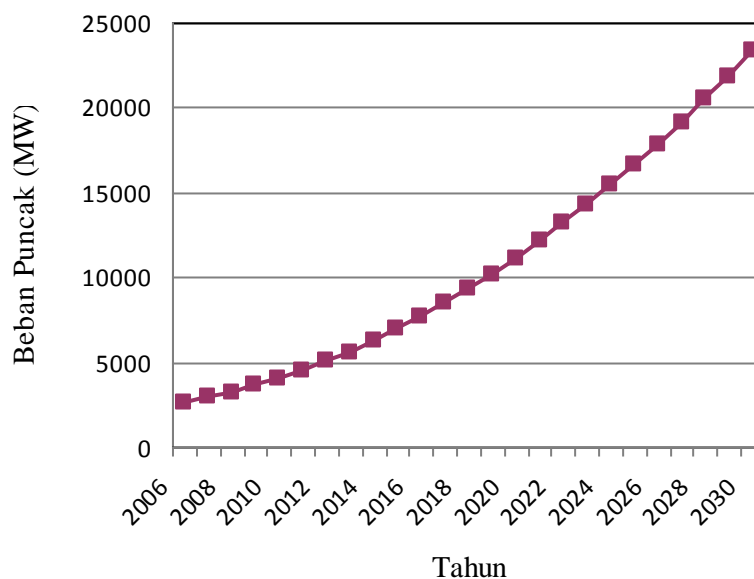
Pemanasan global telah menjadi isu internasional saat ini. Isu tersebut timbul karena pemanasan global mempunyai dampak yang sangat besar bagi dunia dan kehidupan makhluk hidup berupa perubahan iklim dunia. Perubahan iklim di bumi merupakan masalah lingkungan yang sangat serius yang dapat mengancam kelangsungan habitat, keragaman hayati bahkan kelangsungan hidup manusia.

Hasil studi diharapkan dapat memberikan gambaran seberapa besar peran PLTN dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan dalam mendukung pengembangan sistem pembangkitan listrik Sumatera.

2. STUDI OPTIMASI PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN LISTRIK SUMATERA

Sebagai suatu sistem yang sedang berkembang, beban listrik wilayah Sumatera dipikul oleh banyak pembangkit kecil yang tersebar di seluruh wilayah dengan jaringan yang masih belum seluruhnya terinterkoneksi. Sejak dasawarsa yang lalu sistem telah berkembang untuk menyatu secara bertahap menjadi jaringan interkoneksi dari ujung utara (Aceh) ke ujung selatan (Lampung) yang diharapkan tercapai pada tahun 2009. Disamping menggunakan pembangkit-pembangkit sistem termal, Sumatera juga didukung oleh pembangkit-pembangkit bertenaga air.

Pada Gambar 1 ditunjukkan perkiraan beban puncak (data proyeksi kebutuhan listrik) sampai tahun 2030 wilayah Sumatera didasarkan pada PLN P3BS. Proyeksi permintaan daya listrik wilayah Sumatera didasarkan pada kapasitas terpasang pembangkit listrik Sumatera dan dikembangkan berdasarkan pertumbuhan permintaan listrik. Proyeksi kebutuhan permintaan daya listrik dari PLN P3BS berdasarkan beban puncak listrik sebesar 2.485 MW pada tahun 2005 meningkat menjadi 6.970 MW pada tahun 2015 dengan pertumbuhan sekitar 11% per tahun. Dengan ekstrapolasi proyeksi PLN P3BS pada tahun 2030 akan meningkat menjadi sekitar 23.317 MW.



Gambar 1. Perkiraan Beban Puncak Sampai Tahun 2030 Wilayah Sumatera ^[2]

Hasil studi optimasi pengembangan sistem pembangkitan listrik Sumatera dengan opsi nuklir berdasarkan pertumbuhan beban proyeksi P3BS tersebut, total kapasitas daya yang dibutuhkan sampai akhir periode studi ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada *discount rate* 8%, total kapasitas daya yang dibutuhkan sampai akhir periode studi (tahun 2030) untuk PLTN sebesar 13.800 MW (48,8% dari total kapasitas daya) dan pada *discount rate* 10%, total kapasitas daya yang dibutuhkan sampai akhir periode studi (tahun 2030) untuk PLTN sebesar 10.400 MW (36,8% dari total kapasitas daya), sedangkan pada *discount rate* 12%, PLTN tidak muncul dalam perencanaan. Sedangkan pada Tabel 2 ditunjukkan kebutuhan bahan bakar selama periode studi (2006-2030) untuk masing-masing jenis pembangkit^[1].

Tabel 1. Kapasitas Daya yang dibutuhkan sampai akhir periode studi (MW)^[1]

Jenis Bahan Bakar		Total Kapasitas daya yang dibutuhkan sampai akhir periode studi (MW)		
		Discount rate 8%	Discount rate 10%	Discount rate 12%
1.	Batubara	7.920 (28%)	10.920 (38,6%)	20.520 (72,5%)
2.	Minyak Bakar	65 (0,2%)	65 (0,2%)	65 (0,2%)
3.	Minyak Solar	200 (0,7%)	200 (0,7%)	200 (0,7%)
4.	Gas alam	4.000 (14,1%)	4.400 (15,5%)	5.200 (18,4%)
5.	Minyak Diesel	198 (0,7%)	198 (0,7%)	198 (0,7%)
6.	Air	2.127 (7,5%)	2.127 (7,5%)	2.127 (7,5%)
7.	Nuklir	13.800 (48,8%)	10.400 (36,8%)	-
T o t a l		28.310 (100%)	28.310 (100%)	28.310 (100%)

Tabel 2. Bahan Bakar yang dibutuhkan selama Periode Studi 2006-2030 (kiloton)^[1]

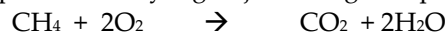
Jenis Bahan Bakar		Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dari masing-masing pembangkit selama periode studi 2006-2030 (kiloton)		
		Discount rate 8%	Discount rate 10%	Discount rate 12%
1.	Batubara	178.505,33	403.242,51	649.331,96
2.	Minyak Bakar	188,86	142,48	790,94
3.	Minyak Solar	582,14	388,84	792,71
4.	Gas alam	1.295,51	2.692,58	17.580,92
5.	Minyak Diesel	124,8	62,54	239,59
6.	Air	-	-	-
7.	Nuklir	2,73	1,37	-
T o t a l				

3. PERHITUNGAN EMISI GAS CO₂

Perhitungan emisi gas CO₂ dilakukan untuk mengetahui tingkat emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Dalam studi ini, diasumsikan tidak ada emisi gas CO₂ dari PLTN maupun PLTA. Emisi gas CO₂ dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil dihitung dengan cara sebagai berikut.

3.1 Bahan Bakar Gas Alam

Reaksi pembakaran yang terjadi mengikuti persamaan reaksi:



Dengan basis perhitungan 1 ton CH₄, untuk 1 ton CH₄ (BM CH₄ : 16) setara dengan 0,0625 mol. Sedang mol CO₂ yang terbentuk = mol CH₄ = 0,0625 mol. Sehingga jumlah CO₂ yang terbentuk = 0,0625 × BM CO₂ = 0,0625 × 44 = 2,75 ton

3.2 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak (minyak bakar, minyak solar dan minyak diesel) yang digunakan untuk pembangkit listrik di Indonesia mempunyai kandungan karbon (C) rata-rata sekitar 87%^[4]. Reaksi pembakaran yang terjadi adalah :

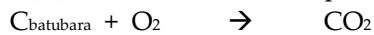


Dengan basis perhitungan 1 ton BBM, dapat diketahui jumlah C dalam BBM yaitu = 87% × 1 = 0,87 ton. Jumlah mol C adalah = 0,87/BM C = 0,87/12 = 0,072 mol, dan mol CO₂ yang

terbentuk= mol C_{BBM} = 0,072 mol. Sehingga jumlah CO₂ yang terbentuk = 0,072 × BM CO₂ = 0,072 × 44 = 3,16 ton

3.3 Bahan Bakar Batubara

Batubara yang dipakai untuk pembangkit listrik di Indonesia mempunyai kandungan karbon (C) sekitar 76%^[4]. Reaksi pembakaran yang terjadi adalah :



Dengan basis perhitungan 1 ton batubara, dapat diketahui jumlah C dalam batubara yaitu = 76% × 1 = 0,76 ton. Jumlah mol C adalah = 0,76/BM C = 0,76/12 = 0,0633 mol. Berdasarkan persamaan reaksi, mol CO₂ yang terbentuk = mol C_{batubara} = 0,0633 mol. Sehingga jumlah CO₂ yang terbentuk = 0,0633 × BM CO₂ = 0,0633 × 44 = 2,8 ton.

Dengan prinsip perhitungan di atas, data Tabel 2 dapat dikonversi menjadi Tabel 3 yang menyatakan tingkat emisi gas CO₂ yang dihasilkan selama periode studi 2006-2030 (kiloton).

Tabel 3. Emisi gas CO₂ yang dihasilkan selama periode studi 2006-2030 (kiloton)

Jenis Bahan Bakar		Emisi gas CO ₂ yang dihasilkan selama periode studi 2006-2030 (kiloton)		
		<i>Discount rate 8%</i>	<i>Discount rate 10%</i>	<i>Discount rate 12%</i>
1.	Batubara	499.814,9	1.129.079	1.818.129,4
2.	Minyak Bakar	596,7	450,2	2.499,3
3.	Minyak Solar	1.839,5	1.228,7	2.504,9
4.	Gas alam	3.562,6	7.404,5	48.347,5
5.	Minyak Diesel	394,3	197,6	757,1
6.	Air	-	-	-
7.	Nuklir	-	-	-
T o t a l		506.208,2	1.138.360	1.872.238,2

4. PEMBAHASAN

Dari Tabel 3 terlihat bahwa total emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari masing-masing pembangkit berbahan bakar fosil selama periode studi 2006-2030 adalah pada *discount rate* 8% sebesar 506.208,2 kiloton, pada *discount rate* 10% sebesar 1.138.360 kiloton, dan pada *discount rate* 12% sebesar 1.872.238,2 kiloton. Sementara pada Tabel 1 terlihat bahwa opsi nuklir tinggi muncul pada pengenaan harga *discount rate* sebesar 8 %. Ini ditandai dengan munculnya PLTN sebesar 13.800 MW atau sekitar 48,8% dari total daya yang dibutuhkan. Sedang pada pengenaan harga *discount rate* sebesar 10 %, kontribusi PLTN adalah sebesar 10.400 MW atau sekitar 36,8% dari total daya yang dibutuhkan pada masa akhir periode studi. Sedangkan untuk harga *discount rate* sebesar 12 %, PLTN tidak muncul dalam perencanaan. Dari Tabel 1 dan Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa semakin besar kontribusi PLTN dalam sistem pembangkitan listrik, maka akan semakin kecil jumlah emisi gas CO₂ yang dihasilkan. Secara kuantitatif terlihat pada Tabel 1 dan 3 bahwa kontribusi PLTN sebesar 48,8% (opsi tinggi) dari total kebutuhan daya, akan berdampak pada penurunan jumlah emisi gas CO₂ sebesar 73%. Untuk opsi nuklir menengah, kontribusi PLTN sekitar 36,8% dari total kebutuhan daya, akan menurunkan jumlah emisi gas CO₂ sebesar 55%. Dalam jangka panjang, hal ini jelas berpengaruh terhadap terjadinya pemanasan global yang telah menjadi isu dunia dewasa ini. Pemanasan global mempunyai dampak yang sangat besar terhadap perubahan iklim dunia. Di negara yang mayoritas penduduknya mengandalkan kehidupan sehari-harinya dari hasil bumi seperti Indonesia, perubahan iklim akan membawa konsekuensi pada masalah sosial-ekonomi yang serius.

Kontribusi PLTN dalam pengembangan sistem pembangkitan listrik khususnya wilayah Sumatera selain dapat menghambat terjadinya pemanasan global juga dapat menghemat cadangan bahan bakar khususnya bahan bakar fosil. Mengingat cadangan minyak bumi Indonesia sudah semakin menipis dan harga BBM duniapun semakin melonjak, sehingga untuk mengantisipasi terjadinya krisis energi di masa mendatang perlu untuk mempertimbangkan penggunaan teknologi nuklir untuk pembangkit listrik.

Pada studi optimasi pengembangan sistem pembangkitan listrik Sumatera, penggunaan BBM dibatasi dengan pertimbangan keekonomian yang sudah sangat tidak layak. Disamping itu, karena semakin menipisnya cadangan minyak bumi, akan sangat bijak jika minyak bumi hanya digunakan untuk kebutuhan yang benar-benar belum bisa tergantikan, yaitu bahan bakar transportasi. Pada kenyataannya, di wilayah Sumatera hingga saat ini penggunaan BBM sebagai sumber energi pembangkitan listrik masih tinggi. Hal ini sebagai akibat tingginya pertumbuhan permintaan listrik, sementara pembangkit listrik jenis lain belum siap. Kenaikan harga BBM yang sangat tinggi, mengakibatkan pembangkit-pembangkit listrik berbahan bakar minyak seperti mesin diesel dan PLTG yang menggunakan minyak solar (ADO/HSD) terpaksa harus dioperasikan secara terbatas untuk mengurangi beban subsidi yang memberatkan anggaran negara. Realitasnya angka subsidi minyak untuk pembangkit listrik sudah berada di atas 300%. Hal ini digambarkan dengan contoh berikut, satu liter minyak solar dengan harga industri sebesar Rp. 6.200,- hanya dapat membangkitkan listrik sebesar 3 kWh. Dengan kata lain, untuk membangkitkan listrik sebesar 1 kWh dibutuhkan biaya bahan bakar sebesar Rp. 2.000,-. Di sisi lain harga jual rata-rata listrik PLN yang hanya Rp. 500,- per kWh, mengakibatkan dibutuhkan subsidi untuk bahan bakar saja sebesar Rp.1.500,- per kWh listrik yang dijual ke masyarakat.

Di samping itu, meskipun cadangan gas alam masih melimpah dan ditinjau dari emisi gas CO₂ per kalori pembakarannya pun paling sedikit, tetapi karena kebijakan pemerintah untuk mengeksport sebagian besar produksi gas alam domestik dalam jangka panjang maka gas alam bukan merupakan solusi sebagai penyedia energi di masa depan. Sedangkan batubara, meskipun cadangannya sangat melimpah tetapi batubara mengeluarkan emisi gas CO₂ paling besar dibanding gas alam dan BBM, sehingga penggunaan batubara secara besar-besaran untuk pembangkit listrik akan berdampak pada isu lingkungan (lihat Tabel 4). Sejumlah studi juga menunjukkan bahwa pembakaran batubara juga sangat berpotensi mengeluarkan paparan radiasi dalam jumlah yang cukup besar. Menurut *National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)*^[6] paparan radiasi dari PLTU batubara dengan kapasitas 1.000 MW adalah sebesar 4,9 man-Sv per tahun. Sementara untuk PLTN dengan kapasitas daya yang sama, paparan radiasinya hanya sekitar 0,048 man-Sv per tahun. Dengan kata lain, paparan radiasi dari PLTU batubara 100 kali lebih tinggi dibanding paparan radiasi dari PLTN.

Tabel 4. Emisi gas CO₂ dari bahan bakar fosil^[6]

Jenis bahan bakar	Emisi gas CO ₂ kg /GJ panas
Gas alam	56
Minyak bumi	73
Batubara	94

Pemakaian teknologi nuklir untuk pembangkit listrik membutuhkan volume bahan bakar dalam jumlah tidak besar. Seperti terlihat pada Tabel 2 bahwa untuk membangkitkan energi listrik 13.800 MW hanya diperlukan 2,73 kiloton bahan bakar, dan untuk daya 10.400 MW hanya dibutuhkan bahan bakar sebesar 1,37 kiloton. Angka tersebut jauh sangat kecil dibandingkan volume bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan listrik dengan bahan bakar fosil. Sebagai contoh, pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa untuk membangkitkan listrik berbahan bakar batubara sebesar 7.920 MW dibutuhkan bahan bakar sebanyak 178.505,33 kiloton dan untuk membangkitkan energi sebesar 10.920 MW dibutuhkan batubara sebanyak 403.242,51 kiloton. Kecilnya volume bahan bakar yang dibutuhkan pada PLTN berdampak pada lebih mudahnya masalah transportasi dan lebih sedikitnya kebutuhan lahan untuk penyimpanan bahan bakar.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin besar kontribusi PLTN dalam perencanaan penyediaan tenaga listrik maka semakin sedikit emisi gas CO₂ yang ditimbulkan dari pembangkit listrik.
2. Kontribusi PLTN dalam pengembangan sistem pembangkitan listrik wilayah Sumatera sekitar 48,8% dari total kebutuhan daya akan berpotensi sangat signifikan menurunkan jumlah emisi gas CO₂ sampai 73%, dan bila kontribusi PLTN sekitar 36,8% dari total kebutuhan daya maka akan berdampak menurunkan emisi gas CO₂ sebesar 55%.
3. Kontribusi PLTN dalam pengembangan sistem pembangkitan listrik khususnya wilayah Sumatera selain dapat menghambat terjadinya pemanasan global juga dapat menghemat cadangan bahan bakar fosil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PPEN, *'Laporan Akhir Studi Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkitan Listrik Sumatera dengan Opsi Nuklir'*, Pusat Pengembangan Energi Nuklir, 2007.
- [2]. RUPTL, *'Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik Sumatera'*, PLN Penyaluran dan Pusat Pengatur Beban Sumatera (PLN P3BS) 2006.
- [3]. IDA N. FINAHARI, EDWAREN LIUN, *'Studi Optimasi Pengembangan Sistem Pembangkitan Listrik Sumatera dengan Opsi Nuklir Berdasarkan Pertumbuhan Beban Proyeksi P3BS'*, Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir, Juni 2008, Jakarta
- [4]. EL-WAKIL, M.M., *Powerplant Technology*, McGraw-Hill International Editions, 1984.
- [5]. UNIVERSITY OF WOLLONGONG, *Nuclear Power & Australia?: Nuclear vs Coal*. http://www.uow.edu.au/eng/phys/nukeweb/reactors_nuc_v_coal.html
- [6]. IAEA, *Assessment and Comparison of Waste management System Costa for nuclear and other Energy Sources*, Technical Reports Series No. 366, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1994.