

PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO₂ PLTU BATUBARA DAN PLTN

Rizki Firmansyah Setya Budi, Suparman

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) – BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta12710
Telp./Fax: (021) 5204243, Email : rizkifirmansyah@batan.go.id

Masuk:

Direvisi:

Diterima:

ABSTRAK

PERHITUNGAN FAKTOR EMISI CO₂ PLTU BATUBARA DAN PLTN. Perubahan iklim adalah fenomena global akibat kegiatan manusia karena penggunaan bahan bakar fosil untuk mendukung kegiatan industri maupun produksi listrik. Kegiatan tersebut merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK) terutama gas karbon dioksida (CO₂). Salah satu cara mengurangi kandungan CO₂ di udara adalah dengan menggunakan pembangkit listrik yang mempunyai faktor emisi CO₂ rendah. Tujuan penelitian adalah untuk menghitung dan membandingkan faktor emisi PLTU Batubara dan PLTN guna mengetahui waktu membangkitkan energi listrik pada level tertentu. Metodologi yang digunakan adalah pengumpulan dan pengolahan data sekunder dilanjutkan dengan perhitungan faktor emisi, analisis dan perbandingan faktor emisi. Dalam studi ini menggunakan data PLTU Batubara Banten, PLTU Indramayu, PLTU Rembang dan PLTN tipe PWR kapasitas 1000 MWe. Hasil penelitian diperoleh faktor emisi untuk masing-masing pembangkit adalah PLTU Banten 1,033 kg/kWh, PLTU Indramayu 1,002 kg/kWh, PLTU Rembang 1,136 kg/kWh, dan PLTN 0 kg/kWh. Nilai rata-rata faktor emisi adalah 1,05 kg/kWh. Pembangkitan daya sebesar 1700 MWyr dengan menggunakan PLTU Banten, Indramayu, dan Rembang akan menghasilkan CO₂ sebesar 16 ribu kTon, namun bila pembangkitan daya tersebut diganti dengan 2 unit PLTN 1000 MWe akan mengurangi CO₂ sebesar 16 ribu kTon.

Kata kunci: Faktor emisi CO₂, PLTU batubara, PLTN.

ABSTRACT

CALCULATION OF CO₂ EMISSION FACTOR FOR COAL POWER PLANT AND NUCLEAR POWER PLANT. Climate change is a global phenomenon that caused by human activity that use fossil fuel to support industry activity and electricity generation. That activity is the main source of green house gas (GHG) emission, especially CO₂ emission. Using power plant which has low CO₂ emission factor is the solution to reduce CO₂ emission. The objective of the study is to calculate CO₂ emission factor of coal power plant (CPP) and nuclear power plant (NPP). With the emission factor, the value of CO₂ emission can be calculated easily. The methodology are collected and processed data, calculated emission factor, analysis and comparison emission factor, conclusion. CPP that had been use are Banten CPP, Indramayu CPP, and Rembang CPP. NPP that had been use is NPP 1000 MWe. Based on the calculation, CO₂ emission factor each power plant is Banten CPP 1,033 kg/kWh, Indramayu CPP 1,002 kg/kWh, Rembang CPP 1,136 kg/kWh and NPP 1000 MWe 0 kg/kWh. The average CO₂ emission factor of three CPP is 1,05 kg/kWh. Electricity generation in the value 1700 Mtwyr using the three CPP make 16 thousand kTon of CO₂ emission. If that generation replace by 2 unit NPP 1000 MWe, will reduce CO₂ emission 16 thousand kTon.

Keywords: CO₂ emission factor, coal power plant, nuclear power plant.

1. PENDAHULUAN

Isu tentang pemanasan global (peningkatan temperatur permukaan bumi) hangat dibicarakan saat ini. Fenomena yang ditandai dengan peningkatan temperatur permukaan bumi ini disebabkan oleh meningkatnya kandungan gas rumah kaca (karbon dioksida, metan, nitrogen oksida, sulfur heksafluorida, HFC, dan PFC)^[1]. Dari ke enam gas rumah kaca tersebut, karbon dioksida (CO₂) memberikan kontribusi terbesar terhadap pemanasan global diikuti oleh gas metan (CH₄). Lebih dari 75% komposisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer adalah CO₂ sehingga apabila kontribusi CO₂ dari berbagai kegiatan dapat dikurangi secara signifikan, maka ada peluang bahwa dampak pemanasan global terhadap perubahan iklim akan berkurang^[2].

Peningkatan temperatur permukaan bumi akan menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang berdampak besar terhadap kelangsungan hidup manusia. Perubahan iklim adalah fenomena global yang disebabkan oleh kegiatan manusia akibat penggunaan sumber bahan bakar fosil untuk mendukung kegiatan industri maupun memproduksi listrik. Kegiatan tersebut merupakan sumber utama emisi gas rumah kaca (GRK) terutama karbon dioksida (CO₂). Gas ini memiliki kemampuan menyerap panas matahari yang dipancarkan kembali ke bumi dan menyebabkan pemanasan atmosfer^[3].

Tingkat kematian dini (*premature death*) di dunia pada umumnya diakibatkan oleh polusi udara pada tiap tahunnya yang semakin meningkat, dan apabila tidak ada usaha untuk mengendalikannya pencemaran udara tersebut diperkirakan akan bertambah^[4]. Salah satu cara untuk mengurangi polusi udara khususnya kandungan CO₂ dalam udara adalah dengan menggunakan pembangkit listrik yang rendah emisi CO₂. Emisi yang dihasilkan setiap pembangkit berbeda-beda tergantung faktor emisinya. Semakin besar faktor emisi pembangkit tersebut semakin besar emisi CO₂ yang dihasilkan. Pembangkit listrik berbahan bakar fosil mempunyai emisi CO₂ yang cukup besar karena dalam menghasilkan energi listrik dilakukan pembakaran rantai karbon.

Data faktor emisi suatu pembangkit listrik sangat penting untuk menghitung besarnya emisi CO₂ per pembangkitan energi listrik yang satuannya adalah kg/kWh. Dengan diketahuinya faktor emisi CO₂ sebuah pembangkit, akan dengan cepat diketahui banyaknya kg emisi CO₂ yang dihasilkan ketika pembangkit tersebut memproduksi energi listrik (kWh) pada level tertentu, yaitu dengan cara mengkalikan faktor emisi tersebut dengan energi yang dibangkitkan. Jika faktor emisinya tidak diketahui, maka diperlukan perhitungan energi bahan bakar yang dipakai dan laju bahan bakarnya. Namun sangat disayangkan bahwa data mengenai faktor emisi CO₂ setiap pembangkit di Indonesia sulit diperoleh dan walaupun data itu ada hanyalah data rata-rata dari beberapa pembangkit yang ada di Indonesia.

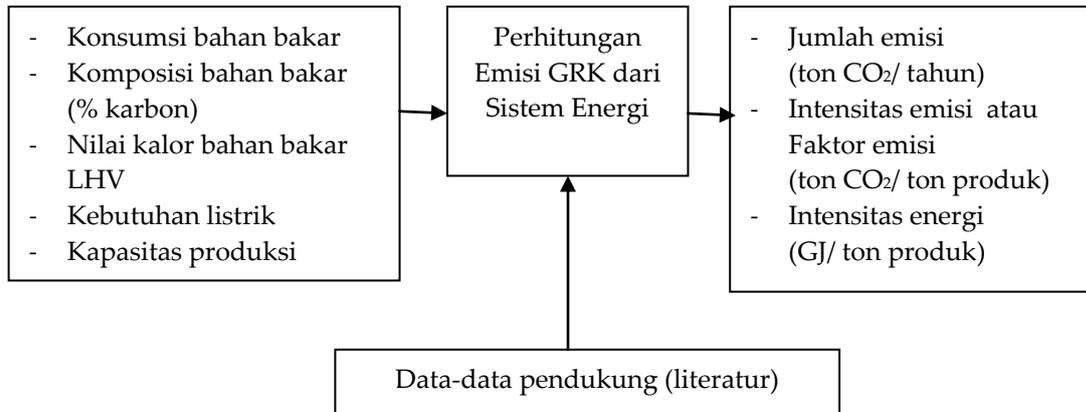
Tujuan penelitian adalah untuk menghitung faktor emisi PLTU Batubara dan membandingkannya dengan PLTN. Alasan pemilihan jenis pembangkit, yaitu PLTU Batubara dan PLTN karena keduanya merupakan pembangkit pemikul beban dasar dan berkontribusi besar dalam pembangkitan energi listrik yang menimbulkan emisi CO₂. Selain itu energi nuklir adalah sumber energi potensial, berteknologi tinggi, berkeselamatan handal, ekonomis, dan merupakan sumber energi alternatif yang layak untuk dipertimbangkan dalam perencanaan energi jangka panjang^[5].

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu: pengumpulan dan pengolahan data, perhitungan faktor emisi, analisis dan perbandingan faktor emisi. PLTU Batubara yang digunakan dalam kasus penelitian ini adalah PLTU Banten, PLTU Indramayu, dan PLTU Rembang. Selanjutnya dibandingkan terhadap PLTN tipe PWR kapasitas 1000 MWe.

2.1. Perhitungan Faktor emisi CO₂

Dalam perhitungan faktor emisi CO₂ pembangkit listrik diperlukan data jumlah emisi CO₂ suatu pembangkit. Seperti diketahui terdapat dua macam cara perhitungan jumlah emisi CO₂, yaitu: perhitungan berdasarkan reaksi stoikiometri dan neraca massa suatu proses. Cara ke dua dilakukan berdasarkan faktor yang sudah terdokumentasi dan faktor ini merupakan rasio yang digunakan untuk menghubungkan emisi terhadap pengukuran aktivitas suatu sumber emisi. Metode perhitungan yang digunakan adalah metode neraca sistem. Skema perhitungan emisi CO₂ dengan metode neraca massa ditunjukkan pada Gambar 1^[2].



Gambar 1. Skema Neraca Massa^[2].

Rumus perhitungan emisi CO₂ menggunakan skema neraca massa, seperti persamaan berikut^[2]:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{laju bahan bakar} \times \% \text{ C bahan bakar} \times 44/12 \times \text{waktu operasi} \dots \dots \dots (1)$$

Selanjutnya laju bahan bakar diperoleh menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Laju bahan bakar} = \text{Energi bahan bakar} / (\text{Net calorific value} \times \text{waktu operasi}) \dots \dots \dots (2)$$

Sedangkan energi bahan bakar diperoleh berdasarkan perhitungan dengan persamaan berikut:

$$\text{Energi bahan bakar} = \text{Energi listrik yang dibangkitkan} / \text{efisiensi termal} \dots \dots \dots (3)$$

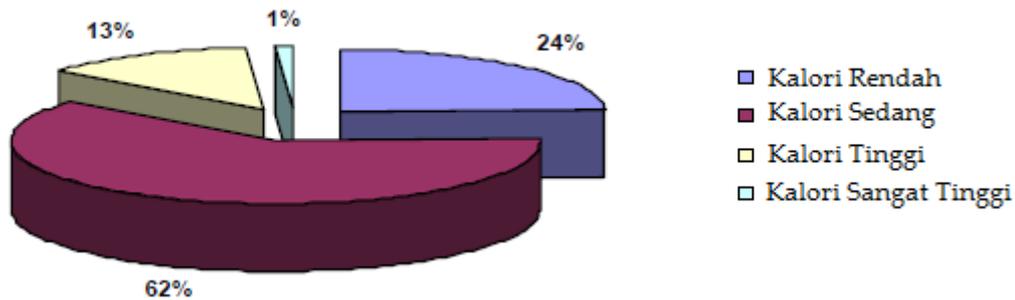
Apabila diperhatikan lebih cermat, persamaan 1 dan 2 mengandung satu variabel yang sama dan dapat dihilangkan, yaitu waktu operasi. Pada persamaan 2, laju bahan bakar diperoleh dengan menggunakan faktor pembagi waktu operasi sedangkan pada persamaan 1, laju bahan bakar akan dikalikan kembali dengan waktu operasi. Dengan kata lain, waktu operasi dapat dihilangkan dalam persamaan 1 dan 2. Hilangnya waktu operasi pada persamaan 2 menyebabkan laju bahan bakar akan berubah menjadi konsumsi bahan bakar. Persamaan 2 akan menjadi seperti persamaan 4 dibawah ini.

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar} = \text{Energi Bahan Bakar} / \text{Net Calorific Value} \dots \dots \dots (4)$$

Selanjutnya persamaan 1 akan berubah menjadi persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{konsumsi bahan bakar} \times \% \text{ C bahan bakar} \times 44/12 \dots \dots \dots (5)$$

Berdasarkan nilai kalorinya, jenis batubara di Indonesia dikelompokkan menjadi 4 macam, yaitu antrasit (kalori sangat tinggi), bituminous (kalori tinggi), sub-bituminous (kalori sedang), lignit (kalori rendah) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian Sumber Daya Batubara Indonesia Berdasarkan Nilai Kalor^[6].

Pada Gambar 2 terlihat bahwa sebagian besar (62%) batubara Indonesia memiliki kalori sedang, sedangkan 13% berkalori tinggi, dan jenis tersebut digunakan untuk ekspor dan untuk proses industri seperti baja dan semen. Untuk proses pembangkitan energi listrik menggunakan batubara berkalori sedang dan rendah^[7].

Tabel 1 menunjukkan nilai *net calorific value* (NCV) dan %C yang terkandung dalam batubara berkalori sedang dan rendah di Indonesia. Berdasarkan data nilai jumlah emisi CO₂ tersebut dapat dihitung faktor emisi pembangkit.

Tabel 1. Faktor Emisi Batubara Berkalori Sedang dan Rendah di Indonesia^[2]

Bahan Bakar	NCV (Tjoule/kTon)	% karbon
Batubara Bituminous (Sedang)	25,8	66,6
Batubara Sub-bituminous (rendah)	18,9	49,5

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa PLTU Banten, PLTU Indramayu, dan PLTU Rembang menggunakan batubara berjenis kalori sedang (bituminous).

PLTN tidak memiliki % karbon (%C = 0%), karena dalam proses pembangkitan panas yang digunakan untuk memutar turbin, PLTN tidak menggunakan pembakaran senyawa karbon tetapi menggunakan energi panas yang dihasilkan dari reaksi fisi uranium^[8]. Berdasarkan data BATAN, bahan bakar nuklir mempunyai *burn up* (*calorific value*) 45000 MWd/ton atau senilai dengan 3.888.000 Tjoule/kTon. Nilai tersebut diasumsikan sebagai NCV dari bahan bakar nuklir.

Perhitungan faktor emisi pembangkit dilakukan dengan menggunakan persamaan 6. Faktor emisi berbanding lurus dengan emisi CO₂ yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan energi yang dibangkitkan.

$$\text{Faktor Emisi CO}_2 = \text{Emisi CO}_2 / \text{Energi yang dibangkitkan} \dots\dots\dots(6)$$

2.2. Validasi Hasil Perhitungan

Validasi hasil perhitungan penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan terhadap faktor emisi pembangkit (PLTU) yang ada di Indonesia yang dilaporkan UNDP (Tabel 2)^[9].

Tabel 2. Faktor Emisi PLTU di Indonesia

Jenis	Bahan Bakar	Faktor Emisi CO ₂ (kg/kWh)
PLTU	Batubara	1,140
	Gas Alam	0,678
	HSD	1,053
	MFO	0,876

Sedangkan untuk PLTN, UNDP belum memberikan data faktor emisinya karena PLTN di Indonesia masih belum beroperasi. Dengan mempertimbangkan proses pembangkitan panas yang tidak menggunakan pembakaran senyawa karbon, maka diasumsikan PLTN di Indonesia tidak memiliki faktor emisi (faktor emisi = 0 kg/kWh). Faktor emisi PLTN tersebut akan digunakan untuk memvalidasi hasil perhitungan faktor emisi pada penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh energi listrik yang dibangkitkan masing-masing pembangkit dalam satu tahun seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Perhitungan tersebut dilakukan dengan cara mengalikan kapasitas terpasang dengan faktor kapasitas pembangkitnya. Faktor kapasitas adalah perbandingan antara jumlah jam beroperasi pembangkit dalam 1 tahun dengan jumlah jam dalam 1 tahun (1 tahun = 8760 jam), sehingga apabila pembangkit tersebut dalam 1 tahun hanya beroperasi selama 7008 jam, maka faktor kapasitasnya adalah 80% (7008 jam/ 8760 jam = 0,8).

3.1. Data Pembangkit

Data PLTU Batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan data untuk PLTN 1000 MWe dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan data tersebut dapat dihitung energi listrik yang dibangkitkan dan konsumsi batubara dari masing-masing pembangkit.

Tabel 3. Data PLTU Batubara^[4]

Parameter	Satuan	PLTU Banten	PLTU Indramayu	PLTU Rembang
Kapasitas	MWe	600	990	630
Jam Operasi	Jam	7.008	7.008	7.008
Faktor Kapasitas	%	80	80	80
Efisiensi Termal	%	33	34	30

PLTU Batubara Banten, Indramayu, dan Rembang adalah PLTU Batubara yang dimiliki oleh Indonesia *Power* dan Pembangkitan Jawa Bali dan berlokasi di daerah Banten, Indramayu, dan Rembang. Ke tiga PLTU Batubara tersebut tidak lepas dari permasalahan lingkungan khususnya dalam menangani permasalahan pencemaran udara yang ditimbulkannya^[4]. Perbedaan efisiensi termal disebabkan karena teknologi dan umur pembangkit yang tidak sama.

Tabel 4. Data PLTN^[5]

Parameter	Satuan	PLTN
Kapasitas	MWe	1000
Faktor Kapasitas	%	85
Efisiensi Termal	%	33,4

Tabel 5. Produksi Energi Listrik per Tahun

Pembangkit	Kapasitas (MWe)	Faktor kapasitas (%)	Produksi Listrik	
			(MWyr)	(GWh)
PLTU Banten	600	80	480	4204,8
PLTU Indramayu	990	80	792	6937,9
PLTU Rembang	630	80	504	4415,0
PLTN	1000	85	850	7446,0

Menggunakan data efisiensi termal dan produksi energi listrik dari masing-masing pembangkit, dapat dihitung jumlah energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi listrik tersebut (persamaan 3). Tabel 6 menunjukkan energi bahan bakar yang dibutuhkan setiap pembangkit.

Tabel 6. Energi Bahan Bakar Setiap Pembangkit

Pembangkit	Produksi Listrik(kWh)	Efisiensi Termal (%)	Energi Bahan Bakar	
			(MWyr)	(GWh)
PLTU Banten	4204800000	33	1455	12741,8
PLTU Indramayu	6937920000	34	2329	20405,6
PLTU Rembang	4415040000	30	1680	14716,8
PLTN	7446000000	33.4	2545	22293,4

Energi bahan bakar yang dibutuhkan berbanding lurus dengan produksi listrik dan berbanding terbalik dengan efisiensi termal. Semakin besar efisiensi termal, semakin kecil energi bahan bakarnya karena kemampuan teknologi untuk mengubah energi termal ke energi listrik semakin meningkat. Efisiensi termal sangat ditentukan oleh jenis turbin yang dipakai dan teknologi yang dipakai dalam pembangkit listrik tersebut.

Menggunakan persamaan 2, dapat dihitung laju bahan bakar setiap pembangkit. Laju bahan bakar sangat ditentukan oleh nilai NCV bahan bakar. Semakin besar nilai NCV, maka semakin sedikit laju bahan bakarnya. Nilai NCV menunjukkan nilai energi yang terkandung dalam bahan bakar. Semakin tinggi nilai NCVnya maka makin tinggi pula bahan bakar tersebut menyimpan energi panas yang dapat digunakan membangkitkan energi listrik. Tabel 7 menunjukkan laju bahan bakar setiap pembangkit.

Tabel 7. Laju Bahan Bakar Setiap Pembangkit

Pembangkit	NCV		Laju Bahan Bakar (ton/tahun)
	(Tjoule/kTon)	(kWh/kg)	
PLTU Banten	25.8	7.2	1.777.928
PLTU Indramayu	25.8	7.2	2.847.300
PLTU Rembang	25.8	7.2	2.053.507
PLTN	3888000	1080000	21

Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan setiap pembangkit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Tabel 8 menunjukkan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh setiap pembangkit. PLTN tidak menghasilkan emisi CO₂ karena tidak memiliki %C dalam bahan bakarnya. Emisi terbesar dihasilkan oleh PLTU Indramayu, hal itu disebabkan karena PLTU Indramayu mempunyai kapasitas terbesar diantara PLTU lainnya sehingga dengan faktor

kapasitas yang sama, PLTU Indramayu menghasilkan energi listrik yang paling besar. Untuk menghasilkan energi listrik yang besar dibutuhkan energi bahan bakar yang besar pula dan sebanding dengan emisi yang dihasilkannya.

Tabel 8. Emisi CO₂ Setiap Pembangkit

Pembangkit	Emisi CO ₂ (kTon)
PLTU Banten	4341,7
PLTU Indramayu	6953,1
PLTU Rembang	5014,6
PLTN	0

Dalam studi ini perhitungan emisi CO₂ PLTN tidak meliputi LCA (*life cycle analysis*), namun emisi CO₂ hanya dihitung pada proses pembangkitan energi listrik saja. Perhitungan faktor emisi dilakukan dengan menggunakan persamaan 4. Tabel 9 menunjukkan hasil perhitungan faktor emisi setiap pembangkit. Faktor emisi terbesar dimiliki oleh PLTU Rembang, hal itu disebabkan karena PLTU Rembang memiliki efisiensi paling rendah. PLTU Indramayu memiliki emisi CO₂ terbesar, namun memiliki faktor emisi terkecil dibandingkan jenis PLTU lainnya, hal itu disebabkan karena PLTU Indramayu memiliki efisiensi termal yang paling tinggi dibandingkan PLTU lainnya. Dengan kata lain bahwa besar kecilnya faktor emisi ditentukan oleh efisiensi termalnya.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Faktor Emisi Setiap Pembangkit

Pembangkit	Faktor Emisi CO ₂ (kg/kWh)
PLTU Banten	1.033
PLTU Indramayu	1.002
PLTU Rembang	1.136
PLTN	0.000

3.2 Validasi Hasil Perhitungan

Validasi hasil perhitungan dilakukan dengan cara membandingkan hasil perhitungan dengan data faktor emisi pembangkit di Indonesia. Tabel 10 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan dengan data faktor emisi yang ada.

Tabel 10. Perbandingan Perhitungan dengan Data Faktor Emisi di Indonesia

Pembangkit	Faktor Emisi CO ₂ (kg/kWh)	
	Hasil Perhitungan	Data di Indonesia
PLTU Banten	1.033	1.14
PLTU Indramayu	1.002	1.14
PLTU Rembang	1.136	1.14
PLTN	0.000	0.00

Hasil perhitungan tidak berbeda jauh dengan data faktor emisi pembangkit yang ada. Perbedaan faktor emisi PLTU Batubara terjadi karena perhitungan menggunakan data UNDP dilakukan untuk semua pembangkit PLTU Batubara di Indonesia. Dengan kata lain hasil dari UNDP adalah rata-rata faktor emisi seluruh PLTU Batubara di Indonesia, sehingga

mengakibatkan adanya perbedaan pada nilai efisiensi termal dan berpengaruh pada nilai faktor emisi pembangkitnya. Perbedaan yang tidak terlalu besar tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan faktor emisi pada penelitian ini dikategorikan valid dan dapat dipertanggung jawabkan.

Untuk membangkitkan energi listrik sebesar 1776 MWyr menggunakan ke tiga PLTU Batubara, akan dihasilkan emisi CO₂ sebesar 16.309 kTon CO₂, sedangkan PLTN tidak menghasilkan emisi CO₂. Pembangkitan energi listrik menggunakan PLTU Batubara sebesar 1700 MWyr dapat digantikan dengan menggunakan PLTN 1000 MWe sebanyak 2 unit, dan penggantian tersebut akan mengurangi emisi CO₂ sebesar 16 ribu kTon.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh faktor emisi untuk masing-masing pembangkit adalah sebagai berikut: PLTU Banten 1,033 kg/kWh, PLTU Indramayu 1,002 kg/kWh, PLTU Rembang 1,136 kg/kWh, dan PLTN 0 kg/kWh. Faktor emisi CO₂ rata-rata adalah 1,05 kg/kWh, dan faktor tersebut dipengaruhi oleh efisiensi termal pembangkit, NCV bahan bakar yang digunakan, dan kandungan karbon (% C) dalam bahan bakar. Pembangkitan daya sebesar 1700 MWyr dengan menggunakan PLTU Banten, Indramayu, dan Rembang akan menghasilkan CO₂ sebesar 16 ribu kTon. Bila pembangkitan daya tersebut diganti dengan 2 unit PLTN 1000 MWe maka emisi CO₂ akan berkurang sebesar 16 ribu kTon.

Data faktor emisi PLTU Batubara dan PLTN ini sangat membantu untuk menghitung emisi CO₂ dalam sebuah perencanaan sistem kelistrikan opsi nuklir. Perencanaan sistem kelistrikan opsi nuklir merupakan salah satu misi dari Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. NURMAINI, "Peningkatan Zat-Zat Pencemar Mengakibatkan Pemanasan Global", Fakultas Kesehatan Masyarakat USU, Sumatera Utara, 2001.
- [2]. _____, "Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Sektor Industri", Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri, 2012.
- [3]. RIZKI, F.S.B., DJATI H.S., ELOK S.A., "Peran PLTN untuk Menurunkan Emisi CO₂ dalam Perencanaan Pengembangan Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Utara", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir 2012, Jakarta, 2012.
- [4]. NASRULLAH, M., MASDIN, "Penerapan Biaya Eksternalitas dalam Biaya Pembangkitan Listrik di Indonesia", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir 2011, Jakarta, 2011
- [5]. NASRULLAH, M., "Analisis Komparasi Ekonomi PLTN dan PLTU Batubara untuk Bangka Belitung", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir 2011, Jakarta, 2011
- [6]. HADIYANTO, "Anatomi Sumber Daya Batubara Serta Asumsi Pemanfaatan Untuk PLTU di Indonesia", Badan Geologi KESDM, 2006.
- [7]. _____, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Pesero) 2012-2012, PT. PLN (Pesero), 2012.
- [8]. RIZKI, F.S.B., SUPARMAN, DJATI H.S., "Analisis Emisi CO₂ pada Studi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Listrik Wilayah Bangka Belitung dengan Opsi Nuklir", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir 2012, Jakarta, 2012
- [9]. _____, "Indonesia Microturbine Technology Application Project", United Nation Development Programe, USA, 2007.