

*Analisis Emisi CO<sub>2</sub> pada Studi Perencanaan Pengembangan Pembangkitan Listrik  
Wilayah Bangka Belitung dengan Opsi Nuklir  
(Rizki Firmansyah Setya Budi, Suparman, Djati Hoesen Salimy)*

## **ANALISIS EMISI CO<sub>2</sub> PADA STUDI PERENCANAAN PENGEMBANGAN PEMBANGKITAN LISTRIK WILAYAH BANGKA BELITUNG DENGAN OPSI NUKLIR**

**Rizki Firmansyah Setya Budi, Suparman, Djati Hoesen Salimy**

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN

Jl. Abdul Rohim Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

Telp./Faks.: (021)5204243, Email: rizkifirmansyah@batan.go.id

Masuk: 27 Mei 2011

Direvisi: 14 Juni 2011

Diterima: 29 Juni 2011

### **ABSTRAK**

#### **ANALISIS EMISI CO<sub>2</sub> PADA STUDI PERENCANAAN PENGEMBANGAN PEMBANGKITAN LISTRIK WILAYAH BANGKA BELITUNG DENGAN OPSI NUKLIR.**

*Studi ini bertujuan untuk menganalisis penurunan emisi CO<sub>2</sub> pada studi perencanaan pengembangan pembangkitan listrik wilayah Bangka Belitung dengan opsi nuklir. Studi perencanaan pengembangan pembangkitan listrik dilakukan dengan WASP IV. Kandidat pembangkit yang digunakan untuk pengembangan adalah PLTU Batubara 50 MW, PLTG 50 MW, PLTN 100 MW, dan PLTU Biomassa 7 MW. Dua kasus yang dikembangkan, adalah: Kasus RUPTL dan Kasus Industrialisasi. Setiap kasus dibagi menjadi dua sub kasus yaitu : Tanpa Nuklir dan Dengan Nuklir. Hasil studi menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> dari sistem pembangkitan listrik wilayah Bangka Belitung akan berkurang dengan masuknya PLTN ke dalam sistem kelistrikan. Dari simulasi terlihat bahwa PLTN akan masuk ke jaringan pada kisaran tahun 2020-an, dan masuknya PLTN akan berimplikasi pada penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari sistem pembangkitan listrik. Pada akhir tahun studi (2030), jika dibandingkan opsi tanpa nuklir, emisi CO<sub>2</sub> akan berkurang sebesar 35% untuk kasus RUPTL dan 52% untuk kasus industrialisasi.*

**Kata kunci:** perencanaan pengembangan, emisi CO<sub>2</sub>, nuklir

### **ABSTRACT**

#### **THE ANALYSIS OF CO<sub>2</sub> EMISSION AT THE STUDY OF ELECTRICITY GENERATION DEVELOPMENT PLANNING WITH NUCLEAR OPTION FOR BANGKA BELITUNG REGION.**

*The goal of the study is to analyze the decrease of CO<sub>2</sub> emission at the study of electricity generation development planning at Bangka Belitung region with nuclear option. The study of electricity generation development planning was done using WASP IV. The plant candidates that are used for the expansion are 50 MW Coal Plant, 50 MW Gas Plant, 100 MW Nuclear Plant, and 7 MW Biomass Plant. There are two case studies, RUPTL Case Study and Industrialization Case Study, each of which consists of two sub case studies, without and with nuclear. The result showed that CO<sub>2</sub> emission from electricity generation at Bangka Belitung grid decreases as nuclear power plant introduced at the system. The simulation showed that nuclear will enter the system in around 2020's. At the end of the study period (year of 2030) CO<sub>2</sub> emission from electricity generation at Bangka Belitung grid will decrease about 35% for RUPTL case and 52% for industrialization case study in 2030.*

**Keywords:** expansion planning, CO<sub>2</sub> emission, nuclear

## 1. PENDAHULUAN

Perubahan cuaca ekstrim sering terjadi beberapa tahun terakhir. Musim kemarau panjang menyebabkan kekeringan dan musim penghujan panjang menyebabkan banjir. Semua itu berpengaruh terhadap ketahanan pangan dan perkembangan berbagai sektor di Indonesia. Perubahan cuaca ekstrim tersebut disebabkan oleh adanya kenaikan suhu permukaan bumi akibat meningkatnya kandungan gas rumah kaca (karbon dioksida, metan, nitrous oxide, sulfur heksafluorida, HFC, dan PFC) khususnya CO<sub>2</sub>, yang menyebabkan terjadinya pemanasan global<sup>[1]</sup>.

Suatu langkah nyata harus segera diambil untuk mencegah bahkan menurunkan laju pertumbuhan emisi gas rumah kaca. Negara-negara industri di dunia sepakat membuat Protokol Kyoto, untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (karbon dioksida, metan, nitrous oxide, sulfur heksafluorida, HFC, dan PFC) yang dihitung sebagai rata-rata selama masa lima tahun antara 2008-2012. Untuk mendukung Protokol Kyoto, Pemerintah Indonesia mempunyai komitmen untuk menurunkan gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020 dengan penurunan pada sektor energi sebesar 6%. Komitmen tersebut disampaikan pada saat Pertemuan G-20 di Pittsburgh bulan September 2009.

Salah satu cara menurunkan gas rumah kaca adalah dengan membangun pembangkit listrik berbahan bakar dengan emisi gas rumah kaca relatif sedikit. Pengembangan pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan perlu lebih serius diupayakan. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah salah satu jenis energi baru yang ramah lingkungan, sehingga cukup layak dipertimbangkan sebagai salah satu pembangkit yang dapat diandalkan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca.

Studi tentang perencanaan pengembangan pembangkit listrik dengan opsi nuklir telah dilakukan di wilayah Propinsi Kepulauan Bangka Belitung dengan tahun dasar perencanaan 2010 hingga tahun 2030. Studi tersebut belum memperhitungkan besarnya emisi CO<sub>2</sub> yang ditimbulkan akibat masuknya nuklir sebagai salah satu pembangkit yang dikompetisikan.

Dalam studi ini akan dianalisis seberapa besar pengaruh masuknya PLTN ke dalam sistem kelistrikan dapat menurunkan laju emisi CO<sub>2</sub>. Hasil studi diharapkan dapat menjadi masukan untuk para pembuat kebijakan dalam menyusun program pengembangan energi listrik di Indonesia.

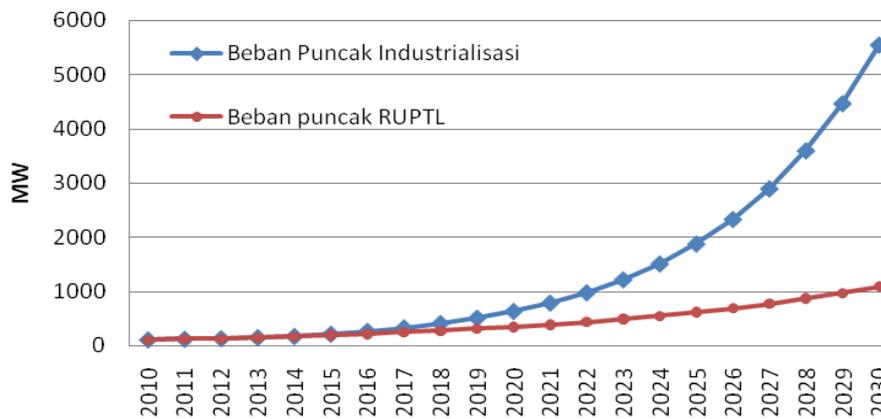
Emisi CO<sub>2</sub> yang dihitung adalah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada saat memproduksi energi listrik saja. Sedangkan untuk proses-proses yang lain tidak diperhitungkan dalam studi ini, misalnya : emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada saat melakukan penambangan bahan baku, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sewaktu pengolahan bahan baku menjadi bahan bakar, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada waktu pengangkutan bahan bakar ke pembangkit, dan lain-lain.

## 2. METODOLOGI

Perencanaan pengembangan pembangkitan listrik dilakukan untuk memenuhi perkembangan beban permintaan listrik setiap tahunnya. Suatu sistem kelistrikan idealnya memiliki cadangan yang mencukupi, sehingga apabila ada pembangkit dengan kapasitas terbesar yang lepas dari sistem karena terjadi kerusakan atau sedang dilakukan perawatan tidak akan menyebabkan terjadinya pemadaman. Penentuan besarnya cadangan harus diperhitungkan dengan matang sehingga cadangan yang ada tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Oleh karena itu perlu ditetapkan batas cadangan (*reserve margin*) minimal dan maksimal. Pengembangan pembangkit dilakukan apabila kapasitas pembangkit sudah berada di bawah beban puncak ditambah batas cadangan minimal. Pada studi ini digunakan batas cadangan minimal 10 % dan batas cadangan maksimal 40 %. Kapasitas

pembangkit tidak boleh melebihi beban puncak ditambah batas cadangan 40%. Apabila cadangannya terlalu besar, maka akan mengakibatkan biaya yang dibutuhkan juga semakin besar<sup>[2]</sup>.

Perencanaan pengembangan pembangkitan listrik yang dilakukan dalam studi ini menggunakan 2 macam kasus. Kasus pertama menggunakan beban puncak yang ada di dalam RUPTL PT. PLN (Persero) 2010-2019, sebesar 12%. Kasus kedua adalah kasus industrialisasi dengan asumsi Provinsi Kepulauan Bangka Belitung sebagai pusat industri dengan pertumbuhan beban puncak diasumsikan dua kali lipat dari pertumbuhan beban puncak RUPTL PT. PLN (Persero) 2010-2019 setelah tahun 2015. Setiap kasus dibagi kembali menjadi 2 sub kasus, yaitu : Tanpa Nuklir dan Dengan Nuklir. Di dalam RUPTL tersebut, perkiraan beban puncak hanya sampai pada tahun 2019 sehingga untuk perkiraan beban puncak tahun 2020 sampai 2030 dikembangkan dengan data-data sebelumnya.

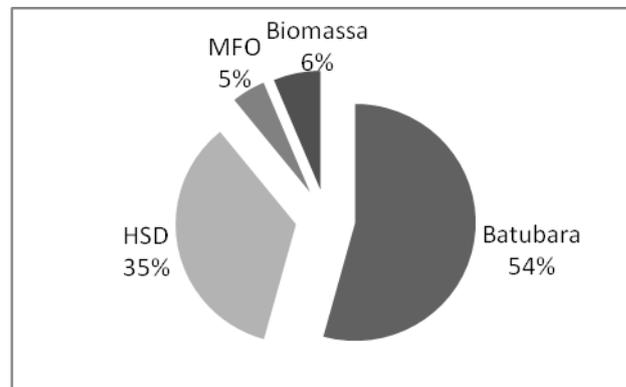


**Gambar 1. Perkiraan Pertumbuhan Beban Puncak Provinsi Kepulauan Bangka Belitung**

Gambar 1 menunjukkan perkiraan pertumbuhan beban puncak Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Perkiraan pertumbuhan beban puncak untuk studi kasus RUPTL sebesar 12% setiap tahunnya sedangkan untuk studi kasus industrialisasi, setelah tahun 2015 pertumbuhannya menjadi 24%.

### 2.1. Kondisi Kelistrikan Wilayah Bangka Belitung

Sejak tahun 2002, PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung sangat membatasi penambahan pelanggan baru dan penambahan daya, namun demikian beban puncak terus mengalami kenaikan.



**Gambar 2. Komposisi Pembangkit di Bangka Belitung Tahun 2010<sup>[2]</sup>**

Gambar 2 menunjukkan komposisi pembangkit di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung pada tahun 2010. Semua pembangkitan energi listrik di wilayah Bangka Belitung pada tahun 2010 masih menggunakan energi fosil. Bahan bakar fosil adalah bahan bakar yang tidak ramah lingkungan karena penggunaan bahan bakar fosil akan menambah kandungan emisi CO<sub>2</sub> di udara. Berdasarkan komposisi pembangkit pada tahun 2010 dan apabila tidak dilakukan pengembangan pembangkit yang ramah lingkungan (bebas emisi gas rumah kaca khususnya CO<sub>2</sub>) pada tahun-tahun berikutnya, maka akan terjadi peningkatan kandungan emisi CO<sub>2</sub> yang akan mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu diperlukan pengembangan pembangkit-pembangkit yang bebas emisi gas CO<sub>2</sub> untuk mengurangi peningkatan emisi gas CO<sub>2</sub>.

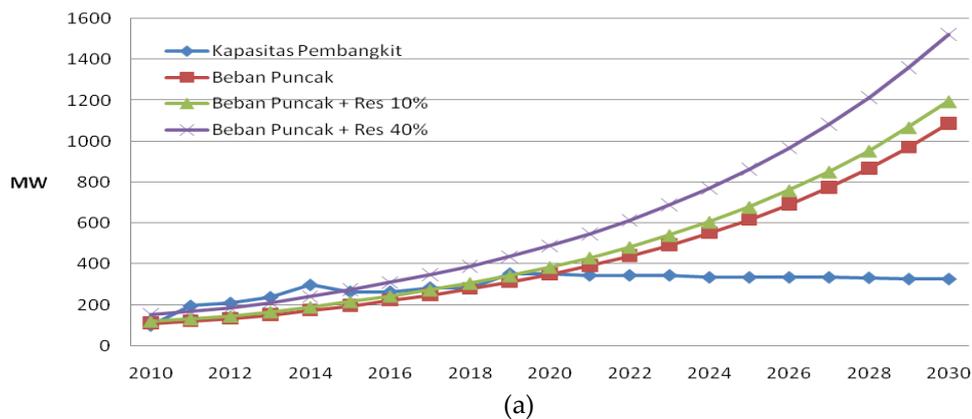
## 2.2. Pengembangan Pembangkit

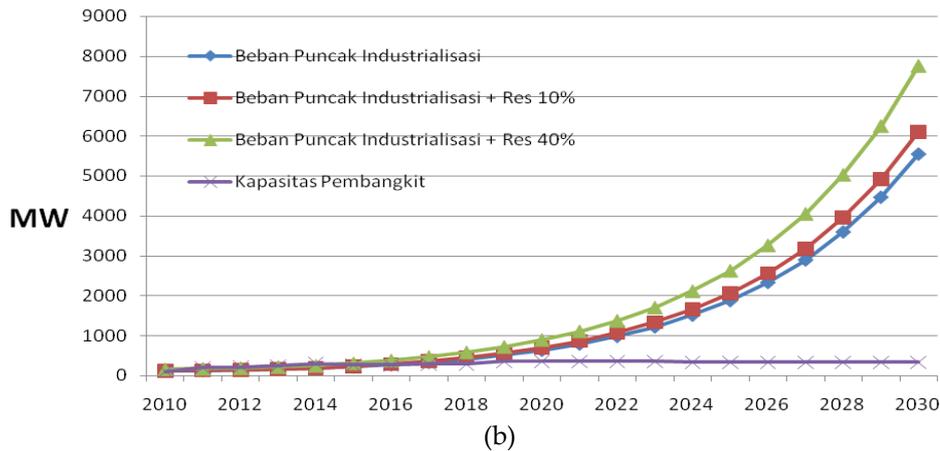
Pengembangan pembangkit di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung didasarkan pada kebijakan RPTL 2010-2019 PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung. Faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan pembangkit adalah faktor keandalan, faktor biaya dan faktor lingkungan. Suatu pengembangan pembangkit dinyatakan baik jika andal, berbiaya murah dan ramah lingkungan. Studi ini menggunakan 4 macam jenis pembangkit seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Kandidat Pembangkit<sup>[2]</sup>**

No	Jenis pembangkit	Kapasitas (MW)
1	PLTN	100
2	PLTU Batubara	50
3	PLTG	50
4	PLTU Biomassa	7

Selain beberapa kandidat pembangkit di atas, perlu diperhatikan pula beberapa pembangkit *committed* yang telah disetujui untuk dibangun yang telah dicantumkan dalam RUPTL PT. PLN (Persero) 2010-2019. Oleh karena itu perlu diperhatikan terlebih dahulu kapasitas pembangkit yang telah terpasang dan kapasitas pembangkit *committed* sebelum menentukan tahun awal penambahan pembangkit baru. Tahun awal penambahan dimulai ketika kapasitas cadangan (*reserve*) pembangkit terpasang dan pembangkit *committed* di bawah beban puncak ditambah cadangan minimal<sup>[2]</sup>.





(b)  
**Gambar 3. Pengembangan Kapasitas Pembangkit Bangka Belitung, (a) Studi Kasus RUPTL, (b) Studi Kasus Industrialisasi<sup>[2]</sup>**

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa untuk studi kasus RUPTL, kapasitas pembangkit terpasang dan pembangkit *committed* pada tahun 2018 berada di bawah beban puncak ditambah cadangan minimal sehingga penambahan pembangkit baru harus dilakukan mulai tahun 2018. Sedangkan untuk studi kasus industrialisasi, penambahan pembangkit baru harus dilakukan mulai tahun 2016<sup>[2]</sup>.

## 2.2 Faktor Emisi

Emisi gas rumah kaca dapat berupa karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana, *nitrous oxide*, sulfur heksafluorida, HFC, dan PFC. Setiap gas tersebut mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*). Makin besar nilai *Global Warming Potential*, maka akan semakin bersifat merusak. Emisi CO<sub>2</sub> mempunyai kontribusi terbesar terhadap pemanasan global<sup>[3]</sup>.

Emisi CO<sub>2</sub> secara sederhana dihitung berdasarkan koefisien emisi setiap jenis bahan bakar yang digunakan. Untuk pembangkit listrik di Indonesia, UNDP (2007) telah menghitung secara rinci koefisien emisi CO<sub>2</sub> seperti pada Tabel 2. Faktor emisi CO<sub>2</sub> untuk PLTU Biomassa belum terdapat pada Tabel 2, karena baru beroperasi pada tahun 2007. Emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh PLTU Batubara, PLTG, PLTD dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ (kg)} = \text{Faktor emisi (kg/kWh)} \times \text{Energi yang dibangkitkan (kWh)} \quad (1)$$

**Tabel 2. Faktor Emisi CO<sub>2</sub><sup>[4]</sup>**

Jenis	Bahan bakar	Faktor emisi CO <sub>2</sub> (kg/kWh)
PLTU	Batubara	1,14
	Gas Alam	0,678
	HSD	1,053
	MFO	0,876
PLTG	Gas Alam	1,002
	HSD	1,091
PLTGU	Gas Alam	0,505
	HSD	0,709
PLTD	HSD	0,786
	MFO /IDO	0,728
PLTP		0,2
PLTA		0

**Tabel 3. Faktor Emisi Pembakaran Biomassa Limbah Perkebunan<sup>[5]</sup>**

Jenis gas	Faktor emisi
CO <sub>2</sub>	1485 – 1685 (g CO <sub>2</sub> /kg biomassa)
CO	69 – 135 (g CO/kg biomassa)

Bahan bakar PLTU Biomassa di Indonesia diperoleh dari limbah perkebunan. *Heat rate* PLTU Biomassa yang digunakan dalam studi ini diasumsikan berdasar PLTU Biomassa 10 MW dengan *heat rate* sebesar 2 kg/kWh<sup>[6]</sup>. Tabel 3 menunjukkan faktor emisi CO<sub>2</sub> untuk biomassa yang berasal dari limbah perkebunan berkisar antara 1485 sampai 1685 g CO<sub>2</sub>/kg biomassa. Faktor emisi CO<sub>2</sub> yang digunakan dalam studi ini adalah nilai tengah faktor emisi CO<sub>2</sub> yang ada pada pada Tabel 3, yaitu 1585 g CO<sub>2</sub>/kg biomassa. Untuk menghitung emisi CO<sub>2</sub> PLTU biomassa dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 \text{ Biomassa (kg)} = \text{Faktor emisi (g CO}_2\text{/kg biomassa)} \times \text{Jumlah bahan bakar (kg biomassa)} \quad (2)$$

Jumlah bahan bakar biomassa dapat diketahui dengan cara sebagai berikut:

$$\text{Jumlah bahan bakar biomassa (kg)} = \text{Heat rate} \times \text{Energi yang dibangkitkan} \quad (3)$$

Emisi yang dihasilkan sangat ditentukan oleh besarnya energi yang dibangkitkan setiap pembangkit dan faktor emisinya. PLTN tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> karena dalam menghasilkan panas, PLTN tidak menggunakan pembakaran senyawa karbon (C) tetapi menggunakan energi panas yang dihasilkan dari reaksi fisi uranium.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permasalahan emisi CO<sub>2</sub> dan kebutuhan listrik yang terus meningkat dapat diselesaikan dengan membuat suatu perencanaan sistem pembangkitan listrik yang ramah lingkungan. Berdasarkan hasil perencanaan yang dilakukan dengan Program WASP IV, dapat diketahui komposisi pembangkit per tahun. Komposisi pembangkit tiap tahun untuk studi kasus RUPTL dan industrialisasi ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Pada studi kasus RUPTL dengan nuklir, PLTN pertama kali beroperasi tahun 2023 dengan kapasitas daya 100 MW dan akan terus bertambah. Tahun 2030, PLTN mempunyai kapasitas daya terpasang sebesar 400 MW. Pada studi kasus industrialisasi dengan nuklir, PLTN pertama kali beroperasi tahun 2020 dengan kapasitas daya 100 MW. Tahun 2030, PLTN mempunyai kapasitas daya terpasang sebesar 2700 MW. Untuk jangka waktu 2010-2019, pertumbuhan kapasitas daya PLTU Batubara cukup signifikan jika dibandingkan dengan pembangkit yang lain. Hal itu disebabkan karena adanya kebijakan percepatan pembangunan PLTU Batubara yang tercantum dalam RUPTL PLN 2010-2019. Komposisi pembangkit yang ada akan berpengaruh terhadap komposisi energi yang dibangkitkan dalam sistem tersebut. Pembangkit yang mempunyai porsi lebih besar di dalam komposisi pembangkit, akan membangkitkan energi yang lebih besar juga.

**Tabel 4. Komposisi Pembangkit Tiap Tahun Studi Kasus RUPTL (MW)**

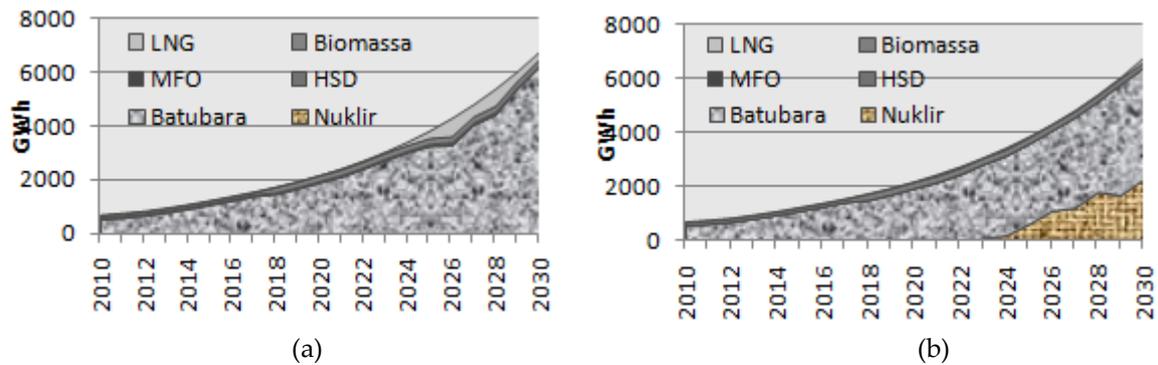
Tahun	RUPTL tanpa nuklir						RUPTL nuklir					
	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	Gas	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	Gas
2010	0	120	77	10	15	0	0	120	77	10	15	0
2011	0	153	79	10	15	0	0	153	79	10	15	0
2012	0	167	79	10	15	0	0	167	79	10	15	0
2013	0	195	79	10	15	0	0	195	79	10	15	0
2014	0	255	79	10	15	0	0	255	79	10	15	0
2015	0	255	46	10	15	0	0	255	46	10	15	0
2016	0	255	46	10	15	0	0	255	46	10	15	0
2017	0	275	46	10	15	0	0	275	46	10	15	0
2018	0	275	46	10	29	0	0	275	46	10	29	0
2019	0	335	54	10	29	0	0	335	54	10	29	0
2020	0	335	54	10	29	50	0	335	54	10	29	50
2021	0	335	49	10	29	100	0	335	49	10	29	100
2022	0	385	47	10	29	100	0	385	47	10	29	100
2023	0	435	47	10	29	100	100	385	47	10	29	100
2024	0	435	37	10	29	150	100	385	37	10	29	100
2025	0	435	37	10	29	250	200	385	37	10	29	100
2026	0	435	37	10	29	300	300	385	37	10	29	100
2027	0	535	37	10	29	300	300	435	37	10	29	100
2028	0	585	37	10	29	350	400	435	37	10	29	100
2029	0	735	32	10	29	350	400	535	32	10	29	150
2030	0	885	32	10	29	350	400	535	32	10	29	250

**Tabel 5. Komposisi Pembangkit Tiap Tahun Studi Kasus Industrialisasi (MW)**

Tahun	Industrialisasi tanpa nuklir						Industrialisasi nuklir					
	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	Gas	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	Gas
2010	0	120	77	10	15	0	0	120	77	10	15	0
2011	0	153	79	10	15	0	0	153	79	10	15	0
2012	0	167	79	10	15	0	0	167	79	10	15	0
2013	0	195	79	10	15	0	0	195	79	10	15	0
2014	0	255	79	10	15	0	0	255	79	10	15	0
2015	0	255	46	10	15	0	0	255	46	10	15	0
2016	0	255	46	10	36	0	0	255	46	10	36	0
2017	0	275	46	10	36	50	0	275	46	10	36	50
2018	0	325	46	10	36	100	0	325	46	10	36	100
2019	0	435	54	10	36	100	0	385	54	10	36	150
2020	0	535	54	10	36	150	100	385	54	10	36	200
2021	0	635	49	10	36	200	300	385	49	10	36	200
2022	0	835	47	10	36	250	500	385	47	10	36	200
2023	0	1085	47	10	36	250	700	385	47	10	36	250
2024	0	1385	37	10	36	300	1000	435	37	10	36	250
2025	0	1385	37	10	36	700	1400	435	37	10	36	300
2026	0	1885	37	10	36	750	1700	485	37	10	36	450
2027	0	1885	37	10	36	1350	2100	585	37	10	36	600
2028	0	2735	37	10	36	1350	2600	735	37	10	36	750
2029	0	3735	32	10	36	1350	2700	1435	32	10	36	1000
2030	0	4085	32	10	36	2200	2700	2385	32	10	36	1300

Komposisi energi yang dibangkitkan pada studi kasus RUPTL tanpa nuklir dan dengan nuklir ditunjukkan pada Gambar 4. Pada studi kasus RUPTL tanpa nuklir (Gambar 4.a), PLTU Batubara mendominasi energi yang dibangkitkan. Hal itu disebabkan karena

kapasitas PLTU Batubara jauh lebih besar dibandingkan dengan pembangkit yang lain. Sedangkan untuk studi kasus RUPTL dengan nuklir (Gambar 4.b), pada awalnya PLTU Batubara mendominasi energi yang dibangkitkan. Akan tetapi, dominasi PLTU Batubara akan semakin berkurang ketika PLTN mulai beroperasi.



Gambar 4. Komposisi Energi yang Dibangkitkan, (a) RUPTL Tanpa Nuklir, (b) RUPTL dengan Nuklir

Berdasarkan hasil keluaran program WASP IV dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil emisi setiap pembangkit pada studi kasus RUPTL tanpa nuklir dan dengan nuklir seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Tiap Pembangkit Studi Kasus RUPTL (kTon)

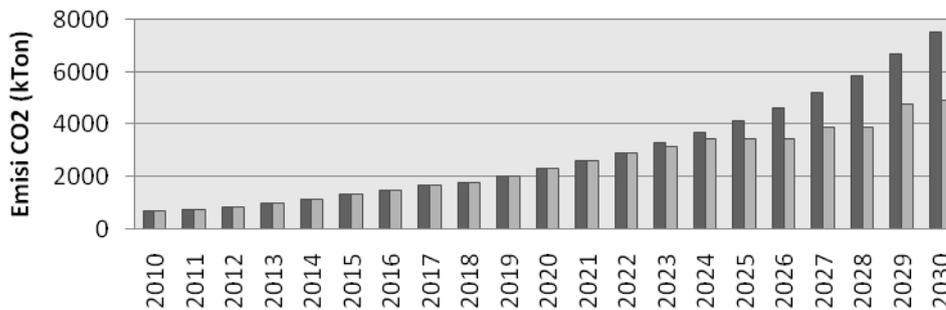
Tahun	RUPTL tanpa nuklir						RUPTL dengan nuklir					
	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	LNG	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	LNG
2010	0	651	1	1	27	0	0	651	1	1	27	0
2011	0	732	0	0	27	0	0	732	0	0	27	0
2012	0	819	0	0	27	0	0	819	0	0	27	0
2013	0	953	0	0	27	0	0	953	0	0	27	0
2014	0	1104	0	0	27	0	0	1104	0	0	27	0
2015	0	1275	0	0	27	0	0	1275	0	0	27	0
2016	0	1451	1	1	27	0	0	1451	1	1	27	0
2017	0	1643	1	1	27	0	0	1643	1	1	27	0
2018	0	1729	2	1	53	0	0	1729	2	1	27	0
2019	0	1968	1	1	53	0	0	1968	1	1	53	0
2020	0	2223	1	4	53	8	0	2223	1	4	53	8
2021	0	2473	1	9	53	45	0	2473	1	9	53	45
2022	0	2808	1	9	53	45	0	2808	1	9	53	45
2023	0	3178	1	9	53	51	0	3092	0	4	53	10
2024	0	3495	2	15	53	131	0	3330	1	9	53	58
2025	0	3761	0	35	53	285	0	3355	1	6	53	29
2026	0	3791	2	60	53	686	0	3355	0	4	53	15
2027	0	4657	1	50	53	457	0	3791	1	7	53	40
2028	0	5097	2	59	65	640	0	3791	1	6	53	37
2029	0	6222	0	22	65	355	0	4661	0	6	65	48
2030	0	7149	0	14	65	277	0	4661	1	10	53	173

Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa emisi CO<sub>2</sub> terbesar dihasilkan oleh PLTU Batubara. Sedangkan untuk pembangkit yang lain, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan emisi CO<sub>2</sub> PLTU Batubara. Hal tersebut disebabkan

karena energi yang dibangkitkan oleh pembangkit lain tidak terlalu besar atau faktor emisi pembangkitnya rendah. Jumlah emisi CO<sub>2</sub> terus bertambah setiap tahun. Emisi CO<sub>2</sub> bertambah disebabkan energi yang dibangkitkan meningkat seiring pertumbuhan beban puncak setiap tahun. Hal ini membuktikan bahwa emisi CO<sub>2</sub> berbanding lurus dengan pertumbuhan beban puncak.

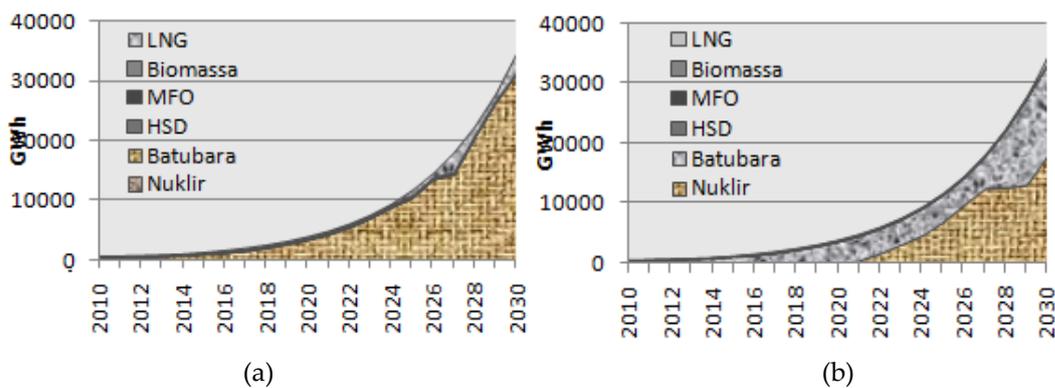
PLTN pertama kali beroperasi tahun 2023 dengan kapasitas 100 MW dan pada tahun 2030 kapasitasnya menjadi 400 MW. Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa PLTN tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> (emisi yang dihitung dalam studi ini hanya emisi pada saat produksi listrik saja).

Rentang waktu 2011-2015, PLTD MFO dan HSD tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> karena PLTD MFO dan HSD tidak dioperasikan dan hanya dijadikan cadangan apabila ada pembangkit yang rusak. Hal itu disebabkan karena pada rentang waktu tersebut, dilakukan percepatan pembangunan PLTU Batubara sehingga energi yang semula disuplai oleh PLTD MFO dan HSD akan disuplai oleh PLTU Batubara. Beban puncak pada rentang waktu tersebut disuplai oleh PLTU Biomassa. Perubahan beban pada saat beban puncak di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung tidak terlalu signifikan sehingga masih dapat direspon oleh PLTU Biomassa.



**Gambar 5. Emisi CO<sub>2</sub> Total per Tahun Studi Kasus RUPTL**

Perbandingan emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan antara studi kasus RUPTL dengan nuklir dan tanpa nuklir ditunjukkan oleh Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa perbedaan emisi CO<sub>2</sub> antara studi kasus RUPTL tanpa nuklir dan dengan nuklir terjadi mulai tahun 2023 dimana pada waktu itu PLTN mulai beroperasi dan dari tahun ke tahun jumlahnya terus bertambah. Pembangkitan energi dengan menggunakan PLTN akan mengeluarkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan menggunakan PLTU Batubara. Hal tersebut menunjukkan bahwa PLTN sangat efektif untuk mendukung program pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. Pembangunan PLTN sebesar 400 MW akan menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 35% pada tahun 2030.



**Gambar 6. Komposisi Energi yang Dibangkitkan, (a) Industrialisasi Tanpa Nuklir, (b) Industrialisasi dengan Nuklir**

Komposisi energi yang dibangkitkan pada studi kasus industrialisasi tanpa nuklir dan dengan nuklir ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil yang didapat pada studi kasus industrialisasi hampir sama dengan studi kasus RUPTL. Perbedaannya hanya pada jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada studi kasus industrialisasi lebih besar daripada emisi CO<sub>2</sub> pada studi kasus RUPTL. Perbedaan itu terjadi karena energi yang dibangkitkan pada studi kasus industrialisasi lebih besar daripada energi yang dibangkitkan pada studi kasus RUPTL. Pada studi kasus industrialisasi tanpa nuklir (Gambar 6.a), PLTU Batubara mendominasi energi yang dibangkitkan. Sedangkan untuk studi kasus industrialisasi dengan nuklir (Gambar 6.b), pada awalnya PLTU Batubara mendominasi energi yang dibangkitkan. Akan tetapi, dominasi PLTU Batubara akan semakin berkurang ketika PLTN mulai beroperasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa PLTN adalah pembangkit yang lebih ekonomis dibandingkan dengan PLTU Batubara.

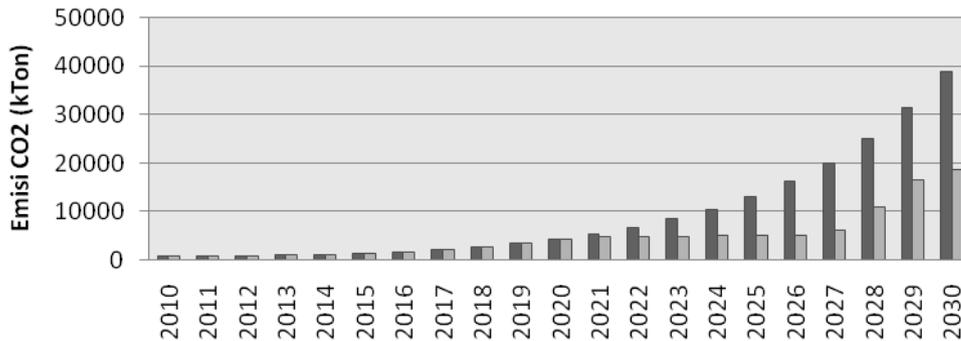
Emisi yang dihasilkan setiap pembangkit pada studi kasus industrialisasi tanpa nuklir dan dengan nuklir ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan Tabel 7, diketahui bahwa emisi CO<sub>2</sub> terbesar dihasilkan oleh PLTU Batubara. Sedangkan untuk pembangkit yang lain, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan emisi CO<sub>2</sub> PLTU Batubara. Hal tersebut disebabkan karena energi yang dibangkitkan oleh pembangkit lain tidak terlalu besar atau faktor emisi pembangkitnya rendah. Jumlah emisi CO<sub>2</sub> terus bertambah setiap tahunnya. Hal itu disebabkan karena energi yang dibangkitkan terus bertambah seiring bertambahnya beban puncak setiap tahunnya.

**Tabel 7. Hasil Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> Tiap Pembangkit Studi Kasus Industrialisasi (kTon)**

Tahun	Industrialisasi tanpa nuklir						Industrialisasi dengan nuklir					
	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	LNG	Nuklir	Batubara	HSD	MFO	Biomassa	LNG
2010	0	651	1	1	27	0	0	651	1	1	27	0
2011	0	732	0	0	27	0	0	732	0	0	27	0
2012	0	819	0	0	27	0	0	819	0	0	27	0
2013	0	953	0	0	27	0	0	953	0	0	27	0
2014	0	1104	0	0	27	0	0	1104	0	0	27	0
2015	0	1401	0	0	27	0	0	1401	0	0	27	0
2016	0	1582	2	1	65	0	0	1582	2	1	65	0
2017	0	1992	2	9	65	31	0	2037	2	2	65	0
2018	0	2515	1	12	65	74	0	2615	2	1	65	0
2019	0	3234	2	9	65	64	0	3320	2	1	65	0
2020	0	4073	1	10	65	101	0	4073	0	0	65	0
2021	0	5072	2	13	65	181	0	4659	2	1	65	0
2022	0	6443	1	11	65	177	0	4661	0	0	65	0
2023	0	8137	2	9	65	171	0	4661	1	0	65	0
2024	0	10219	1	9	65	182	0	5097	0	0	65	0
2025	0	11969	1	39	65	894	0	5097	0	0	65	0
2026	0	15483	0	15	65	678	0	5097	0	0	65	0
2027	0	16425	0	60	65	3317	0	5969	1	0	65	0
2028	0	23490	0	31	65	1526	0	10762	1	0	65	1
2029	0	30131	0	13	65	1154	0	16425	0	4	65	92
2030	0	35498	0	49	65	3150	0	17296	0	12	65	1160

PLTN pertama kali beroperasi tahun 2020 dengan kapasitas 100 MW dan pada tahun 2030 kapasitasnya menjadi 2700 MW. Berdasarkan Tabel 7, diketahui bahwa PLTN tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> (emisi yang dihitung dalam studi ini hanya emisi pada saat produksi listrik saja).

Perbandingan emisi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan antara studi kasus industrialisasi dengan nuklir dan tanpa nuklir ditunjukkan oleh Gambar 7. Tidak ada perbedaan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan antara studi kasus industrialisasi tanpa nuklir dan industrialisasi dengan nuklir sebelum tahun 2020. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 7. Perbedaan emisi CO<sub>2</sub> terjadi mulai tahun 2020 dimana pada waktu itu PLTN mulai beroperasi dan dari tahun ke tahun jumlahnya terus bertambah. Hal tersebut menunjukkan bahwa PLTN sangat efektif untuk mendukung program pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. Pembangunan PLTN sebesar 2700 MW akan menurunkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 52% pada tahun 2030.



**Gambar 7. Emisi CO<sub>2</sub> Total per Tahun Studi Kasus Industrialisasi**

Apabila empat studi kasus dibandingkan, akan terlihat bahwa studi kasus yang menggunakan nuklir mempunyai emisi CO<sub>2</sub> yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan studi kasus yang tidak menggunakan nuklir. Hal tersebut menunjukkan PLTN adalah pembangkit yang ramah lingkungan.

#### **4. KESIMPULAN**

Pembangunan PLTN akan berimplikasi pada penurunan emisi CO<sub>2</sub> dari sistem pembangkitan listrik. Pada akhir tahun studi (2030), PLTN mempunyai kapasitas 400 MW untuk studi kasus RUPTL dan 2700 MW untuk studi kasus industrialisasi. Jika dibandingkan antara opsi nuklir dengan opsi tanpa nuklir, pada tahun 2030 emisi CO<sub>2</sub> akan berkurang sebesar 34,81% untuk kasus RUPTL dan 52,25% untuk kasus industrialisasi.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. NURMAINI, "Peningkatan Zat-Zat Pencemar Mengakibatkan Pemanasan Global", USU Repository, 2001, repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/3697/1/fkm-nurmaini3.pdf, diakses April 2011.
- [2]. BUDI, R. F. S., SUPARMAN, "Studi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Wilayah Bangka Belitung Dengan Opsi Nuklir", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir Tahun 2011, PPEN BATAN, Jakarta, 2011.
- [3]. SUGIYONO, A., "Peran PLTN dalam Mendukung Komitmen Pemerintah untuk Mengurangi Emisi CO<sub>2</sub>", Prosiding Seminar Pengembangan Energi Nuklir Tahun 2010, hal.199-206, PPEN BATAN, Jakarta, 2010.
- [4]. UNDP, "Indonesia: Microturbine Cogeneration Technology Application Project", United Nation Development Program, USA, 2007.
- [5]. AKAGI, S. K., YOKELSON, R. J., et al., "Emission Factors for Open and Domestic Biomass Burning for Use in Atmospheric Models", Atmos.Chem.Phys., European Geoscience Union, 2011.

- [6]. MARTIN, J. R., "Biomass Energy Economics", Western Forest Economists 43<sup>rd</sup> annual Meeting, 2008, <http://www.masonbruce.com/wfe/2008Program/martin.pdf>, diakses April 2011.
- [7]. AMITAYANI, E. S., FINAHARI, I. N., SUPARMAN, "Pengurangan Emisi Dalam Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkitan Wilayah Batam Dengan Opsi Nuklir", Prosiding Seminar Pengembangan Energi Nuklir Tahun 2010, hal. 316-323, PPEB BATAN, Jakarta, 2010.
- [8]. PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung, "Rencana Penyediaan Tenaga Listrik 2010-2019" PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung", PT. PLN (Persero) Wilayah Bangka Belitung, 2009.
- [9]. IAEA, "Expansion Planning for Electrical Generating System: A Guide Book", International Atomic Energy Agency, Vienna, 1984.
- [10]. PT. PLN (PERSERO), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2010-2019", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2010.