

ANALISIS ASPEK LINGKUNGAN PADA OPTIMASI PERENCANAAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN JAWA-MADURA-BALI DENGAN OPSI NUKLIR

Arief Heru Kuncoro, Edwaren Liun, Scorpio Sri Herdinie, Nuryanti

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) - BATAN

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

Telp./Fax: (021) 5204243, Email: ariefher@batan.go.id

Masuk: 19 Oktober 2009

Direvisi: 30 Oktober 2009

Diterima: 1 Desember 2009

ABSTRAK

ANALISIS ASPEK LINGKUNGAN PADA OPTIMASI PERENCANAAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKITAN JAWA-MADURA-BALI DENGAN OPSI NUKLIR. Telah dilakukan analisis aspek lingkungan terhadap hasil optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jawa-Madura-Bali (Jamali) dengan periode studi 2007-2030, yaitu berupa perhitungan total emisi CO₂ dan SO₂. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui kontribusi PLTN dalam menekan emisi gas CO₂ maupun SO₂ pada perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali. Opsi nuklir diusulkan sebagai sebuah upaya mencari alternatif bahan bakar pembangkitan yang lebih ramah lingkungan. Dalam penelitian ini dikembangkan tiga skenario: Skenario-1 (optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali, dengan tidak ada pembatasan terhadap kandidat pembangkit yang dikompetisikan); Skenario-2 (skenario tanpa opsi nuklir), dan Skenario-3 (skenario dengan pembatasan penambahan unit PLTN). Diperoleh hasil bahwa PLTN berkontribusi menekan emisi gas CO₂ sekitar 7,36% pada skenario-1 dan sekitar 3,16% pada skenario-3. Selain itu, PLTN juga berkontribusi menekan emisi gas SO₂ sekitar 9,47% pada skenario-1 dan sekitar 2,62% pada skenario-3.

Kata kunci: aspek lingkungan, emisi gas CO₂ dan SO₂, sistem pembangkitan Jamali, opsi nuklir

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL ASPECT ANALYSIS ON OPTIMIZATION OF JAWA-MADURA-BALI GENERATION SYSTEM EXPANSION PLANNING WITH NUCLEAR OPTION. An environmental aspect analysis has been done for the optimization result of Jamali generation system expansion planning with study period 2007-2030, particularly on the calculation of total emission of CO₂ and SO₂. The main purpose of this research is to understand the nuclear power plants contribution to reduce CO₂ and SO₂ emissions. Nuclear option is recommended as an effort to explore alternative fuel for electricity generation that is more environmentally friendly. Three scenarios were developed: Scenario-1 (optimization of Jamali generation system expansion planning without limitation on candidate plants), Scenario-2 (scenario without nuclear option) and Scenario-3 (scenario with nuclear limitation). The result shows that nuclear contributes on suppressing CO₂ emission about 7,36% on Scenario-1 and 3,16% on Scenario-3. Nuclear also contributes on suppressing SO₂ emission about 9,47% on Scenario-1 and 2,62% on Scenario-3.

Keywords: environmental aspect, CO₂ and SO₂ emission, Jamali generation system, nuclear option

1. PENDAHULUAN

Pada akhir Desember 2008, Indonesia mempunyai total kapasitas terpasang listrik PLN sebesar 25.593,92 MW, dengan sekitar 72,42%-nya berada di Jawa. Beban puncak Indonesia pada tahun 2008 tercatat sebesar 21.120 MW, sedangkan beban puncak sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (Jamali) mencapai angka 16.301 MW^[1].

Kebutuhan energi listrik diperkirakan terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi, peningkatan kesejahteraan dan pertambahan jumlah penduduk. Berdasar Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2008-2027, asumsi makro yang digunakan untuk menyusun prakiraan kebutuhan listrik nasional adalah pertumbuhan ekonomi berkisar 6,1% per tahun dan pertumbuhan penduduk sekitar 1,3 % per tahun, sehingga permintaan energi listrik nasional periode 2008–2027 diperkirakan akan tumbuh rata-rata sekitar 9,2% per tahun. Sedang untuk Jamali diperkirakan permintaan energi listrik tumbuh sekitar 10% per tahun^[2]. Pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang diproyeksikan terus meningkat ini harus diantisipasi sedini mungkin agar pasokan energi listrik dapat tersedia dalam jumlah yang memadai. Program Percepatan Pembangkit 10.000 MW Tahap I dan II, merupakan salah satu upaya PLN untuk memenuhi permintaan listrik di Indonesia^[3].

Produksi energi listrik telah berkontribusi dalam memacu pertumbuhan ekonomi. Namun ketergantungan sektor listrik terhadap penggunaan bahan bakar fosil (batubara, minyak bumi dan gas) telah menyebabkan penurunan kualitas lingkungan akibat emisi polutan yang dihasilkannya, seperti gas karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (N₂O) dan sulfur dioksida (SO₂). Gas CO₂ merupakan salah satu dari enam jenis gas rumah kaca (GRK) yang menjadi pemicu terjadinya pemanasan global, sedangkan SO₂ merupakan gas yang dapat mengiritasi sistem pernafasan dan menyebabkan terjadinya hujan asam^[4,5]. Tahun 2006, DESDM mencatat bahwa sektor pembangkit listrik berkontribusi sekitar 27% terhadap bauran emisi CO₂ per sektor^[6]. Paradigma pembangunan berkelanjutan membutuhkan penyediaan energi pada harga yang terjangkau, berkelanjutan dan ramah lingkungan^[7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar peran PLTN dalam menurunkan laju emisi gas CO₂ dan SO₂. Analisis dilakukan dengan bantuan paket program *Wien Automatic System Planning* (WASP) IV dengan mengambil periode studi 2007-2030. Opsi nuklir diusulkan sebagai sebuah upaya untuk mencari alternatif bahan bakar pembangkitan listrik yang lebih ramah lingkungan. Inti penelitian ini adalah melakukan perhitungan total emisi CO₂ dan SO₂ yang ditimbulkan oleh pembangkit-pembangkit listrik yang ada ditambah pembangkit kandidat hasil optimasi pada sistem pembangkitan Jamali. Perhitungan dilakukan terhadap ketiga skenario yang ditetapkan dan selanjutnya hasil perhitungan ketiga skenario tersebut dibandingkan. Dengan membandingkan hasil analisis dari ketiga skenario tersebut, maka akan diketahui kontribusi PLTN dalam menekan emisi gas CO₂ maupun SO₂ pada sistem pembangkitan Jamali.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian aspek lingkungan ini dijelaskan pada Gambar 1. Penelitian ini merupakan bagian dari studi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali dengan opsi nuklir. Analisis aspek lingkungan, khususnya perhitungan emisi CO₂ dan SO₂ dilakukan terhadap hasil optimasi.

2.1. Optimasi Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkitan Dengan WASP.

Optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali dengan opsi nuklir adalah suatu simulasi berbantuan paket program komputer WASP untuk mencari upaya yang paling optimal guna memenuhi kebutuhan listrik di Jawa, Madura dan Bali

sesuai kebutuhan, pada waktu yang tepat, dan pada tingkat keselamatan & keandalan yang diinginkan dengan harga semurah mungkin.

Dalam penelitian ini digunakan WASP versi ke-4 (WASP IV) untuk optimasi pengembangan sistem pembangkitan yang optimasinya dievaluasi berdasarkan biaya total minimum^[8].

Setiap kemungkinan rangkaian urutan penambahan unit pembangkit pada sistem dan kendala-kendalanya dievaluasi dengan memakai fungsi obyektif yang komposisinya ^[8] sebagai berikut:

- Biaya investasi modal (I)
- Nilai sisa (*salvage value*) (S)
- Biaya bahan bakar (F)
- Biaya penyimpanan (*inventory*) bahan bakar (L)
- Biaya operasi dan perawatan diluar bahan bakar (M)
- Biaya energi tak terlayani (*energy not Served*) (Q)

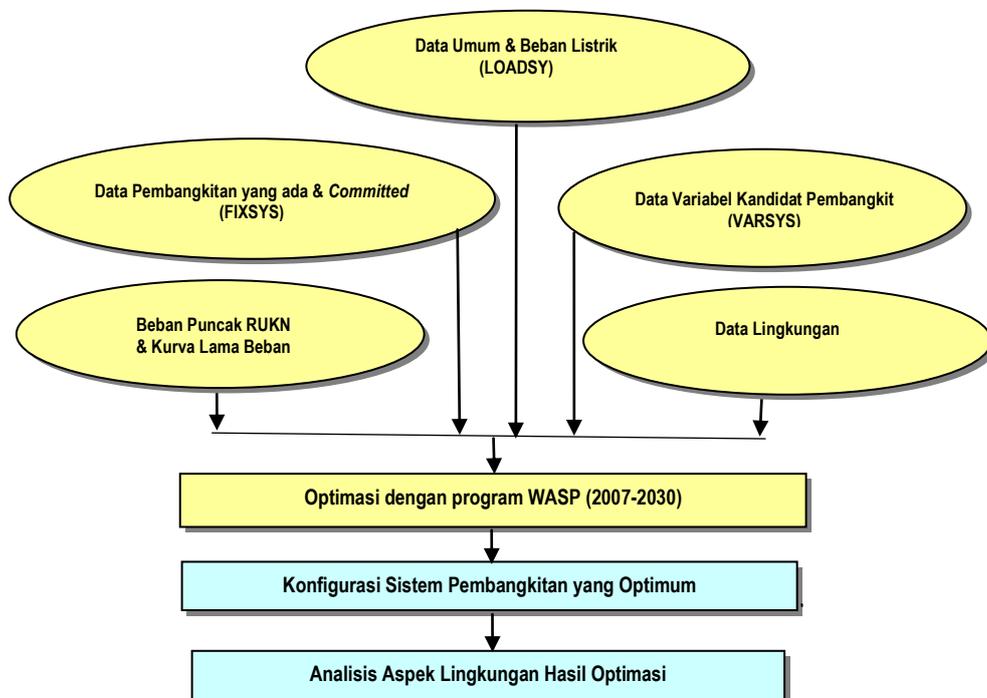
Persamaan fungsi biaya yang dievaluasi dengan WASP^[8] adalah:

$$B_j = \sum_{t=1}^T [\bar{I}_{j,t} - \bar{S}_{j,t} + \bar{F}_{j,t} + \bar{L}_{j,t} + \bar{M}_{j,t} + \bar{Q}_{j,t}] \quad (1)$$

dengan:

- B_j : Fungsi obyektif dari perencanaan pengembangan,
- t : Periode waktu dalam tahun (1, 2, 3, ..., T),

Sedangkan garis di atas simbol-simbol tersebut menyatakan nilai terdiskon yang mengacu ke tahun referensi dengan *discount rate* i .



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Optimasi pengembangan kapasitas pembangkit pada suatu sistem kelistrikan dilakukan secara *least cost*, yaitu dengan meminimumkan fungsi obyektif yang terdiri dari: (biaya kapital + biaya bahan bakar + biaya O&M + biaya *Energy Not Served – salvage value*).

Perencanaan pengembangan optimal didefinisikan sebagai:

$$\text{Minimum } B_j \text{ dari semua } j. \quad (2)$$

2.2. Aspek Lingkungan dari Pembangkitan Listrik.

Pada prinsipnya jika bahan bakar fosil dibakar maka akan mengeluarkan emisi (gas buang), diantaranya CO₂, SO_x dan NO_x. Dalam penelitian analisis aspek lingkungan dari pembangkit listrik ini, ditekankan pada perhitungan total emisi CO₂ dan SO_x dengan menggunakan program WASP.

Untuk emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari pembangkit listrik dihitung berdasarkan reaksi pembakaran sebagai berikut^[9]:

- Untuk pembangkit berbahan bakar gas alam, reaksi pembakaran yang terjadi adalah:



Presentase berat karbon(C) pada gas alam yang dipakai untuk pembangkit listrik yaitu sebesar 76%.

- Untuk pembangkit berbahan bakar BBM, reaksi pembakaran yang terjadi adalah:



Presentase berat karbon (C) pada BBM yang digunakan pada pembangkit listrik yaitu sebesar 85,5% untuk HSD (*High Speed Diesel*) dan 84% untuk minyak bakar (MFO_ *Marine Fuel Oil*).

- Untuk pembangkit berbahan bakar batubara,. Reaksi pembakaran yang terjadi adalah :



Presentase berat karbon(C) pada batubara yang dipakai untuk pembangkit listrik yaitu sebesar 76%.

Adapun emisi gas SO₂ dari pembangkit listrik dihitung berdasarkan reaksi pembakaran sebagai berikut:

- Untuk pembangkit berbahan bakar BBM, reaksi pembakaran yang terjadi adalah:



Presentase berat sulfur(S) pada BBM yang digunakan pada pembangkit listrik yaitu sebesar 1,2% untuk HSD dan 3,5% untuk MFO.

- Untuk pembangkit berbahan bakar batubara, reaksi pembakaran yang terjadi adalah :



Presentase berat Sulfur (S) pada batubara yang digunakan pada pembangkit listrik yaitu sebesar 1%.

- Untuk pembangkit berbahan bakar gas alam dan nuklir, diasumsikan tidak ada emisi SO₂.

Tabel 1 merupakan data masukan aspek lingkungan untuk modul VARSYS dan REMERSIM dalam program WASP, yang meliputi konsumsi bahan bakar (dalam Ton/GWh), emisi CO₂ dan SO₂ (dalam % berat bahan bakar).

**Tabel 1. Data Masukan Konsumsi Bahanbakar, dan
Emisi CO₂ & SO₂ (Terhadap Prosen Berat Bahanbakar)^[9,10].**

No.	Nama Pembangkit	Jenis Bahanbakar	Konsumsi Bahanbakar (Ton/GWh)	SO ₂ % berat	CO ₂ % berat
1	C10H	Batubara	428,37	1	76
2	LNG	LNG	241,07	0	76
3	N10H	Uranium	0,00278	0	0
4	G200	HSD	273,87	1.2	85.5
5	CC75	Gas	241,07	0	76
6	GE55	Panasbumi	0	0	0
7	C300	Batubara	428,37	1	76
8	C600	Batubara	428,37	1	76

2.3. Skenario.

Dalam penelitian ini ditetapkan 3 skenario. **Skenario-1**, merupakan optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali, dengan tidak ada pembatasan terhadap kandidat pembangkit yang dikompertisikan. **Skenario-2**, merupakan skenario tanpa opsi nuklir, dan **Skenario-3**, merupakan skenario dengan pembatasan penambahan unit PLTN, dengan penambahan maksimum sampai akhir tahun studi dibatasi hanya 4 unit.

3. PEMBAHASAN

3.1. Hasil Optimasi Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkitan

Optimasi pengembangan sistem pembangkitan Jamali dilakukan untuk mencari konfigurasi pembangkitan yang optimum dengan bantuan program WASP IV. Data yang diperlukan sebagai masukan bagi program ini diantaranya: proyeksi beban (berdasarkan RUKN 2008-2027), data teknis dan ekonomi pembangkit-pembangkit yang ada (*existing*) maupun yang dalam tahap perencanaan (*committed*), serta data pembangkit yang dikompertisikan^[1,2,3,9,10,11]. Dalam studi ini diasumsikan ada 10 kandidat pembangkit yang menjadi masukan untuk modul VARSYS (*Variable System*) dari program WASP, yaitu: PLTU Batubara 1000 MW (C10H), PLT-LNG 750 MW (LNG), PLTN 1000 MW (N10H), PLTG BBM 200 MW (G200), PLTGU Gas 750 MW (CC75), PLTP 55 MW (GE55), PLTU batubara 300 MW (C300), PLTU Batubara 600 MW (C600), PLTA 80 MW (HYD1) dan PLTA 250 MW (PUMP). Dari 10 kandidat tersebut, yang dikompertisikan secara penuh adalah: C10H, LNG, N10H, G200 dan CC75. Sedangkan pengembangan 5 pembangkit yang lain (GE55, C300, C600, HYD1 dan PUMP) didasarkan pada kebijakan (*mandatory*).

Tabel 2 memuat total penambahan kapasitas kandidat pembangkit hasil optimasi sistem pembangkitan Jamali pada akhir tahun studi (2030) untuk masing-masing skenario. Hasil optimasi pada semua skenario menunjukkan bahwa PLTU-Batubara sangat dominan untuk memenuhi permintaan energi listrik pada sistem pembangkitan Jamali. Pada akhir tahun studi, total kapasitas kandidat PLTU-Batubara untuk Skenario-1 akan mencapai sekitar 100.800 MW(63,39%) yang terdiri atas: 81 unit PLTU Batubara 1000 MW, 22 unit PLTU Batubara 300 MW dan 22 unit PLTU Batubara 600 MW. Sedangkan pada Skenario-2 dan Skenario-3, total kapasitas kandidat PLTU-Batubara akan mencapai sekitar 124.800 MW(78,56%) yang terdiri atas: 105 unit PLTU Batubara 1000 MW, 22 unit PLTU Batubara 300 MW dan 22 unit PLTU Batubara 600 MW.

PLTN 1000 MW yang selama ini masih menjadi alternatif terakhir dalam memasok energi listrik di Indonesia ternyata cukup kompetitif terhadap kandidat pembangkit lainnya. Hasil Skenario-1 menunjukkan bahwa pada akhir tahun studi, PLTN akan memasok energi listrik dalam sistem pembangkitan Jamali dengan total kapasitas terpasang sekitar 23.000 MW (14,46%), sedangkan pada Skenario-3 PLTN dapat berkontribusi memasok energi listrik dalam sistem pembangkitan Jamali sekitar 4.000 MW (2,52%).

Tabel 2. Total Penambahan Kapasitas Calon Pembangkit Hasil Optimasi Sistem Pembangkitan Jamali pada Akhir Tahun Studi (2030)

Jenis Pembangkit	Jenis Bahan bakar	Daya (MW)	Skenario-1			Skenario-2			Skenario-3		
			Unit	Total Kapasitas		Unit	Total Kapasitas		Unit	Total Kapasitas	
				MW	%		MW	%		MW	%
C10H	Batubara	1000	81	81.000	50,94	105	105.000	66,10	105	105.000	66,10
LNG	LNG	750	0	0	0,00	0	0	0,00	1	750	0,47
N10H	Nuklir	1000	23	23.000	14,46	0	0	0,00	4	4.000	2,52
G200	HSD	200	76	15.200	9,56	74	14.800	9,32	69	13.800	8,69
CC75	Gas	750	18	13.500	8,49	17	12.750	8,03	12	9.000	5,67
GE55	Panasbumi	55	58	3.190	2,01	58	3.190	2,01	58	3.190	2,01
C300	Batubara	300	22	6.600	4,15	22	6.600	4,15	22	6.600	4,15
C600	Batubara	600	22	13.200	8,30	22	13.200	8,31	22	13.200	8,31
HYD1	Air	80	4	320	0,20	4	320	0,20	4	320	0,20
PUMP	Air	250	12	3.000	1,89	12	3.000	1,89	12	3.000	1,89
TOTAL				159.010	100,00		158.860	100,00		158.860	100,00

3.2. Analisis Perhitungan Emisi Gas CO₂ dan SO₂

Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan total emisi gas CO₂ pada sistem pembangkitan Jamali selama tahun periode studi berdasar jenis bahan bakar pembangkitan. Emisi dihitung dari pembangkit-pembangkit yang ada (*existing*) maupun penambahan kapasitas kandidat pembangkit hasil optimasi. Dari ketiga skenario diperoleh total emisi gas CO₂ selama periode studi, yaitu: 4.947.082 kiloton pada Skenario-1, 5.339.888 kiloton pada Skenario-2 dan 5.171.220 kiloton pada Skenario-3. Terlihat bahwa porsi terbesar emisi CO₂ pada sistem pembangkitan Jamali dihasilkan oleh pembangkit berbahan bakar batubara, disusul kemudian oleh pembangkit berbahan bakar gas.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Total Emisi CO₂ Selama Tahun Periode Studi Berdasar Jenis Bahan Bakar Pembangkitan

Jenis Bahan Bakar Pembangkitan	Skenario 1		Skenario 2		Skenario 3	
	kiloton	%	kiloton	%	kiloton	%
Batubara	4.442.027	89,79	4.835.035	90,55	4.716.427	91,21
Gas	432.946	8,75	432.709	8,10	382.670	7,40
LNG	0	0,00	0	0,00	43	0,001
MFO	6.236	0,13	6.236	0,12	6.236	0,12
HSD	65.873	1,33	65.908	1,23	65.844	1,27
Panas Bumi	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Nuklir	0	0,00	0	0,00	0	0,00
TOTAL	4.947.082	100	5.339.888	100	5.171.220	100

Total emisi CO₂ terbesar terjadi pada Skenario-2 (skenario tanpa opsi nuklir), sedangkan emisi CO₂ yang terendah terjadi pada Skenario-1. Munculnya PLTN berdaya 1000 MW sebanyak 23 unit sampai akhir periode studi pada Skenario-1 mampu menekan jumlah emisi CO₂ sebanyak 392.806 kilo ton (sekitar 7,36%) dibandingkan dengan jika PLTN

tidak dipertimbangkan (Skenario-2). Adapun jika PLTN tetap dipertimbangkan untuk muncul tetapi dibatasi jumlahnya hanya 4 unit sampai akhir periode studi (Skenario-3), total emisi CO₂ tetap berkurang dibandingkan dengan jika PLTN tidak dipertimbangkan (Skenario-2) yaitu terjadi pengurangan emisi CO₂ sebanyak 168.668 kilo ton (sekitar 3,16%).

Sementara itu, Tabel 4 memuat hasil perhitungan total emisi gas SO₂ pada sistem pembangkitan Jamali selama periode studi berdasar jenis bahan bakar pembangkitan. Dari ketiga skenario diperoleh total emisi gas SO₂ selama periode studi, yaitu: 49.116 kiloton pada Skenario-1, 54.252 kiloton pada Skenario-2 dan 52.830 kiloton pada Skenario-3. Sama seperti emisi gas CO₂, terlihat bahwa porsi terbesar emisi SO₂ pada sistem pembangkitan Jamali juga dihasilkan oleh pembangkit berbahan bakar batubara.

Total emisi SO₂ terbesar terjadi pada Skenario-2, sedangkan emisi SO₂ yang terendah terjadi pada Skenario-1. Munculnya PLTN berdaya 1000 MW sebanyak 23 unit sampai akhir periode studi pada Skenario-1 mampu menekan jumlah emisi SO₂ sebanyak 5.136 kiloton (sekitar 9,47%) dibandingkan dengan jika PLTN tidak dipertimbangkan (Skenario-2). Adapun jika PLTN tetap dipertimbangkan untuk muncul tetapi dibatasi jumlahnya hanya 4 unit sampai akhir periode studi (Skenario-3), total emisi SO₂ tetap berkurang dibandingkan dengan jika PLTN tidak dipertimbangkan (Skenario-2) yaitu terjadi pengurangan emisi SO₂ sebanyak 1.422 kiloton (sekitar 2,62%).

Tabel 4. Hasil Perhitungan Total Emisi SO₂ Selama Tahun Periode Studi Berdasar Jenis Bahan Bakar Pembangkitan

Jenis Bahan Bakar Pembangkitan	Skenario 1		Skenario 2		Skenario 3	
	kiloton	%	kiloton	%	kiloton	%
Batubara	49.112	99,99	54.248	99,99	52.827	99,99
Gas	0	0,00	0	0,00	0	0,00
LNG	0	0,00	0	0,00	0	0,00
MFO	0	0,00	0	0,00	0	0,00
HSD	4	0,01	4	0,01	3	0,01
Panas Bumi	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Nuklir	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	49.116	100	54.252	100	52.830	100

3.3. Analisis Trend Emisi Gas CO₂ dan SO₂

Tabel 5 memuat hasil perhitungan total emisi gas CO₂ dan SO₂ tiap tahun selama periode studi (2007-2030). Tabel tersebut menunjukkan total emisi CO₂ yang dihasilkan pada masing-masing skenario selama periode studi. Terlihat bahwa pada tahun-tahun awal periode studi (2007-2019), emisi CO₂ yang dihasilkan oleh masing-masing skenario jumlahnya adalah sama. Perbedaan mulai terjadi pada tahun 2020 ketika PLTN mulai muncul dalam optimasi perencanaan pengembangan pembangkitan pada sistem kelistrikan Jamali, yaitu pada Skenario-1 dan Skenario-3. Sejak tahun 2020 sampai akhir periode studi, *trend* emisi CO₂ pada Skenario-2 dan Skenario-3 (skenario dengan pembatasan jumlah unit PLTN) cenderung meningkat dan *trend* emisi CO₂ yang paling tinggi terjadi pada Skenario-2. Sedangkan *trend* emisi CO₂ pada Skenario-1 terlihat lebih landai. Hal ini menunjukkan bahwa PLTN telah memberikan kontribusi dalam menekan jumlah emisi CO₂.

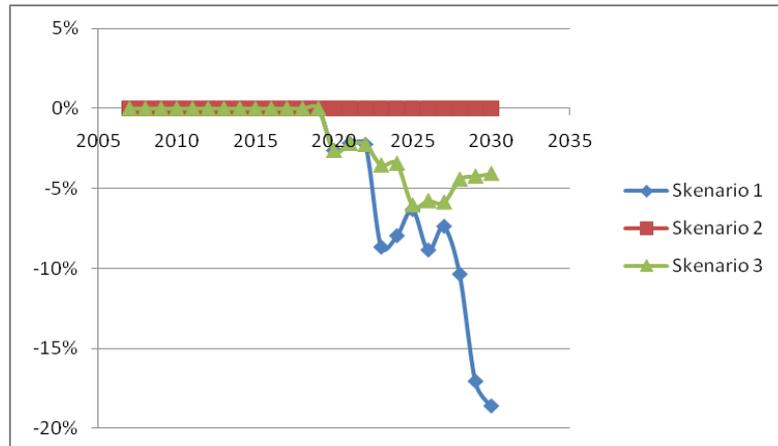
Sedangkan untuk total emisi SO₂ yang dihasilkan pada masing-masing skenario selama periode studi, terlihat bahwa pada tahun-tahun awal periode studi (2007-2019), emisi SO₂ yang dihasilkan pada masing-masing skenario jumlahnya adalah sama. Perbedaan mulai terjadi pada tahun 2020 ketika PLTN mulai muncul dalam optimasi perencanaan pengembangan pembangkitan pada sistem kelistrikan Jamali, yaitu pada Skenario-1 dan Skenario-3. Sejak tahun 2020 sampai akhir periode studi, *trend* emisi SO₂ pada Skenario-2

dan Skenario-3 cenderung meningkat dan *trend* emisi SO₂ yang paling tinggi terjadi pada Skenario-2. Sedangkan *trend* emisi SO₂ pada Skenario-1 terlihat lebih landai. Hal ini menunjukkan bahwa selain berkontribusi dalam menekan emisi gas CO₂, PLTN juga berkontribusi dalam menekan jumlah emisi gas SO₂.

Tabel 5. Hasil Perhitungan total Emisi Gas CO₂ dan SO₂ (kTon) per Tahun

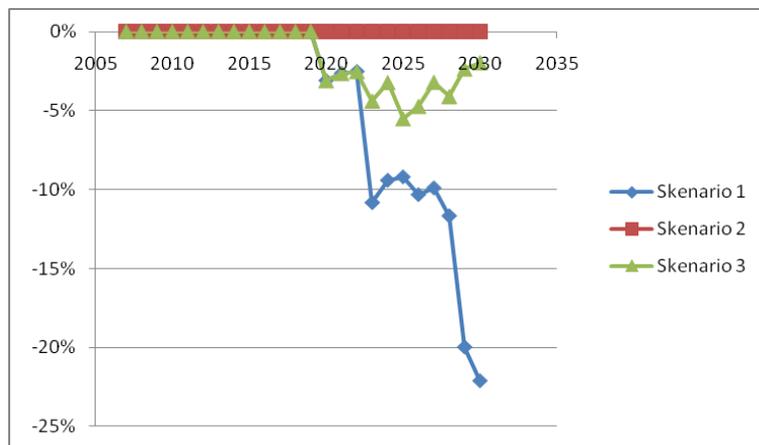
Tahun	Emisi CO ₂ (kTon)			Emisi SO ₂ (kTon)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
2007	86.532	86.532	86.532	490	490	490
2008	100.224	100.224	100.224	499	499	499
2009	96.102	96.102	96.102	498	498	498
2010	75.556	75.556	75.556	512	512	512
2011	68.730	68.730	68.730	522	522	522
2012	79.117	79.117	79.117	680	680	680
2013	89.399	89.399	89.399	761	761	761
2014	100.039	100.039	100.039	866	866	866
2015	114.081	114.081	114.081	1.086	1.086	1.086
2016	127.103	127.103	127.103	1.322	1.322	1.322
2017	141.497	141.497	141.497	1.348	1.348	1.348
2018	154.695	154.695	154.695	1.608	1.608	1.608
2019	172.965	172.965	172.965	1.829	1.829	1.829
2020	188.884	193.989	188.884	1.996	2.060	1.996
2021	214.397	219.194	214.397	2.203	2.263	2.203
2022	240.076	245.618	240.076	2.464	2.528	2.464
2023	249.691	273.435	263.762	2.518	2.824	2.700
2024	279.905	304.147	293.694	2.922	3.226	3.122
2025	319.882	341.516	320.880	3.264	3.595	3.397
2026	344.641	378.163	356.355	3.680	4.104	3.910
2027	394.008	425.415	400.475	4.046	4.491	4.347
2028	416.476	464.694	444.115	4.494	5.088	4.879
2029	428.503	516.762	494.873	4.557	5.695	5.560
2030	464.578	570.915	547.670	4.951	6.357	6.232
Total	4.947.082	5.339.888	5.171.220	49.116	54.252	52.830

Gambar 2 menunjukkan suatu perbandingan pengurangan jumlah CO₂ yang dikeluarkan (dalam %) antara Skenario-1 dan Skenario-3 terhadap Skenario-2. Dalam grafik tersebut terlihat bahwa masuknya PLTN (pada Skenario-1 dan Skenario-3) sangat berpengaruh terhadap pengurangan jumlah CO₂ yang dikeluarkan, yaitu antara 2,63% sampai 18,63% untuk Skenario-1 dan antara 2,63% sampai 6,04% untuk Skenario-3 setiap tahunnya. Grafik untuk Skenario-3 memperlihatkan bahwa prosentase pengurangan jumlah CO₂ terlihat nilainya mengecil setelah tahun 2025, karena PLTN yang bisa masuk dibatasi maksimum hanya 4 unit sampai akhir tahun studi.



Gambar 2. Perbandingan Pengurangan Jumlah CO₂ yang Dikeluarkan (dalam %) Tiap Tahun Antara Skenario-1 dan 3 Terhadap Skenario-2.

Sedangkan Gambar 3 menunjukkan suatu perbandingan pengurangan emisi SO₂ (dalam %) antara Skenario-1 dan Skenario-3 terhadap Skenario-2. Dalam grafik tersebut terlihat bahwa masuknya PLTN (pada Skenario-1 dan Skenario-3) sangat berpengaruh terhadap pengurangan jumlah emisi SO₂, antara 2,53% sampai 22,12% untuk Skenario-1 dan antara 2,53% sampai 5,51% untuk Skenario-3 setiap tahunnya. Grafik untuk Skenario-3 memperlihatkan bahwa prosentase pengurangan jumlah SO₂ terlihat nilainya mengecil setelah tahun 2025, karena PLTN yang bisa masuk dibatasi maksimum hanya 4 unit sampai akhir tahun studi.



Gambar 3. Perbandingan Pengurangan Jumlah SO₂ yang Dikeluarkan (dalam %) Tiap Tahun Antara Skenario-1 dan Skenario-3 Terhadap Skenario-2.

4. KESIMPULAN

Hasil optimasi perencanaan pengembangan sistem pembangkitan Jamali selama periode studi (2007-2030) memperlihatkan bahwa kontribusi PLTU-Batubara sangat dominan. Pada akhir tahun studi (2030), total kapasitas kandidat pembangkit PLTU-Batubara untuk Skenario-1 akan mencapai sekitar 100.800 MW (63,39%), sedangkan untuk Skenario-2 dan Skenario-3 akan mencapai sekitar 124.800 MW(78,56%). Berdasarkan hasil eksekusi optimasi, pada akhir tahun studi, PLTN dapat memasok energi listrik dalam sistem Jamali dengan total kapasitas terpasang sekitar 23.000 MW (14,46% dari total kapasitas

kandidat pembangkit pada sistem) untuk Skenario-1 dan sekitar 4.000 MW (2,52%) untuk Skenario-2.

Analisis aspek lingkungan terhadap emisi CO₂ dan SO₂ menunjukkan bahwa munculnya PLTN berdaya 1000 MW sebanyak 23 unit sampai akhir periode studi pada Skenario-1 mampu menekan jumlah emisi gas CO₂ sekitar 7,36% dan gas SO₂ sekitar 9,47% dibandingkan dengan total emisi yang terjadi jika PLTN tidak dipertimbangkan (Skenario-2). Sedangkan skenario pembatasan jumlah unit PLTN yaitu hanya 4 unit sampai akhir periode studi (Skenario-3) mampu menekan jumlah emisi gas CO₂ sekitar 3,16% dan gas SO₂ sekitar 2,62% dibandingkan dengan total emisi yang terjadi jika PLTN tidak dipertimbangkan (Skenario-2).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero), "Statistik PLN 2008", PLN, Jakarta, 2009.
- [2] DESDM, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2008-2027", DESDM, Jakarta, 2008.
- [3] PT. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2009-2018", PLN, Jakarta, 2008.
- [4] SUPRAYITNO, "Atmosfer dan Pemanasan Global", PPPGT/VEDC, Malang, 1999.
- [5] RIAN TO, A., "Dampak Pencemaran SO₂", <http://ahmadchem.blogspot.com>. Diakses tanggal 11 Januari 2010.
- [6] DESDM, "Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2007", DESDM, Jakarta, 2008.
- [7] JALAL, A. I., "Energy Indicators for Sustainable Development–EISD", IAEA, Viena, 2005.
- [8] IAEA, "Wien Automatic System Planning (WASP) Package, A Computer Code for Power Generating System Expansion Planning Version User's Manual", IAEA, Vienna, 2001.
- [9] FINAHARI, I. N., "Potensi, Dampak dan Pengendalian Emisi Gas CO₂ dari Pembangkit Berbahan Bakar Fosil", PPEN-BATAN, Jakarta, 2007.
- [10] BATAN, "Basisdata WASP untuk Sistem Kelistrikan Jawa-Madura-Bali", Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN), BATAN, Jakarta, 2009.
- [11] PT. PLN (Persero), "Data Teknis dan Ekonomi Sistem Pembangkitan Jawa-Madura-Bali", Divisi Perencanaan Sistem, PLN, Jakarta, 2009.