

**INTEGRASI ASPEK LINGKUNGAN DALAM PERENCANAAN  
PENGEMBANGAN SISTEM TENAGA LISTRIK**

Suparman

**Abstrak**

**INTEGRASI ASPEK LINGKUNGAN DALAM PERENCANAAN PENGEMBANGAN SISTEM TENAGA LISTRIK.** Optimasi dengan menggunakan program WASP hanya menghasilkan solusi optimum dari sudut pandang ekonomi. Hasil optimasi ini perlu dilakukan analisis lebih lanjut seperti analisis dampak lingkungan. Analisis penggabungan antara optimasi dari segi biaya pengembangan dan dari segi biaya lingkungan dengan mengacu ke metode yang dikembangkan oleh ANL dan IAEA telah dilakukan. Metode ini diterapkan untuk menganalisis pengurangan emisi SO<sub>2</sub> pada pengembangan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Hasilnya menunjukkan bahwa kasus introduksi PLTN lebih menguntungkan dibandingkan dengan kasus penerapan peralatan proteksi lingkungan (FGD).

**Abstract**

**INTEGRATED ENVIRONMENTAL ASPECT IN THE ELECTRIC SYSTEM EXPANSION PLANNING.** Optimization using WASP program only produce optimum solution from economic point of view. This result was necessary to be further analyzed by including environmental impacts analysis. An integrated optimization analysis of expansion investment and environmental point of view by referring to the method developed by ANL and IAEA has been done. This method was applied to analyze SO<sub>2</sub> emission reduction in the Jawa-Bali electrical power system. The result shows that nuclear power plant introduction case was more beneficial than environmental protection application (FGD) case.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu dimensi baru di dalam analisis sistem energi pada umumnya dan dalam perencanaan sistem tenaga listrik pada khususnya adalah keinginan yang semakin meluas untuk memasukkan masalah lingkungan hidup secara terpisah dari pertimbangan efisiensi ekonomi. Perubahan sikap tersebut telah mengakibatkan kesulitan baru pada analisis sistem mengingat kedua tujuan tersebut satu sama lain tidak dalam proporsi yang seimbang bahkan saling bertentangan.

Tradisi dalam melakukan perencanaan energi adalah menentukan sasaran utama yang akan dioptimalkan seperti biaya terendah (*least cost*), memaksimalkan pemasukan dan meningkatkan keandalan. Sejak krisis minyak tahun 1973, cara optimasi tidak lagi menggunakan sasaran tunggal, tetapi beralih pada sasaran jamak, yang merupakan kombinasi antara sumber daya energi, kondisi perekonomian dan dampak lingkungan.

Sampai saat ini pada sektor tenaga listrik, dampak lingkungan belum dimasukkan ke dalam perhitungan ongkos produksi listrik. Optimasi pengembangan tenaga listrik hanya berdasarkan biaya terendah. Di negara-negara maju dikenal adanya biaya lingkungan untuk emisi atau adanya pajak emisi. Biaya ini dikenakan pada perusahaan pembangkit listrik terhadap besarnya emisi yang dikeluarkan. Biaya ini oleh pemerintah akan digunakan untuk menangani dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh emisi-emisi yang dihasilkan pembangkit listrik.

Dalam tulisan ini, dengan mengacu ke metode yang dikembangkan oleh ANL (*Argonne National Laboratory*) dan Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) <sup>[1]</sup>, mencoba menggabungkan antara optimasi biaya terendah dan biaya lingkungan. Optimasi biaya terendah diperoleh dengan menjalankan WASP (*Wien Automatic System Planning Package*) sedangkan biaya lingkungan dihitung dengan modul IMPACTS. Modul IMPACTS akan menghitung besarnya beban lingkungan dari konfigurasi pembangkit yang dihasilkan program WASP.

Metode ini diterapkan untuk menganalisis usaha pengurangan emisi SO<sub>2</sub> pada pengembangan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Hasil studi ini diharapkan dapat dikembangkan untuk analisis dampak lingkungan secara menyeluruh dengan menggunakan perangkat yang lebih komprehensif seperti program DECADES.

## II. DASAR TEORI

Keluaran dari WASP yang memberikan informasi tentang masuknya proyek-proyek pembangkit ke dalam sistem, boleh jadi merupakan solusi yang optimum dari sudut pandang ekonomi, yang masih harus mempertimbangkan faktor-faktor lainnya seperti: kemampuan pendanaan, pengaruh terhadap lingkungan, kebutuhan bahan bakar, kebutuhan sumber daya

manusia, dan lain-lainnya. Dengan demikian faktor-faktor ini akan memberikan umpan balik kepada rencana pengembangan pembangkit semula yang didapat dari program WASP, sehingga akan diperoleh rencana pengembangan sistem tenaga listrik yang bukan hanya optimum secara ekonomi, namun juga secara nyata dapat diterapkan dan berwawasan lingkungan. Proses perencanaan di atas tidak mungkin dilakukan oleh sebuah *single computer model*, akan tetapi melalui tahapan yang saling berkelanjutan dan beriterasi.

Secara umum proses perencanaan dengan mempertimbangkan berbagai faktor dapat dibedakan dalam 2 tahapan, yaitu tahap pertama adalah tahap optimasi secara ekonomi dan tahap kedua adalah tahap analisis secara terintegrasi.

Pada tahap pertama perencanaan berkonsentrasi untuk mendapatkan rencana pengembangan sistem tenaga listrik yang secara ekonomi paling optimum dan memenuhi tingkat keandalan yang telah ditentukan. Program pengembangan pembangkit yang merupakan keluaran dari program WASP ini merupakan *single busbar model*, yaitu dengan menganggap bahwa permintaan (*demand*) dan seluruh fasilitas pembangkit terpusat pada satu titik, maka perlu dilanjutkan dengan analisis lokasi pembangkit yang akan menjadi masukan bagi program pengembangan sistem transmisinya.

Pada tahap kedua, setelah diperoleh solusi secara ekonomi yang optimal dari program pengembangan pembangkit dan program pengembangan transmisi, perencana harus menganalisis secara lebih terperinci hasil-hasil dari program pengembangan tersebut. Tujuan dilakukan analisis secara terperinci ini adalah untuk mendapatkan sebuah solusi pengembangan sistem tenaga listrik yang layak secara ekonomi dan memenuhi karakteristik finansial dari perusahaan serta berwawasan lingkungan, dan dari segi pengoperasiannya dapat dimanfaatkan secara optimal.

Analisis yang dilakukan pada tahapan ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis stabilitas pengoperasian:

Berdasarkan pengoperasiannya harus ada jaminan frekuensi listrik tetap stabil dalam hal unit pembangkit terbesar yang sedang beroperasi dalam sistem yang tidak beroperasi (*outage*) karena mengalami gangguan. Analisis ini akan memberikan umpan balik mengenai ukuran unit (*unit size*) kepada program pengembangan pembangkit semula.

2. Kebutuhan bahan bakar

Komposisi bahan bakar harus sejalan dengan kebijaksanaan pemerintah dalam bidang energi. Di samping itu kebutuhan bahan bakar ini harus ditunjang oleh ketersediaan bahan bakar itu sendiri dan kesiapan infrastruktur.

3. Analisis finansial

Analisis finansial dilakukan agar solusi pengembangan sistem tenaga listrik yang diusulkan dari segi pendanaannya layak untuk diimplementasikan dan akan memberikan keuntungan yang nyata bagi perusahaan, yang akhirnya merupakan kontribusi bagi pengembangan perekonomian negara secara menyeluruh.

4. Analisis kebutuhan sumber daya manusia

Total kebutuhan sumber daya harus dapat dipenuhi dan masih dalam jangkauan kemampuan perusahaan.

5. Analisis dampak lingkungan

Dalam proses optimasi tidak diperhitungkan dampak dari proyek-proyek pembangkit yang akan masuk ke sistem tenaga listrik. Untuk itu perlu dihitung dampak lingkungan yang akan dihasilkan.

Hasil analisis ini akan menjadi umpan balik, misalnya mengubah solusi optimal awal (pertama) menjadi solusi yang lain (kedua). Analisis di atas dianjurkan untuk dilakukan tidak hanya pada solusi yang optimal saja, tetapi juga diterapkan pada solusi yang sub-optimal, sehingga akan membuka peluang yang lebih luas yang setiap alternatif pengembangannya akan dapat saling berkompetisi.

Sampai saat ini belum ada suatu *tools* yang terintegrasi yang dapat melakukan optimasi dan analisis seperti tersebut di atas secara sekaligus. Beberapa perangkat (*tools*) analisis berdasarkan optimasi telah dicoba dikembangkan dan diusahakan untuk diintegrasikan. IAEA telah mengembangkan analisis finansial dari hasil optimasi WASP yang dinamakan FINPLAN. Program FINPLAN melakukan perhitungan secara ekonomi dari segi kesehatan perusahaan dengan adanya rencana masuknya proyek-proyek pembangkit baru. Namun sayangnya program ini tidak bisa digabungkan dengan program WASP dalam program yang terintegrasi. Hal ini dikarenakan program FINPLAN ditulis dalam bentuk *spreadsheet*.

Program analisis yang lain dari IAEA adalah untuk analisis dampak lingkungan, yaitu IMPACTS. Program ini merupakan salah satu modul dalam program *ENergy Power Evaluation Program* (ENPEP). Program IMPACTS menghitung beban lingkungan dari konfigurasi pengembangan pembangkit yang dihasilkan oleh program WASP. Beban lingkungan yang dapat dihitung IMPACTS antara lain: polutan udara (emisi SO<sub>2</sub>, Nox, CO<sub>2</sub> dll.), limbah, penggunaan tanah dll.<sup>[2]</sup> Dalam perkembangannya IAEA menggabungkan kedua program ini menjadi program yang terintegrasi yang dinamakan dengan DECADES.

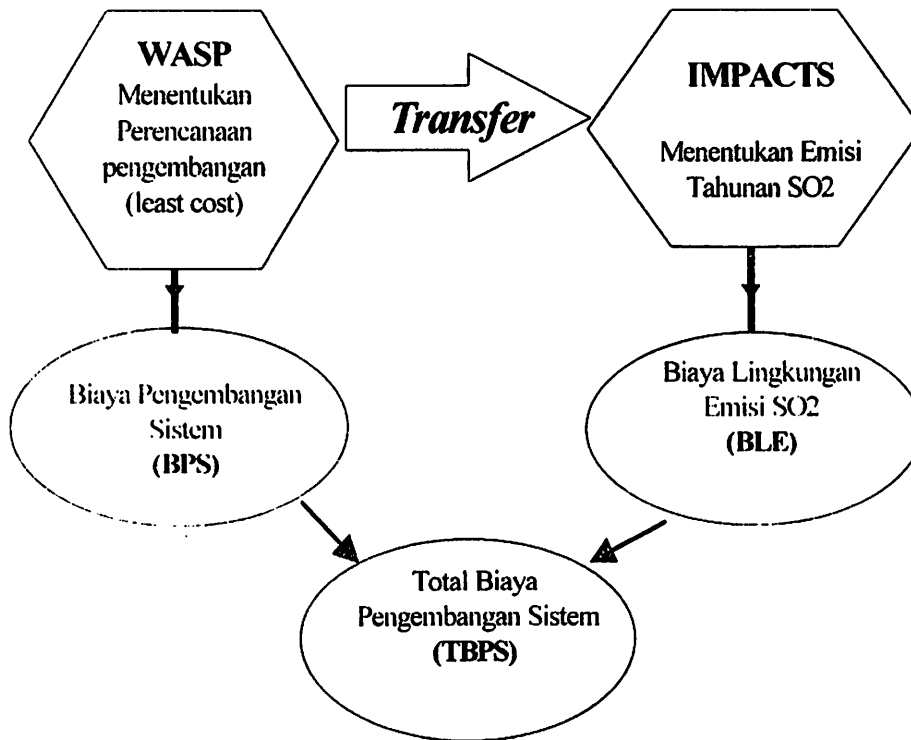
### III. TATA PELAKSANAAN

Integrasi optimasi pengembangan sistem tenaga listrik dan analisis dampak lingkungan untuk sistem tenaga listrik Jawa-Bali dilakukan dengan menggunakan dua buah modul dari program ENPEP yaitu WASP dan IMPACTS. WASP dipergunakan untuk membuat perencanaan pengembangan pembangkit yang optimal berdasarkan kaidah biaya terendah. Sedangkan modul IMPACTS dipergunakan untuk menghitung dampak lingkungan yaitu besarnya polutan SO<sub>2</sub> dari setiap pembangkit setiap tahun selama periode studi.

Sedangkan langkah-langkah yang dilakukan untuk menganalisis pengembangan sistem tenaga listrik terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Menjalankan WASP untuk menentukan perencanaan pengembangan sistem dengan kaidah biaya terendah. WASP menggunakan teknik optimasi biaya untuk memprogram jadwal pembangunan yang memenuhi kebutuhan listrik dengan batasan-batasan yang ditentukan pada biaya pengembangan sistem pembangkit yang minimum dari setiap kasus yang dibuat ( $BPS_n$ ). BPS dinyatakan dari nilai kini (*present value*) dengan suatu *discount rate* tertentu.
2. Hasil dari WASP yaitu jadwal pembangunan pembangkit beserta data pembangkit seperti kapasitas unit, laju pembangkitan panas (*heat rate*) dan konsumsi bahan bakar ditransfer ke program IMPACTS. IMPACTS akan menghitung emisi  $SO_2$  tahunan untuk setiap kasus ( $E_n$ ) pada setiap pembangkit. Dengan emisi  $SO_2$  tahunan (ton/tahun) untuk seluruh sistem pembangkit, kemudian dihitung suatu besaran Biaya Lingkungan Emisi (BLE)  $SO_2$  yang dinyatakan dalam US\$. BLE dihitung dengan mengalikan emisi  $SO_2$  tahunan ( $E_n$ ) dengan suatu parameter spesifik Biaya Lingkungan Emisi  $SO_2$  ( $h$ ) yang dinyatakan dalam US\$/ ton  $SO_2$
3. Berdasarkan kedua hasil tersebut yaitu Biaya Pengembangan Sistem (BPS) dan Biaya Lingkungan Emisi  $SO_2$  (BLE) yang digabungkan menghasilkan Biaya Total Pengembangan Sistem (BTPS). Biaya Total Pengembangan Pembangkit ini merupakan fungsi dari BPS yang ditentukan dengan WASP dan BLE yang ditentukan dengan IMPACTS. BTPS ditentukan dari setiap kasus yang dibuat dan kasus yang mempunyai nilai BTPS terendah adalah kasus yang paling ekonomis. Permasalahan tersebut dapat dinyatakan dalam suatu persamaan sebagai berikut:

$$\min (BTPS_n(c)) = \min (BPS_n + h \times E_n) \quad (1)$$



Gambar 1. Penggabungan antara Hasil dari WASP dan IMPACTS

Biaya lingkungan emisi spesifik (h) yang digunakan sebagai faktor pembobot, di beberapa negara maju dikenal sebagai externalities cost (biaya eksternal). Di Amerika Serikat dikenal adanya pajak emisi yang besarnya untuk suatu negara berbeda dengan negara lain. [3] Pajak ini merupakan biaya yang dikenakan kepada perusahaan listrik atas emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil pembangkit listriknya. Sebagai gambaran besarnya pajak emisi untuk partikel, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Besarnya Pajak Emisi di Beberapa Negara Bagian Amerika

Emisi	Pajak emisi untuk negara bagian (1989 \$/ton)*		
	New York	Nevada	California
Partikel	573,2	4607,8	948,0
SO <sub>2</sub>	903,9	1719,7	1190,5
Nox	1962,2	7495,9	3218,8
CO <sub>2</sub>	2,2	24,3	7,7

\* kecuali untuk Nevada US\$ tahun 1990

Sumber : O. Hohmeyer & R.L. Ottinger (Eds), Social Cost of Energy, Present Status and Future Trends, Proceedings of an International Conference, Held at Racine, Wisconsin, September 8-11, 1992

#### **IV. ANALISIS HASIL**

Dalam makalah ini dibuat tiga kasus pengembangan sistem tenaga listrik Jawa-Bali. Kasus pertama merupakan kasus dasar (*base case*). Dalam kasus ini pemilihan jenis pembangkit yang akan dikonteskan tidak mempertimbangkan aspek lingkungan. Kasus kedua dibuat dengan memasukkan penerapan peralatan proteksi lingkungan pada PLTU batubara, yaitu peralatan untuk mengurangi  $SO_2$  (*Flue Gas Desulfurization*, FGD). Kasus ketiga dibuat dengan memasukkan teknologi pembangkit bersih lingkungan sebagai pembangkit pilihan. Teknologi pembangkit yang dipilih adalah PLTN. Periode studi mengambil dari tahun 1995 sampai 2015 dan sebagai tahun dasarnya adalah tahun 1995.

##### **IV.1. Biaya Pengembangan Sistem Tenaga listrik**

Biaya pengembangan sistem tenaga listrik merupakan fungsi tujuan (*objective function*) dari program WASP. Program WASP akan mencari konfigurasi yang paling optimal sehingga diperoleh biaya pengembangan sistem tenaga listrik yang semurah mungkin. Biaya pengembangan sistem tenaga listrik ini terdiri dari : biaya investasi, nilai sisa (*salvage value*), biaya bahan bakar dan biaya operasi dan perawatan.

Suatu pembangkit yang murah adalah pembangkit yang investasi atau biaya modalnya rendah dan juga ongkos pembangkitan listriknya rendah. Ongkos pembangkitan sangat dipengaruhi oleh biaya bahan bakar dan biaya operasi dan perawatan. Tetapi sayangnya hampir tidak ada jenis pembangkit yang dapat memenuhi dua kriteria tersebut secara bersamaan. Jika ongkos pembangkitannya rendah biasanya diperlukan investasi yang tinggi. begitu sebaliknya jika diperlukan investasi yang tinggi maka ongkos pembangkitannya rendah. Sebagai contoh adalah PLTN yang memerlukan biaya investasi yang tinggi dibandingkan dengan pembangkit termal lainnya, tetapi ongkos pembangkitan PLTN lebih rendah dibandingkan pembangkit termal lainnya.

Berdasarkan eksekusi modul varsys dari program WASP untuk pembangkit-pembangkit yang dikonteskan (*variable system*) terlihat bahwa PLTN menempati urutan pertama termurah ongkos pembangkitannya. *Integrated Gasification Combined Cycle* (IGCC) di urutan kedua kemudian PLTU batubara, *combined cycle*, geotermal dan yang termahal adalah turbin gas.

Hasil program WASP memperlihatkan bahwa biaya pengembangan kasus introduksi PLTN lebih rendah daripada kasus kasus FGD. Hal ini disebabkan penerapan FGD akan meningkatkan baik biaya investasi maupun biaya operasi dan perawatan sebesar 10-12%. Hasil selengkapnya dari biaya pengembangan sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Tabel 2

**Tabel 2.** Biaya Pengembangan dan Emisi SO<sub>2</sub> dari Berbagai Kasus

Kasus	Biaya Pengembangan Sistem tenaga listrik (ribu \$)	Emisi SO <sub>2</sub> (ton)
Dasar	49.859.808	4.841.253,95
FGD	50.589.904	4.549.656,53
Introduksi PLTN	50.052.968	4.815.678,05

#### IV.2. Emisi SO<sub>2</sub>

Strategi yang dipakai untuk mengurangi emisi SO<sub>2</sub> selain dengan penerapan peralatan kontrol lingkungan dan FGD adalah introduksi pembangkit yang bersih lingkungan yaitu PLTN.

PLTN adalah pembangkit yang berbahan bakar nuklir. Pembangkit ini sama sekali tidak mengemisikan gas buang ke lingkungan. Semua gas hasil "pembakaran" bahan bakar terkungkung di dalam elemen bahan bakar itu sendiri. Sedangkan penerapan FGD pada pembangkit batubara akan dapat mengurangi emisi SO<sub>2</sub> sampai sebesar 90%.

Hasil eksekusi program IMPACTS memperlihatkan bahwa kasus introduksi PLTN dan penerapan FGD akan mampu mengurangi emisi SO<sub>2</sub> cukup besar dibandingkan dengan kasus dasar

#### IV.3. Penyusunan Rangking Kasus

Kasus yang baik tentunya adalah kasus yang mempunyai biaya pengembangan sistem tenaga listrik yang lebih rendah daripada kasus dasar dan juga mempunyai nilai emisi SO<sub>2</sub> rendah, tetapi antara fungsi biaya dan kualitas lingkungan bersifat saling berlawanan. Artinya untuk mendapatkan emisi SO<sub>2</sub> yang rendah tentunya diperlukan biaya investasi yang tinggi. Untuk itu harus dicari optimalisasi antara biaya pengembangan sistem (BPS) dengan besarnya emisi SO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Di sini diperlukan suatu parameter untuk memberikan penilaian terhadap kasus yang dikembangkan. Parameter yang digunakan sebagai bobot penilaian di sini adalah biaya lingkungan emisi spesifik (h) yang digunakan untuk memberikan harga dari emisi SO<sub>2</sub>

Dalam analisis besarnya biaya lingkungan emisi SO<sub>2</sub> spesifik, diasumsikan harga SO<sub>2</sub> 400 US\$/ton. Harga ini diambil mengacu dari harga *damage cost* SO<sub>2</sub> yang digunakan dalam studi di Turki [1] yaitu sebesar 408 US\$/ton. Berdasarkan penjumlahan kedua hasil program WASP dan IMPACTS didapatkan hasil gabungan berupa biaya total pengembangan sistem (TBPS) seperti tertera pada Tabel 3.

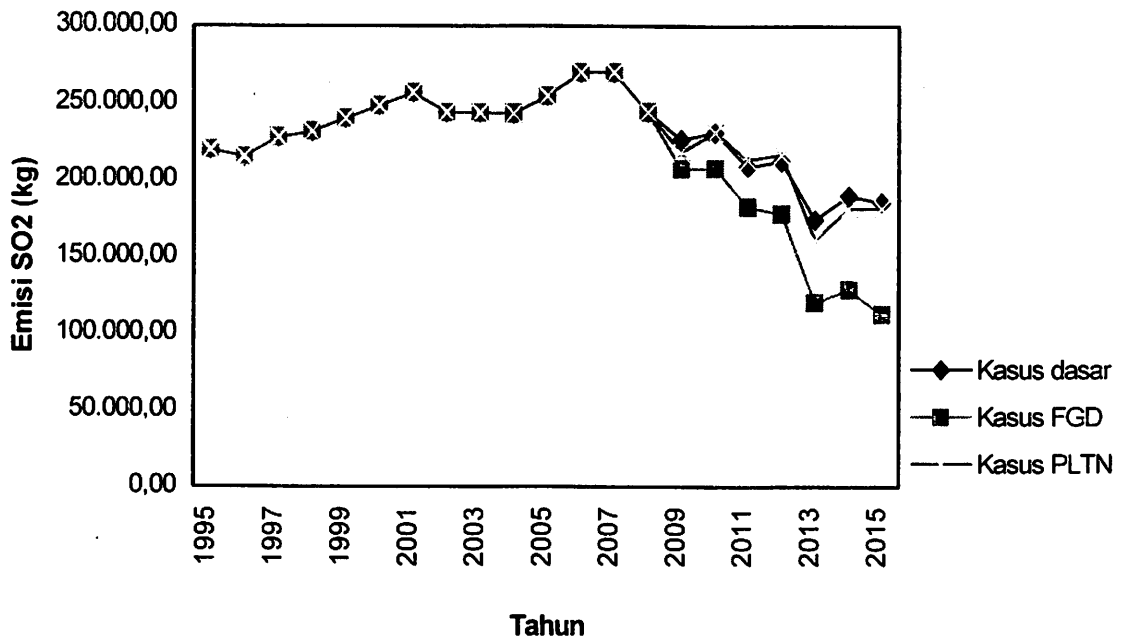
Kasus dasar terlihat masih merupakan solusi yang paling optimal dari segi biaya pengembangan sistem dan biaya lingkungan. Hal ini disebabkan pengurangan emisi SO<sub>2</sub> tidak begitu besar. Berdasarkan hasil pengembangan sistem tenaga listrik, pembangkit-pembangkit yang dikembangkan baru akan masuk ke sistem jaringan setelah tahun 2009. Artinya dari tahun 1995 sampai tahun 2009 tidak ada penambahan pembangkit dari pembangkit yang



dikembangkan (variable system). Berdasarkan emisi SO<sub>2</sub> tahunan tiap-tiap kasus seperti yang termuat dalam Gambar 2 terlihat bahwa pengurangan emisi SO<sub>2</sub> mulai terjadi pada tahun 2009. Jadi tidak begitu besar peran penerapan peralatan proteksi lingkungan dan introduksi pembangkit yang bersih lingkungan mampu mengurangi emisi SO<sub>2</sub>.

**Tabel 3.** Hasil Penjumlahan dari BPS dan BLE

Rangking	Kasus	BPS (ribu US\$)	BLE SO <sub>2</sub> (ribu US\$)	TBPS (ribu US\$)
1	Dasar	49859808	1936501.58	51796309.6
2	Introduksui PLTN	50052968	1926271.22	51979239.2
3	FGD	50589904	1819862.612	52409766.6



**Gambar 2.** Emisi SO<sub>2</sub> Tahunan untuk Berbagai Kasus

## **V. KESIMPULAN**

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada masa datang perlu kiranya dipersiapkan strategi perencanaan pengembangan tenaga listrik yang optimal. Selain mengusahakan listrik dengan biaya murah, dengan optimasi *least cost*, juga harus memperkecil dampak lingkungan. Metode yang dikembangkan oleh ANL dan IAEA yaitu mengintegrasikan aspek lingkungan dalam optimasi pengembangan sistem tenaga listrik, dapat digunakan untuk menyusun strategi perencanaan yang berwawasan lingkungan.

Dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, maka PLTN sebagai salah satu teknologi yang bersih lingkungan akan menjadi pilihan yang baik jika dibandingkan dengan PLTU batubara yang menggunakan peralatan proteksi lingkungan seperti FGD. Hal ini karena penerapan FGD akan meningkatkan biaya investasi, operasi dan perawatan sehingga pada kondisi ini PLTN akan sangat kompetitif dengan PLTU batubara.

## **DAFTAR PUSTAKA**

1. CONZELMAN, Guenter et. al., *Applying Decision Analysis in Support of WASP System Expansion Planning*", Argonne National Laboratory homepage, <http://www.dis.anl.gov/papers/polpaper/polpaper.htm>.
2. *Energy and Power Evaluation Program, ENPEP version 3.0, User's Guide*, IAEA.
3. HOHMEYER, O. & OTTINGER, R.L. (Eds), *Social Cost of Energy, Present Status and Future Trends, Proceedings of an International Conference, Held at Racine, Wisconsin, September 8-11, 1992*.