

PENGGUNAAN PROGRAM DECADES UNTUK PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR EKSTERNALITAS

Arnold Y. Soetrisnanto, Farid Kresna, M. Nasrullah

Abstrak

PENGGUNAAN PROGRAM DECADES UNTUK PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR EKSTERNALITAS. Dalam menghadapi tuntutan untuk peningkatan penerapan sistem energi yang berwawasan lingkungan dan berkelanjutan (*sustainable development*), maka penentuan opsi sistem energi diharapkan dapat menjawab isu tersebut. Oleh karena itu pemilihan teknologi energi perlu didasari atas pertimbangan lingkungan. Program Perencanaan Energi dan Listrik DECADES (*Data Bases and Methodologies for Comparative Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation*) merupakan Program Perencanaan Sistem Kelistrikan yang komprehensif. Tujuan program tersebut untuk merencanakan dan merancang strategi penyediaan energi listrik atas dasar penentuan strategi pemilihan sumber daya energi (*optimal solution*) dengan memperhitungkan batasan-batasan lingkungan yang ketat sampai ke permasalahan kesehatan masyarakat serta pertimbangan eksternalitas (*external cost*) agar tujuan pembangunan berkelanjutan dapat dicapai. Program ini dibuat dalam format Paradox for Windows dengan basis data yang terdiri atas: RTDB - (*Reference Technology Data Base*), CSDB (*Country Specific Data Base*), VSDB - (*Vendor Specific Data Base*), TOXDB (*Toxicology Data Base*) dan HEIES (*Health and Environmental Impact of Energy System*). Seluruh data yang ada dioptimasi dengan modul perencanaan kelistrikan DECPAC dengan mengevaluasi faktor teknik, ekonomi dan lingkungan termasuk eksternalitas (biaya eksternal) untuk berbagai sistim pembangkitan kelistrikan.

Abstract

POWER GENERATING DEVELOPMENT USING DECADE PROGRAM WITH EXTERNALITIES FACTOR TAKING INTO ACCOUNT. The complexity facing today's energy planners and decision-makers, particularly in electricity sector, has increased. They must take into account many elements in selecting technologies and strategies that will impact near term energy development and applications in their countries. While cost remain a key factor, tradeoffs between the demand of environmental protection and economic development will have to be made. This fact, together with the needs of many countries to define their energy and electricity programs in a sustainable manner, has resulted in a growing interest in the applications of improved data, tools, and techniques for comparative assessment of different electricity generation options. Particularly from an environmental and a human health point view. The program on *Data Bases and Methodologies for Comparative Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation*, in short DECADES was developed. For DECADES the types of technology databases were developed using PARADOX format are: RTDB - (*Reference Technology Data Bases*), CSDB (*Country Specific Data Base*), VSDB - (*Vendor Specific Data Base*), TOXDB (*Toxicology Data Base*) and HEIES (*Health and Environmental Impact of Energy System*). These data will be used in analytical software (DECPAC) for evaluating the always existing tradeoffs between technical, economic, and environmental features including externalities (external cost) of different electricity generation technologies.

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini di beberapa negara sedang menghadapi isu mengenai pembangunan yang berkelanjutan. Isu dalam bidang energi adalah pengkajian komparatif dari berbagai sumber daya energi untuk pengembangan pembangkit listrik dalam upaya mendukung pembangunan yang berkelanjutan, dengan cara menentukan strategi pemilihan sumber daya energi (*optimal solution*) agar mencapai tujuan pembangunan tersebut. Paket Program Perencanaan Energi dan Listrik DECADES (*Data Bases and Methodologies for Comparative Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation*) merupakan program perencanaan sistem kelistrikan yang komprehensif bertujuan untuk merencanakan dan merancang strategi penyediaan energi listrik atas dasar konsep penyediaan energi yang lestari dan berkelanjutan dengan prinsip solusi yang optimal dan pertimbangan lingkungan. Paket ini dikembangkan oleh IAEA dan direalisasikan dalam bentuk proyek penelitian yang dilakukan oleh berbagai negara anggotanya. Selain IAEA, proyek ini juga melibatkan kerjasama antar badan-badan dunia lain seperti: EC, ESCAP, IBRD/World Bank, OECD/NEA, IIASA, OPEC, WHO, UNIDO, WMO. Program ini dibuat dalam format Paradox for Windows dengan basis data yang terdiri dari: (1) RTDB - (*Reference Technology Data Base*); (2) CSDB (*Country Specific Data Base*); (3) VSDB - (*Vendor Specific Data Base*); (4) TOXDB (*Toxicology Data Base*) dan (5) HEIES (*Health and Environmental Impact of Energy System*). Seluruh data yang ada dioptimasi dengan modul perencanaan kelistrikan DECPAC yang prinsipnya sama dengan modul WASP/ELECTRIC dari ENPEP, tetapi program ini memperhitungkan batasan-batasan lingkungan yang ketat dan mencakup permasalahan kesehatan masyarakat serta pertimbangan externalitas (*biaya external*).

Studi ini diharapkan dapat menyebar-luaskan penggunaan perangkat lunak DECADES oleh beberapa negara peserta. Metodologi yang digunakan yaitu dengan menerapkan teknik terbaru dalam pemrograman sehingga diharapkan dapat lebih baik dalam menganalisis kebijaksanaan, mengkaji dampak lingkungan dan dampak bagi kesehatan dari penggunaan energi listrik serta lebih baik dalam melakukan pengelolaan sisi kebutuhan (*demand side management*).

II. KONSEP BASIS DATA DALAM PARADOX

Paradox merupakan salah satu perangkat lunak untuk pembuatan basis data menggunakan personal komputer yang menggunakan sistem operasi Windows. Di dalam Paradox dikenal beberapa macam struktur basis data, yaitu :

1. *Field* yang merupakan unit terkecil data dan juga tempat menyimpan informasi.
2. *Record* yang merupakan kumpulan dari *field*.

3. *Table*, kumpulan dari beberapa baris (*record*) dan kolom (*field*) yang disimpan menjadi suatu *file*.
4. *Form*, adalah bentuk format tampilan layar untuk menampilkan dan mengubah data suatu *table*.
5. *Script* yang berisi kode program dan disimpan dalam *file*.
6. *Libraries* merupakan pustaka kode program Paradox.
7. *Queries* merupakan *file* yang berisi teknik untuk memilih tampilan data.
8. SQL adalah kode bahasa *Structured Query Language*.
9. *Report* adalah laporan yang dapat dicetak atau ditampilkan di layar.

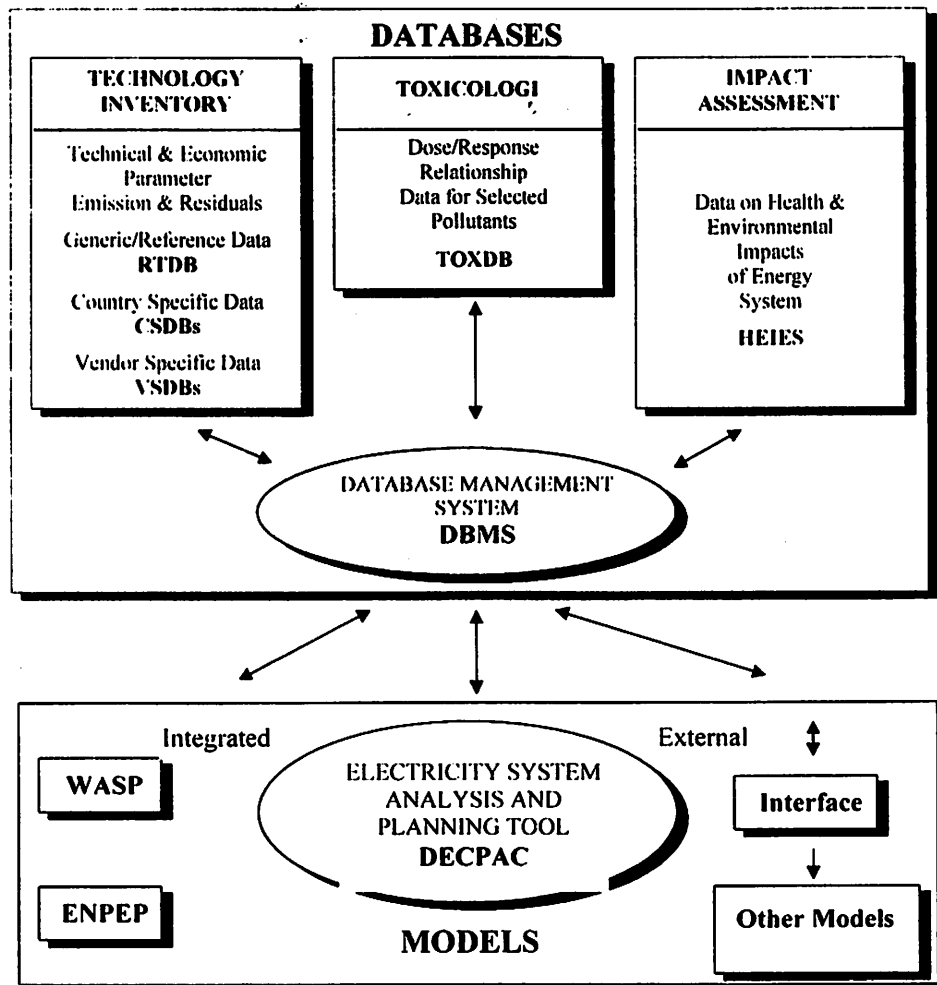
Paradox mempunyai keunggulan karena teknik pemrograman yang digunakan berorientasi obyek yang berbeda dengan bahasa pemrograman tradisional lainnya. Bahasa pemrograman Paradox mempunyai fasilitas sebagai berikut :

1. ObjectPAL adalah bahasa pemrograman di Paradox yang berorientasi obyek.
2. DDE (*Dynamic Data Exchange*) yang merupakan fasilitas untuk pertukaran data dengan program aplikasi Windows yang lain. Paradox dapat menerima data dari program aplikasi lain (sebagai *client*) dan sekaligus dapat mengirim data ke program aplikasi lain (sebagai *server*).
3. OLE (*Object Linking and Embedding*) merupakan fasilitas dalam hubungannya sebagai *client* dari ObjectPAL. Dengan OLE pemakai dapat secara langsung mengakses program aplikasi.

lii. PERANGKAT LUNAK DECADES

III.1. Skema Perangkat Lunak DECADES

Skema dari struktur perangkat lunak DECADES ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen utama meliputi: basis data dan model dan termasuk di dalamnya *interface* untuk pengguna serta format untuk laporan.



Gambar 1. Struktur Program DECADES

Basis data DECADES terdiri atas :

1. Basis Data Teknologi (RTDB: *Reference Technology Data Base*), yang berisi data teknik dan ekonomi untuk pembangkit listrik serta parameter emisi yang ditimbulkan dan dibagi lagi menjadi basis data dasar teknologi.
2. Basis Data Spesifik Negara (CSDB: *Country Specific Data Base*), yang memuat data teknologi pembangkit listrik untuk setiap negara yang berpartisipasi dalam pengembangan perangkat lunak ini. Format datanya sama dengan RTDB.
3. Basis Data Spesifik Vendor (VSDB: *Vendor Specific Data Base*), yang merupakan pengembangan struktur data sebelumnya sehingga mampu sebagai basis data peralatan dan fasilitas yang saat ini sudah beroperasi secara komersial. Basis data ini memuat juga data harga, faktor kesehatan dan karakteristik lingkungan hidup.
4. Basis Data Toksikologi (TOXDB: *Toxicology Data Base*), yang berisi informasi tentang efek serta koefisien yang berhubungan dengan emisi yang ditimbulkan dari penggunaan energi. Partikel racun yang mempunyai dampak terhadap kesehatan dan lingkungan juga termasuk dalam basis data ini. Basis data yang dibuat oleh UNEP (*United Nation Environment*

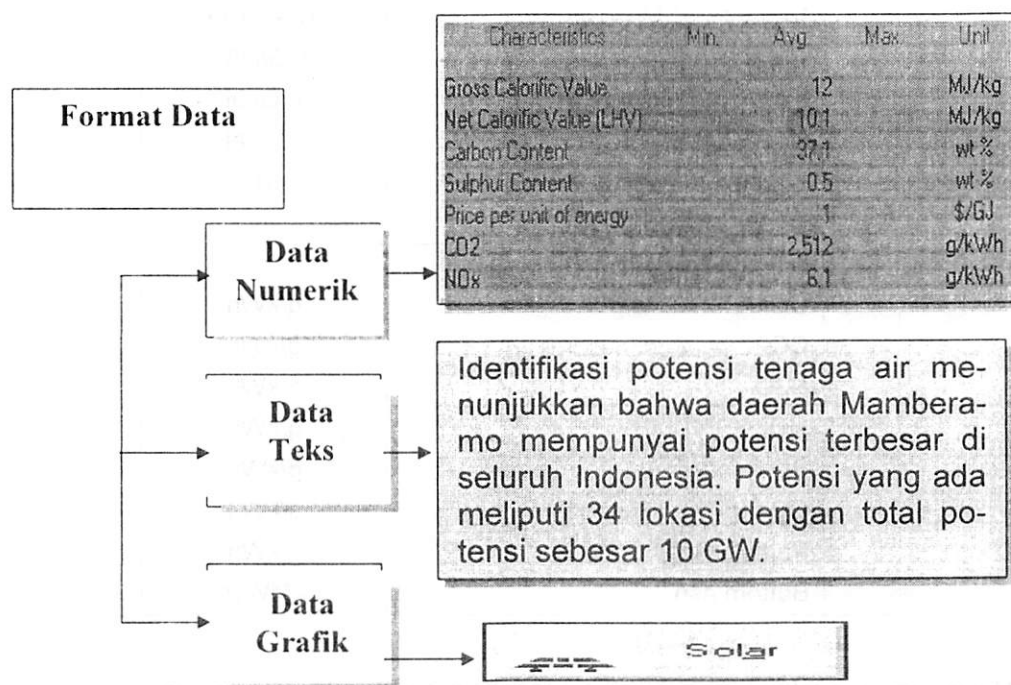
Program) dan WHO (World Health Organization) digunakan sebagai dasar untuk penyusunan database ini.

5. Basis Data Dampak Lingkungan (HEIES: *Health and Environmental Impact of Energy System*), yang berisi informasi tentang kesehatan dan dampak lingkungan dari bermacam-macam pembangkit listrik serta siklus bahan bakar yang digunakannya. Data dikelompokkan berdasarkan risiko yang ditimbulkan dan beberapa data tentang kecelakaan dalam pengoperasian pembangkit listrik dimasukkan dalam basis data ini.

Saat ini belum semua basis data dapat dipergunakan dalam perangkat lunak ini. Beberapa basis data seperti VSDB, TOXDB dan HEIES masih dalam tahap pengembangan.

III. 2. Sumber Energi

Secara umum data dalam perangkat lunak DECADES terbagi menjadi tiga format yaitu data numerik, data teks dan data grafik (Gambar 2). Data numerik berisi angka-angka yang menyatakan nilai suatu karakteristik, data teks dapat berisi penjelasan tentang sumber energi yang sedang dibahas, sedangkan data grafik dapat untuk menampilkan skema ataupun foto-foto dari sumber energi yang bersangkutan.



Gambar 2. Format Data

III.3. Teknologi

Data numerik dalam basis data teknologi dibagi menjadi tiga kelompok yaitu data teknis, data ekonomi dan data lingkungan. Seperti pada data sumber energi, tiap-tiap

parameter numerik mempunyai nilai minimum, rata-rata dan maksimum. Disamping data numerik juga tersedia tempat untuk mengisi karakter yang digunakan untuk menjelaskan asumsi yang dibuat, nilai dalam unit asli, nilai tukar mata uang, dan kualitas informasi yang diperoleh. Karakteristik utama dari basis data teknologi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Basis Data Teknologi

Karakteristik		Unit
1.	Technical	
	Output Capacity (Net)	MWe
	Output Capacity (Min)	MWe
	Equivalent Full Power	h/yr
	Forced Outage	%
	Scheduled Maintenance	days/yr
	Heat Rate – Average Increment	kcal/kWh
	Heat Rate – Min. Load	kcal/kWh
2.	Economic	
	Net Overnight Costs	US\$/kWe
	NOC Domestic Fraction	%
	Fixed O&M Costs	US\$/kWe yr
	Variable O&M Costs	Mills/kWe
	Refurbishment Costs	US\$/kWe
	Fuel Cost (Domestic)	c/Gcal
	Fuel Cost (Foreign)	c/Gcal
	Economic Lifetime	yr
Construction Period	yr	
3.	Environmental	
	CO	g/kWh
	CO ₂	g/kWh
	N ₂ O	g/kWh
	NO _x	g/kWh
	SO _x	g/kWh
	CH ₄	g/kWh
	Particle Solid	g/kWh
Bottom ash	t/MWyr	

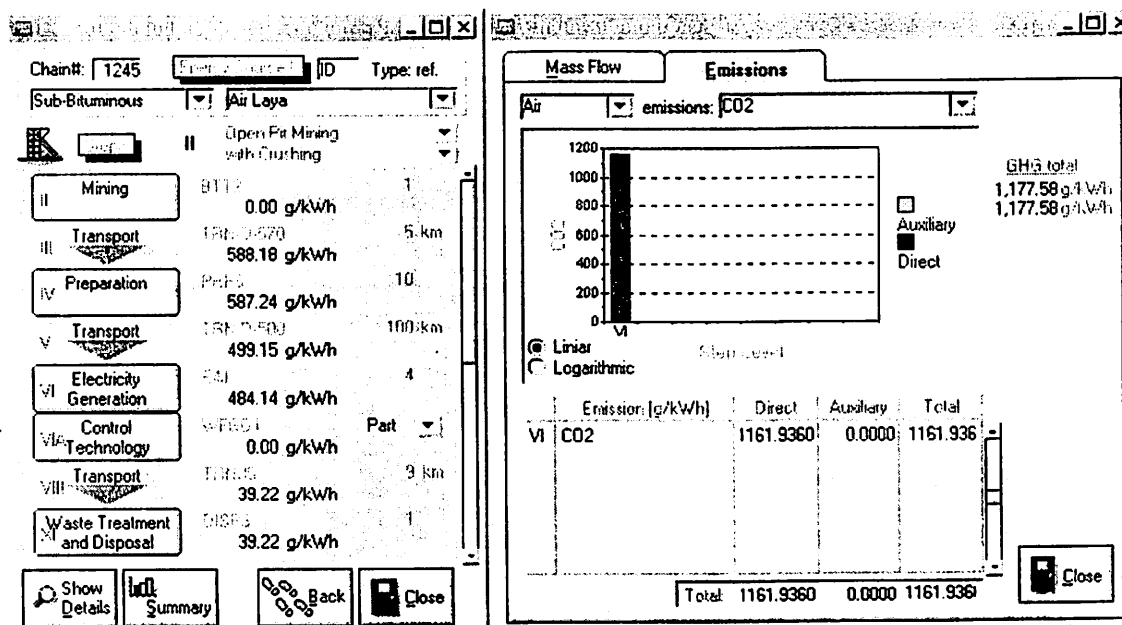
Masing-masing teknologi mempunyai rangking berdasarkan pertimbangan komersial teknologi, rangking-rangking tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkaian Teknologi

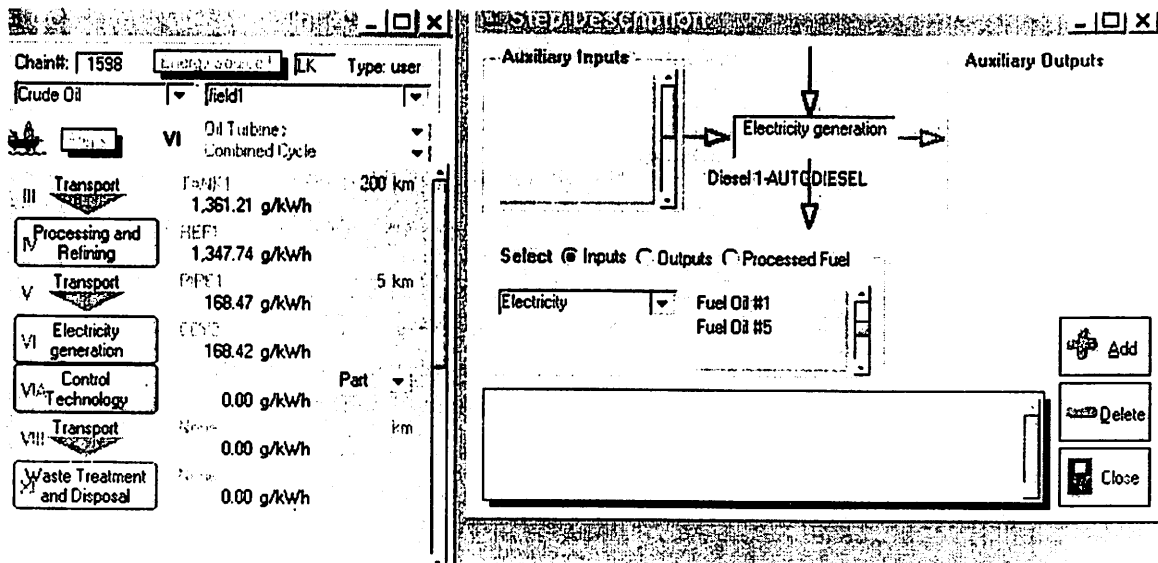
Simbol	Rangking	Keterangan
M	Mature	Sudah secara luas digunakan.
C	Commercial	Penggunaan secara komersial sudah berkembang.
D	Demonstration	Konsep sudah teruji dari unit demonstrasi terpadu.
P	Pilot	Konsep sudah teruji untuk skala pilot kecil.
L	Laboratory	Konsep sudah teruji secara laboratorium dan dalam tahap awal pengembangan perangkat keras.
I	Idea	Belum ada pengembangan perangkat keras.
O	Obsolete	Sudah kuno dan tidak ada proyek baru yang menggunakan teknologi ini.

III.4. Rantai Energi (*Energy Chain*)

Rantai energi terdiri atas beberapa aktivitas yang secara langsung menunjukkan aktivitas pembangkitan energi listrik (Gambar 3 dan 4). Setiap aktivitas dinamakan tahapan (*step*) dari rantai energi. Tahapan dari rantai energi secara umum dapat dibagi menjadi tahapan pembangunan, tahapan produksi dan tahapan dekomisioning.



Gambar 3. Rantai Bahan Bakar Batubara dan Emsisi CO₂



Gambar 4. Rantai Bahan Bakar Minyak

III.5. Material

Data material berisi banyaknya materi yang digunakan dalam pembuatan suatu pembangkit listrik. Material tersebut dapat berupa baja, semen, aluminium, plastik, dan lain-lain. Dengan menerapkan konstanta emisi untuk setiap unit materi tersebut maka dapat ditentukan emisi tidak langsung dari pembangkit tenaga listrik (Gambar 5).

Combustion and Emission Factors								
Plant:	E4J	Fuel Used:	Air Laya	Flue Gas Volume:	9.31 m ³ /kg			
Flue Gas @:	3 % vol O ₂	Plant Efficiency:	34 %					
Emission Factors		Heavy Metals						
Pollutant	Raw Gas mg/Nm ³	Inherent Control %	Abatement %	Clean Gas mg/Nm ³	E-Factor g/kg	E-Factor g/GJ	E-Factor g/kWh	E-Factor g/kWh
CO ₂	257677.35	5		244793.48	2279.98	104251.5	1103.84	1103.84
SO ₂	2145.15	0	0	2145.15	19.98	913.565	9.673	9.673
NO _x	997.94	0	0	997.94	9.295	425	4.5	4.5
Ash	9662.98	20	99.5	38.65	.36	16.46	0.174	0.174
HCl	11.04	0	0	11.04	0.103	4.702	0.05	0.05
HF	0	0	0	0	0	0	0	0.04
CO	249.49	0	0	249.49	2.324	106.25	1.125	1.125
CH ₄	74.96	0	0	74.96	0.698	31.922	0.338	0.338
NMVOC	74.96	0	0	74.96	0.698	31.922	0.338	0.338
N ₂ O	5.1	0	0	5.1	0.048	2.172	0.023	0.023
GHG								

Legend: Values from DB, Calculated Values, Calculated from DB or Inputed Values

Gambar 5. Rantai Bahan Bakar Minyak

III.6. Eksternalitas

Eksternalitas merupakan suatu konsep ekonomi, yang berupa biaya atau manfaat yang timbul dari suatu aktivitas ekonomi, akan tetapi belum dipertimbangkan dalam struktur biaya atau harga dan tidak merefleksikan harga pasar. Efek dari faktor tersebut diluar dari sistim biaya, dimana harga tidak mempertimbangkan sesuatu yang mengakibatkan kerugian pada pihak ketiga secara tidak langsung sehingga dikategorikan eksternalitas. Hal yang perlu dicatat adalah tidak semua biaya harus mencerminkan eksternalitas, dan tidak semua faktor tersebut merupakan biaya.

Externalitas mencakup 2 karakteristik yaitu:

1. Biaya yang timbul yang bukan diakibatkan dari sumber emisi, akan tetapi dari daerah sekitarnya, sehingga menimbulkan kerugian bagi manusia dan ekosistem yang bukan dari hasil perbuatannya.
2. Biaya yang merefleksikan harga barang, atau produsen penghasil emisi, jadi selama dia tidak diharuskan membayar kompensasi atas kemungkinan dampak dari aktivitas produksi energinya, maka masyarakat yang bukan penyebab polusi akan terganggu kemakmurannya.

Permasalahan ini oleh IAEA sudah dimasukkan ke dalam agenda 21, sehingga dengan externalitas (biaya external) kita bisa memprediksi dan memasukan biaya external untuk masing-masing PLT yang mempunyai satuan mills US\$/kwh ke dalam komponen biaya pembangkitan. Eksternalitas terjadi ketika kegiatan konsumsi/produksi dari suatu individu/perusahaan mempunyai dampak yang tidak diinginkan terhadap utilitas/fungsi produksi individu/perusahaan lain. Eksternalitas itu bisa juga merupakan dampak yang dirasakan oleh pihak ketiga yang diakibatkan oleh suatu kegiatan transaksi/kegiatan ekonomi tertentu. Namun dalam pembahasan ini lebih terfokus pada dampak samping yang negatif.

Dalam program DECADES pemodelan untuk menghitung eksternalitas bersifat eksogen, atau dikerjakan diluar model tersebut. Suatu paket program *Query*, telah dikembangkan oleh IAEA untuk menghitung faktor tersebut, yang prinsipnya didasari atas prinsip kesepadanan/paritas Daya Beli (*Purchasing Power Parity*). Langkah-langkah untuk menghitung biaya eksternal adalah dengan menentukan dan mencari masing-masing data yang akan digunakan dalam perhitungan, antara lain:

1. Karakteristik Sumber
 1. Sumber Lokasi (kota atau desa)
 2. Jenis sumber
 3. Parameter cerobong (tinggi, *exhaust flow*, suhu gas)
 4. Polutan emisi
 5. Abu terbang, SO₂ dan NO₃, akibat pengoperasian pembangkit listrik (bila dapat dikuantifikasi).

2. Penyebaran Polusi Udara

Penyebaran polusi udara ini akan mempengaruhi masyarakat yang tinggal disekitar lokasi tersebut, baik secara lokal maupun regional yang terangkum dalam jarak antara 50 Km sampai dengan 100 Km. Setelah diketahui masing-masing data yang digunakan, selanjutnya dengan menggunakan program *Queri* akan diketahui perkiraan dampak dan kemudian akan dihitung evaluasi ekonominya dengan menggunakan *spread sheet excel* sehingga akan dapat diketahui nilai biaya eksternalnya.

3. Evaluasi Dampak

Evaluasi dampak ini akan mengevaluasi dampak kesehatan manusia terutama masalah pernafasan, seperti: *Respiratory Hospital Admission (RHA)*, *Acute Mortality* dan *Chronic Mortality*.

4. Evaluasi Ekonomi

Evaluasi ekonomi ini akan mengulas aspek ekonomi hasil perhitungan dampak dengan menggunakan *spread sheet Excel* yang menggunakan asumsi tertentu sehingga dapat diketahui hasilnya dalam unit $\$/YOLL$ (*Years of Life Lost*) atau $\$/RHA$ dalam setiap kasus.

Berdasarkan hasil studi yang dilaksanakan oleh European Community melalui universitas Stuttgart (*ExterneE Study*), biaya external untuk masing-masing PLT:

- PLTN 0.4 millsUS\$/kwh, setara dengan 1 orang fatal per GWY
- PLTU batubara 12 millsUS\$/kwh, setara dengan 32 orang fatal per GWY
- PLTA 2.2 millsUS\$/kwh, setara dengan 6 orang fatal per GWY
- Gas 0.6 millsUS\$/kwh, setara dengan 2 orang fatal per GWY
- PLTU Minyak 15 millsUS\$/kwh, setara dengan 37 orang fatal per GWY.

IV. ANALISIS DALAM PERANGKAT LUNAK DECADES

Setelah basis data terbentuk, maka perlu dibuat suatu strategi yang optimal untuk perencanaan pembangkit listrik. Dalam perangkat lunak DECADES strategi yang digunakan adalah perencanaan energi listrik yang berkesinambungan. Parameter-parameter yang diperhitungkan dalam perencanaan energi listrik yang berkesinambungan adalah:

1. Meningkatkan efisiensi dari penggunaan energi listrik
2. Keseimbangan energi dengan prioritas penggunaan sumber energi domestik
3. Mencegah polusi untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh produksi, pengangkutan dan penggunaan energi listrik
4. Mengurangi biaya produksi energi listrik
5. Mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi import untuk mengurangi risiko bila terjadi krisis energi di pasar global
6. Menginvestasikan teknologi yang paling maju dan ramah lingkungan.

Untuk menganalisis dipergunakan modul DECPAC yang sudah terintegrasi dalam perangkat lunak DECADES. Modul DECPAC dikembangkan berdasarkan model WASP dan model ELECTRIC/ENPEP dari IAEA yang saat ini sudah banyak digunakan di seluruh dunia. Modul ini dapat melakukan pemeriksaan secara cepat (*screening*) kandidat teknologi yang akan dipilih dan dapat juga melakukan optimasi berdasarkan fungsi obyektif biaya sistem pembangkitan yang minimum. Modul DECPAC terbagi lagi menjadi tiga sub-modul yaitu : ELECSAM, ENVIRAM dan PRENSAM.

1. Sub-modul ELECSAM digunakan untuk menghitung total biaya pembangkitan yang meliputi biaya investasi, biaya bahan bakar, biaya operasi dan biaya perawatan.
2. Sub-modul ENVIRAM digunakan untuk menentukan biaya penambahan peralatan pengendali emisi, menghitung banyaknya limbah, polusi udara dan penggunaan lahan akibat penggunaan energi listrik
3. Sub-modul PRENSAM digunakan untuk menentukan karakteristik berdasarkan rantai energi.

V. KESIMPULAN

1. Paket program perencanaan energi dan listrik DECADES merupakan program perencanaan sistem kelistrikan yang komprehensif, bertujuan untuk merencanakan dan merancang strategi penyediaan energi listrik atas dasar konsep penyediaan energi yang lestari dan berkelanjutan dengan tidak mengabaikan prinsip solusi yang optimal dan pertimbangan lingkungan.
2. Sama seperti halnya program ENPEP penggunaan program ini sangat bermanfaat dalam perencanaan energi dan kelistrikan nasional, khususnya dengan opsi nuklir, karena dengan pertimbangan batasan-batasan lingkungan yang ketat dan eksternalitas (biaya external) menjadikan opsi nuklir semakin kompetitif dan kokoh dalam introduksinya pada jaringan listrik.
3. Perangkat lunak DECADES masih dalam tahap pengembangan dan beberapa sub-rutin program masih belum terintegrasi secara rinci. Namun demikian, perangkat lunak ini diharapkan dapat menjadi alat bantu yang bermanfaat dan mudah dioperasikan karena dapat dijalankan dengan menggunakan personal komputer dengan sistem operasi Windows.

DAFTAR PUSTAKA

1. Diane Tinney, *Paradox for Windows Programming by Example*, Que Corporation, New Hampshire, 1996.
2. I.F. Vladu, *The DECADES Computer Tools*, Presented at IAEA-KEPCO Seminar on The DECADES Project, June 1996.
3. IAEA, *DECADES Project Working Paper No. 3 : Reference Technology Data Base - Scope and Contents*, May 1993.
4. IAEA, *DECADES Project Working Paper No. 6 : Country Specific Data Base - User's Manual*, September 1994.
5. Gunter Conzelmann, *DECPAC Environmental Analysis Module (ENVIRAM) - Air Pollution*, Presented at Workshop on Review of Experience in Using the Agency's Databases and Software Packages for Comparative Assessment of Nuclear Power and Other Energy System, Argonne National Laboratory, 6 December 1996.
6. Vladimir Koritarov, *Electric System Analysis Module (ELECSAM)*, Presented at Workshop on Review of Experience in Using the Agency's Databases and Software Packages for Comparative Assessment of Nuclear Power and Other Energy System, Argonne National Laboratory, 6 December 1996.