

ONGKOS EKSTERNAL PEMBANGKITAN LISTRIK,
SEBUAH PERHITUNGAN PENDEKATAN

Mursid Djokolelono, Edi Sartono, Sri Herdinie)

Abstrak

ONGKOS EKSTERNAL PEMBANGKITAN LISTRIK, SEBUAH PERHITUNGAN PENDEKATAN. Hitungan ongkos pembangkitan listrik pada pembangkit fosil mencakup ongkos modal, ongkos operasi & perawatan, serta ongkos bahan bakar. Pada PLTN ongkos pembangkitan ini masih ditambah dengan ongkos pasca operasi (dekomisi). Kesadaran terhadap kesehatan masyarakat dan perlindungan lingkungan dewasa ini, telah memacu diperhitungkannya ongkos yang harus ditanggung masyarakat akibat polusi/gangguan yang mengakibatkan degradasi terhadap kesehatan, kerusakan material maupun lingkungan, yang disebut ongkos eksternal. Hitungan eksternalitas dapat dilakukan dengan berbagai metoda dan program komputasi, antara lain yang tengah dikembangkan dan diperkenalkan oleh IAEA, yaitu program B-GLAD. Metoda ini menghitung penyebaran polusi ke lingkungan pembangkit listrik, menaksir dosis yang diterima masyarakat dan lingkungan, menaksir korban dan kerusakan, serta menilainya dalam besaran moneter. Dalam makalah ini tiga kasus telah diambil untuk aplikasi dengan program ini, yaitu dengan data dari PLTN 2x900 MWe di tapak Ujung Lemah Abang dan dua PLTU-batubara 3x600 MWe di tapak Tanjung Jati, kedua tapak di pantai Semenanjung Muria. Sedang PLTU-batubara dibandingkan yang menggunakan *flue gas desulphurization* (FGD) dan yang tidak. Sedangkan bagi PLTN, taksiran kerugian masyarakat memasukkan pula faktor keengganan risiko dan kejadian kecelakaan. Hasil taksiran Ongkos Eksternal diperoleh adalah 0,9094 mills/KWh untuk PLTU tanpa FGD, 0,8156 mills/KWh untuk PLTU dengan FGD, serta 0,0083 mills/KWh untuk PLTN, atau besarnya dua sampai empat orde di bawah harga pembangkitan listrik masing-masing. Dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk pembangkit di Eropa, ongkos eksternal mereka lebih kecil, tetapi dengan studi di Thailand masih tercakup dalam batas bentang besaran mereka.

Abstract

EXTERNAL COSTS OF ELECTRICITY GENERATION, APPROXIMATE CALCULATION. Electricity generation cost of a fossil power plant includes capital cost, operation & maintenance costs and fuel cost. For a nuclear power plant the generation cost includes also a post-operation cost (decommissioning cost). The awareness of public health and environmental protection have recently urged to elaborately incorporate those costs borne by the public due to the pollution and negative effects resulting from the electricity generation, which are called external costs. Methods and computer programs of such calculation have been published and being developed, for example the one that is being developed and promoted by the IAEA, the B-Glad computation program. The method calculates dispersion of emitted pollution to public and environment, assess the doses received and damages thereafter, and then evaluate the damages in monetary quantities. This paper illustrates calculation using the B-Glad taking the input data of nuclear power plant (NPP) of 2x900 MWe at the Ujung Lemah Abang site, and two kinds of coal power plants (CPP) of 3x600 MWe at the Tanjung Jati site, both sites are located at the coast of the Muria peninsular. The CPPs with Flue Gas Desulphurization (FGD) and without FGD

are compared, whereas the NPP externality assessment includes considerations of risk aversion and accident condition. Calculation results show that external costs amount to 0,9094 mills/KWh for CPP without FGD, 0,8156 mills/KWh for CPP with FGD, and 0,0083 mills/KWh for the NPP, or two to four orders of magnitude less than respective generation costs. Compared to studies for European countries, their figures are smaller, but to the Thailand study these figures are within their lower-upper range.

I. PENDAHULUAN

Hitungan ongkos pembangkitan listrik (*generation cost*) pada pembangkit fosil mencakup ongkos modal, ongkos operasi & perawatan, serta ongkos bahanbakar. Ongkos yang bersangkutan dengan pengelolaan limbah, misalnya penyimpanan abu dari sisa pembakaran batubara serta pengurangan abu terbangnya, telah dimasukkan ke dalam ongkos modal (investasinya), ongkos operasi & perawatan (O&M) atau dalam ongkos daur bahanbakar. Dalam ongkos O&M inilah ongkos pemantauan dan perawatan kesehatan para pekerja serta pemantauan dan pengelolaan lingkungan pembangkit listrik semestinya telah diperhitungkan. Khusus pada PLTN, ongkos pembangkitan ini masih harus termasuk ongkos pasca-operasi (dekomisi), yang kegiatannya baru akan dilaksanakan pada akhir hayat PLTN. Sedangkan biaya yang mungkin akan dikeluarkan kalau saja terjadi kecelakaan nuklir umumnya telah masuk dalam biaya asuransi kecelakaan nuklir, dan ini dimasukkan dalam ongkos O&M pula.

Oleh karena itu sebenarnya ongkos pembangkitan yang harus dikeluarkan oleh Pengusaha, untuk perawatan pekerja dan lingkungan telah diperhitungkan, biarpun dalam cakupan sangat terbatas. Pada gilirannya, ongkos pembangkitan ini dibayar oleh para Pengguna listrik, sehingga sebagian ongkos perawatan dan pengelolaan lingkungan sebenarnya telah ditanggung oleh para Pengguna listrik pula. Namun dalam perkembangan pengetahuan dan kemajuan teknologi, dampak negatif dari pembangkitan listrik ini semakin jelas dapat ditelusuri, begitu pula emisi/polutan dari pembangkitan listrik ini secara bertahap diusahakan dikurangi sampai tingkat yang rendah. Potensi dampak negatif ini ternyata harus pula ditanggung oleh masyarakat luas, tidak saja dalam jarak yang jauh dari pembangkit tetapi juga dalam jangka waktu yang lama sesudahnya. Sehingga jelas bahwa tidak semua dampak negatif ini telah dapat ter-kompensasi.

Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL), yang merupakan keharusan bagi setiap kegiatan pembangunan yang dianggap berdampak besar dan penting, berisi pula kajian tentang dampak positif serta negatif, maupun kewajiban pemantauan dan pengelolaan lingkungan. Rencana Pemantauan Lingkungan (RPL) dan Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) harus sudah disusun untuk dapat dilaksanakan pada tahap Pra-konstruksi, Konstruksi dan Operasi. Kajian yang harus bersifat holistik dan mencakup jangka panjang diharapkan dapat menyajikan identifikasi ongkos (*cost*) terhadap manfaat (*benefit*), sebelum kegiatan pembangunan tersebut mendapat izin untuk dilaksanakan. Biarpun kajian *cost-benefit* ini dalam ANDAL cukup bersifat kualitatif, namun hal ini telah

menunjukkan adanya syarat bahwa manfaat pembangunan yang diusulkan harus lebih besar dari ongkos/kerugian akibat penurunan kemampuan lingkungan.

Kesadaran terhadap kesehatan masyarakat dan perlindungan lingkungan dewasa ini telah memacu diperhitungkannya ongkos secara kuantitatif yang harus ditanggung masyarakat akibat polusi/gangguan yang mengakibatkan degradasi terhadap kesehatan, kerugian material dan non-material, maupun lingkungan. Ongkos ini disebut ongkos eksternal atau ongkos eksternalitas. Dengan kalimat lain, ongkos eksternal adalah ongkos yang ditanggung oleh masyarakat luas sebagai pihak yang dirugikan dan yang belum terkompensasi.

Berbagai institusi di dunia telah mempublikasi metoda dan perangkat lunak dan hasil perhitungan mereka, misalnya dengan program ExternE, EXMOD, ECOSENSE, dan yang diacu dalam makalah ini, B-GLAD, yang telah (dan tengah) dikembangkan oleh IAEA. Sudah tentu promosi penggunaan program B-GLAD pada saat ini dimaksudkan agar IAEA dapat memperoleh masukan dan umpan-balik sebelum program ini mencapai bentuknya yang final. Kursus "IAEA Regional Training Course on the Use of Agency Methodologies and Tools to Analyze Priority Environmental Issues" yang diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 8 Mei – 2 Juni 2000 termasuk salah satu forum promosi yang dimaksudkan bagi negara anggota Asia.

Dalam forum kursus itu telah ikut serta wakil dari 12 negara Asia, yaitu Bangladesh, Cina, India, Indonesia, Korea, Malaysia, Mongolia, Pakistan, Pilipina, Srilangka, Thailand, dan Vietnam. Indonesia diwakili oleh peserta dari DJLPE, BPPT dan BATAN. Kumpulan naskah dan petunjuk ^[1] serta rekaman program telah diberikan. Makalah ini merupakan kontribusi kecil penulis dalam usaha mengenali dan menerapkan program komputasi IAEA tersebut untuk kondisi Indonesia.

Pembangkit listrik yang diaplikasikan adalah sebuah PLTU-batubara dengan *flue gas desulphurization* (FGD), sebuah tanpa FGD tetapi hanya menggunakan *electrostatic precipitator*, dan sebuah PLTN. Tiga jenis pembangkit listrik ini diasumsikan berlokasi di pantai Semenanjung Muria: PLTU-batubara di tapak Tanjung Jati, sedang PLTN di tapak Ujung Lemah Abang. Untuk maksud visualisasi, daya PLTU adalah 3x600 MWe, sedang daya PLTN 2x900 MWe. Kasus aplikasi program tersebut dipilih karena sebagian besar data dan informasi telah tersedia dalam Laporan Analisis Dampak Lingkungan masing-masing, yaitu pustaka [2] dan [3].

II. METODE PERHITUNGAN

Metoda perhitungan dimulai dengan mengenali/menghitung besarnya sumber polusi/gangguan, yaitu pembangkit listrik yang dimaksud (*source characterization*). Pada pembangkit yang menggunakan bahan bakar, polusi dari hasil pembakaran merupakan

komponen yang menonjol. Bergantung pada jenis bahan-bakar yang dipakai, besarnya daya listrik dan efisiensi, teknologi pengontrolan polusi dan penanganan limbah, akan dapat ditentukan jumlah dan laju polutan yang dibebaskan.

Kemudian dihitung penyebaran polutan (*dispersion of pollutants*) ke lingkungan, baik yang melalui udara maupun air sampai mencapai lokasi penerima (reseptor). Reseptor ini dapat saja manusia, tumbuhan, hewan atau benda berharga. Pada lokasi reseptor ini ditentukanlah berapa besar konsentrasi polutan. Pendekatan dispersi lewat udara dengan model transport Gauss`digunakan di sini. Sesudah itu ditentukanlah dosis yang diterima atau diserap oleh reseptor. Dalam hal ini polutan yang diperhatikan adalah partikel padat dan SO₂ untuk PLTU, serta zat radioaktif yodium, cesium, kobalt dan gas mulia pada PLTN. Beberapa pemodelan jalur penyerapan (*pathways*) diambil terhadap kelompok yang berpotensi terkena (*sensitive groups*).

Selanjutnya setelah paparan (*exposure*) atau dosis yang diterima oleh reseptor ini (masyarakat dan lingkungan) dapat diperoleh besarnya, maka dampak akan dihitung kuantitasnya (*impact evaluation*). Dampak ini dapat berupa kerusakan harta-benda, gangguan kesehatan, penyakit akut atau kronik, dan korban kematian. Data statistik tentang hubungan antara paparan/dosis dengan dampak fisik akan memberikan suatu besaran yang disebut *exposure response factor* (faktor tanggap-paparan). Bagi barang, tumbuhan, hewan atau bangunan, kerusakan akan mudah dikuantifikasi, tetapi bagi manusia ada ukuran tersendiri, misalnya satuan dampak kesehatan seperti YOLL (*Years of Life Lost*), RAD (*Restricted Activity Days*), AM (*Acute Mortality*), dsb.

Sebagai contoh, hasil penelitian di Eropa Barat dan Amerika pada perorangan yang berumur lebih dari 30 tahun (atau 60% dari seluruh penduduk), kenaikan konsentrasi partikel (diameter sampai 2,5 μ) di udara sebesar 24,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ akan mengurangi harapan hidup perorangan sebesar 1,6 tahun. Dikatakan bahwa *exposure response* adalah 1,6 YOLL akibat paparan 24,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ terhadap 60% penduduk, atau f_{er} sebesar 0,0653 YOLL/ $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$. Jelas bahwa semakin besar jumlah penduduk dalam bentang umur tersebut yang kena paparan itu semakin besar pula besaran dampak ini dalam satuan YOLL. Contoh lain yang menyangkut statistik kerugian/kerusakan akibat dosis radiasi, misalnya setiap dosis integral 1 manSievert akan terjadi kanker yang fatal sebanyak 0,05 insiden, kanker non-fatal 0,12 dan kelainan keturunan 0,01 insiden.

Selanjutnya akibat dan banyaknya korban/kerusakan perlu dapat dinilai (di-konversi-kan) dalam besaran uang (*monetary valuation*). Di sini dikenal beberapa cara penilaian, misalnya dengan menggunakan taksiran statistik WTP (*Willingness To Pay*), WTA (*Willingness to Accept*), atau pendekatan dari pengganti kenyamanan (*Hedonic Approach*). Dengan cara seperti itu telah diperoleh (disimpulkan) besaran faktor konversi dari kerusakan, kerugian materi atau non-materi menjadi nilai uang. Angka-angka faktor

penilaian uang ini, atau istilahnya *Monetary Unit cost Value* (MUV), diacu dari pustaka yang merupakan hasil penelitian di negara-negara Eropa, Amerika atau Thailand. Karena kerusakan/kerugian ini bisa saja terjadi baru bertahun-tahun kemudian, maka nilai uang itu perlu di-*discount* ke nilai kini.

Besarnya faktor konversi ini berbeda (lebih tinggi) bagi negara maju dibandingkan dengan bagi negara berkembang. Besaran ini biasanya dikaitkan dengan perbandingan besarnya GDP berpangkatkan suatu koefisien elastisitas ($\gamma = 0,5-1$), yaitu $(GNP_1/GNP_2)^\gamma$. Ini diangkat dari kenyataan bahwa masyarakat berpenghasilan tinggi sangat menghargai kualitas hidup dan mereka lebih ingin dan lebih mampu mengongkosinya. Begitu pula besarnya *discount rate* yang bisa diterima di negara maju berbeda (lebih rendah, 2-5 %/tahun) dengan yang dianggap wajar di negara berkembang (8–12 %/tahun). Sebagai gambaran, nilai kerugian yang terjadi 30 tahun kemudian yang didiskon dengan 10 %/tahun akan mengecil menjadi 0,057 atau tinggal seper-tujuhbelas-nya, sedangkan dengan 2 %/tahun masih 0,55. Masyarakat di negara berkembang lebih memberikan prioritas pada nilai saat ini, pemenuhan kebutuhan pada saat ini, dari pada merawat lingkungan demi jangka panjang, bagi generasi mendatang.

Akhirnya, setelah seluruh ongkos eksternal ini dihitung, maka jumlah dari ongkos pembangkitan ditambah dengan ongkos eksternal masing-masing akan merupakan ongkos total yang harus dibayar masyarakat untuk energi listrik yang dihasilkan:

$$\text{Generation cost} + \text{External cost} = \text{Societal cost.}$$

Kalau untuk berbagai varian/alternatif pembangkitan listrik telah dihitung ongkos masyarakat masing-masing, maka tugas berikutnya adalah menyajikan berbagai alternatif tersebut sesuai urutan terhadap pemenuhan kriteri yang diambil. Sepintas jawabannya akan mudah bila jumlah kriteri pemilihan itu hanya satu, misalnya besar ongkos masyarakat yang paling kecil. Tetapi apabila kriterinya lebih dari satu dan alternatifnya banyak, apalagi kalau besaran yang dibandingkan masih memiliki ketidakpastian (*uncertainties*), maka pilihan tidak selalu mudah.

Oleh karena itu untuk kelengkapan program B-GLAD, telah ditambahkan modul DAM yang membuat analisis perbandingan keunggulan dari berbagai varian pembangkitan, sesuai dengan sejumlah kriteri yang ditentukan. Termasuk di sini adalah melakukan analisis dalam bentang parameter (akibat ketidakpastian) di mana keunggulan itu berlaku.

Dalam analisis di mana sejumlah alternatif harus memenuhi sejumlah (lebih dari satu) kriteri sekaligus umumnya tidak diperoleh sebuah pilihan tunggal (*unique*) yang optimal. Di sini dikenal pengertian alternatif yang berpotensi optimal (*potentially optimal*),

alternatif bisa tak diungguli (*not outperformed*), alternatif bisa diungguli (*outperformed alternative*), serta alternatif dominan (*pareto dominant*). Modul DAM memang tidak memberikan keputusan, tetapi umumnya hanyalah menyampaikan alternatif yang "berpotensi optimal", atau "mengungguli tetapi ada syarat/imbangan" (*outperformance with trade-offs*), dsb. Jelas bahwa akhirnya terserah para *decision makers* yang harus menentukan pilihan.

Pada pembangkit yang tidak menggunakan bahanbakar, seperti PLTA, pembangkit listrik bayu atau surya, pengaruh zat polutan hampir tidak ada, sehingga gangguan/dampak lain seperti perubahan penggunaan lahan, perubahan mata-pencaharian penduduk setempat, perubahan/hilangnya ekosistem darat, gangguan suara serta bentang pemandangan merupakan komponen yang menonjol.

III. PERANGKAT LUNAK

Program B-GLAD yang dioperasikan dengan komputer pribadi (PC), ditulis dalam bahasa FORTRAN serta menggunakan Excel Workbook, dan belum seluruhnya selesai. Rekaman program menggunakan memori sebesar 11 MByte, sedangkan seluruh rekaman termasuk naskah teori, petunjuk dan dokumen kursus lainnya memerlukan memori sampai 73 Mbyte, sehingga masih tertampung dalam sebuah *compact disk*. Dalam konfigurasi sampai saat ini, B-GLAD terdiri atas berbagai modul yang menghitung ongkos eksternal untuk: a) pembangkit listrik fosil dengan penyebaran polusi lewat udara, b) pembangkit listrik nuklir untuk operasi normal dan kecelakaan, serta c) analisis untuk pemilihan alternatif.

a) Pembangkit listrik fosil

Untuk hitungan ongkos eksternal dari pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil tersedia empat buah modul dengan pendekatan masing-masing yang berbeda dalam pemodelan serta keperluan tingkat kelengkapan datanya, yaitu:

- QUERI (versi 1.5), singkatan dari *Quick Estimation of Respiratory health Impacts*, disebut juga *Simple Uniform World Model (SUWM)* karena menghitung dampak kesehatan fisik dengan rumus-rumus semi-empirik dan data minimum (disederhanakan); modul ini ditulis dalam bahasa FORTRAN, untuk jangkauan lokal, sampai 30 – 50 Km.
- RUWM (versi 1.0), singkatan dari *Robust Uniform World Model* karena menghitung dampak kesehatan fisik dengan pendekatan analitik dan data lebih lengkap (cuaca

lokal, demografi, parameter cerobong, distribusi Pasquill); modul ini ditulis dalam *workbook* Excel, untuk jangkauan sampai 30 –50 Km.

- URBAN (versi 1.0), merupakan spreadsheet dengan *workbook* Excel;
- AIRPACTS, merupakan *workbook* Excel yang menangani dampak dengan luas jangkauan sampai tingkat regional 1000 Km.
- C&M, singkatan dari *Crops and Material*, merupakan *workbook* Excel untuk menangani ongkos eksternalitas hasil pertanian, material dan bangunan.

b) Penanganan PLTN

- NUCPACT (sementara file masih dinamai *nuclea~1*), sebuah spreadsheet dengan *workbook* Excel untuk menghitung ongkos eksternal dari operasi PLTN, yang mencakup operasi normal dan kecelakaan, serta pertimbangan "keengganan menerima risiko" (*risk aversion*). Radius wilayah didefinisikan lokal (sampai 100 Km), regional (100 Km sampai 1000 Km) dan selebihnya global.

c) Analisis Pengambilan Keputusan:

- DAM versi 2.0, singkatan dari *Decision Analysis Module*, yang memberikan analisis untuk mencari solusi optimum bagi sejumlah alternatif yang harus memenuhi sejumlah kriteri.

IV. APLIKASI

Seperti dikemukakan dalam Pendahuluan, dalam makalah ini tiga kasus diambil untuk visualisasi program ini, yaitu dengan data dari dua jenis PLTU-batubara 3x600 MWe di tapak Tanjung Jati, serta data dari PLTN 2x900 MWe di tapak Ujung Lemah Abang, keduanya di pantai Semenanjung Muria. Dua PLTU-batubara telah dibandingkan, yang menggunakan *flue gas desulphurization* (FGD) dan yang hanya menggunakan pengendap elektrostatik (*electrostatic precipitator*). Sedangkan bagi PLTN, taksiran kerugian masyarakat mempertimbangkan kondisi operasi normal dan kecelakaan, termasuk pula faktor keengganan menerima risiko (*risk aversion*).

Untuk ketiga alternatif ini hitungan ongkos pembangkitan dilakukan dengan program Legecost dari IAEA, yang telah diaplikasikan di Indonesia sejak delapan tahun lalu. Data untuk perhitungan ongkos pembangkitan PLTU-batubara dan PLTN dapat pula diambil dari laporan Studi Kelayakan PLTN di Indonesia ^[4]. Masukan yang tersedia umumnya adalah data tahun 1995. Hitungan dilakukan dengan mengambil nilai *discount rate* sebesar 10 %/tahun.

Sebenarnya rencana pembangunan PLTU Tanjung Jati ^[2] akan mengoperasikan unit pertama mulai tahun 1996 dan mencapai 8 unit (masing-masing 600 MWe, tanpa FGD) di tahun 2000, tetapi dalam kenyataan sekarang belum satu unitpun yang selesai. Begitu pula dalam Penilaian Dampak Lingkungan di tapak Ujung Lemah Abang ^[3] mengambil

asumsi rencana pembangunan 8 unit PLTN (masing-masing unit 900 MWe) mulai operasi unit pertamanya di tahun 2004, biarpun sampai kini belum ada keputusan apapun tentang hal ini.

Selama kursus IAEA di bulan Mei/Juni 2000 itu sebuah latihan hitungan untuk PLTU Tanjung Jati dan PLTN Ujung Lemah Abang telah dilakukan^[5]. Berbeda dengan hitungan latihan itu, dalam makalah ini diambil daya dan energi listrik PLTU dan PLTN yang sama, yaitu 1800 MWe dan 12 TWh/tahun. Untuk beberapa koefisien konversi telah diambil angka dari hasil penelitian di Thailand, lainnya menggunakan angka dari studi Uni Eropa^[1]. Beberapa masukan data PLTU dan PLTN telah diperbaiki/dikoreksi.

Di tahun 1995 GNP Indonesia adalah 3600 US\$, Thailand 6970 US\$, Uni Eropa rata-rata 17764 US\$, sedang koefisien elastisitas γ diambil sebesar 1, memberikan faktor penyesuaian $(GNP_1/GNP_2)^\gamma$. Angka tersebut adalah *default* di program itu, sudah tentu yang penting adalah perbandingannya. Untuk visualisasi lebih rinci, beberapa data masukan dikutipkan dalam tabel-tabel berikut.

IV.a. Kasus PLTU-batubara

Tabel 1: Masukan program Legecost untuk Ongkos Pembangkitan terasas

	Satuan	PLTU tanpa FGD	PLTU dengan FGD
Beaya investasi +IDC	\$/KW	1100	1268
Beaya FGD	\$/KW	-	168
Beaya O&M tetap	\$/KWa	37,20	52,08
Beaya O&M variabel	mills\$/KWh	0,69	0,69
Beaya bahanbakar	mills\$/MBTU	1,495	1,495
Umur PLTU	tahun	25	25

Tabel 2 : Masukan program Querl untuk Ongkos Eksternalitas^[1]

Kapasitas terpasang	MWe	3 x 600
Energi listrik tahunan	TWh	12
Koordinat tapak: Lintang Selatan		- 6°28'
Bujur Timur		110°42'
Waktu acuan WIB		105°
Tinggi cerobong asap	m	200
Diameter luaran cerobong asap	m	7,6
Kecepatan gas buang	m/sek	27,4
Debit gas buang	m ³ /sek	3 x 1243
Suhu gas buang	°C	130
Emisi partikel PM ₁₀ tanpa FGD	g/sek	3x 40
dengan FGD	g/sek	3 x 40
Emisi SO ₂ tanpa FGD	g/sek	3 x1296
dengan FGD	g/sek	3 x 129,6

Tabel 3 : Beberapa contoh koefisien *default* yang digunakan⁽¹⁾

Koefisien konversi	f_{er} *	r_{ek} **	MUV #
PM ₁₀ premature mortality	1,4 E-5	0,334	3.600.000
PM ₁₀ respiratory hospital admission	5,7 E-6	0,334	14,000
PM ₁₀ cardiac hospital admission	5,0 E-6	0,334	15,000
PM ₁₀ days with acute respiratory symptoms	0,3	0,334	12
SO ₂ respiratory hospital admission	5,6 E-6	1,00	14,000

* emission response function, case/(year.receptors.µg/m³)

** share of risk group, # monetary unit valuation, Thailand, US\$/case

IV.b. Kasus PLTN

Tabel 4: Masukan program Legecost untuk Ongkos Pembangkitan teraras

	Satuan	
Ongkos investasi +IDC	\$/KW	2209
Beaya O&M tetap	\$/KWa	45,96
Beaya O&M variabel	mills/KWh	1,16
Beaya dekomisi	mills/KWh	0,1
Beaya bahanbakar	\$/MBTU	0,58
Umur PLTN	tahun	40

Tabel 5 : Masukan untuk Queri

	Satuan	
Kapasitas terpasang	MWe	2 x 900
Energi listrik tahunan	TWh	12
Koordinat tapak: Lintang Selatan		- 6°27'
Bujur Timur		110°45'
Waktu acuan WIB		105 °

Tabel 6: Beberapa contoh koefisien *default* dan yang terhitung⁽¹⁾

Beberapa koefisien	Dose factor in water	CED freshwater fish	CED marine fish	CED shellfish
Satuan	Sievert/Bq	Sievert/th	Sievert/th	Sievert/th
Isotop I-131	2,20 E-8	4,66 E-11	2,33 E-11	5,82 E-11
I-133	4,30 E-9	1,69 E-11	8,43 E-12	2,11 E-11
Co-58	7,40 E-10	2,00 E-12	1,33 E-11	3,33 E-12
Co-60	3,40 E-9	9,18 E-12	6,12 E-11	1,53 E-11
Cs-134	1,90 E-8	1,71 E-9	5,13 E-11	2,57 E-12
Cs-137	1,30 E-8	1,17 E-9	3,51 E-11	1,76 E-12

* CED = committed effective dose, untuk 900 MWe, terhitung

Tabel 7 : Beberapa contoh koefisien default ^[1]

Beberapa koefisien	Risk coeff.	MUV *	MUV **
Satuan	Incident/manSievert	US\$/incident	US\$/incident
Cancer (fatal)	0,05	4,1 E+06	0,83 E+06
Cancer (non-fatal)	0,12	6,0 E+05	1,20 E+05
Severe hereditary effects	0,01	4,1 E+06	0,83 E+06

* MUV pendekatan VOSL untuk Uni Eropa

** MUV dikonversikan ke Indonesia (terhitung)

Hitungan ongkos eksternal kecelakaan nuklir mengacu metoda pendekatan (*Expected Utility approach*) dan angka koefisien dari studi Markandya ^[6], yang menghasilkan besaran seperti tertera dalam dua tabel berikut.

Tabel 8: Hasil-antara untuk kecelakaan PLTN ^[1]

Kecelakaan 1 unit, keboleh-jadian $1,9 \times 10^{-6}$ /tahun reaktor

Kategori	Ongkos lokal, juta ECU	Ongkos regional, juta ECU	Total, juta ECU
<i>Food ban</i>	33,5	589,8	623,3
<i>Evacuation & relocation</i>	9,9	-	9,9
<i>Indirect costs</i>	165,5	-	165,5
<i>Fatal effects</i>	518,5	2141,2	2659,6
<i>Non-fatal effects</i>	99,9	411,7	511,7
Total	827,3	3142,7	3970,0

Tabel 9: Hasil-antara untuk kecelakaan nuklir termasuk keengganan risiko ^[6]

<i>Total cost</i>	<i>Expected total cost</i>	<i>External cost of accident</i>	<i>External cost of accident including risk aversion</i>
	<i>Total cost x Probability of accident</i>	<i>Expected total cost / annual electricity produced</i>	<i>External cost x multiplying coefficient</i>
<i>Million ECU</i>	<i>Million ECU/ reactor year</i>	<i>Mills ECU / KWh</i>	<i>Mills ECU / KWh</i>
3970,0	0,00754	0,00126	0,00251 *

* Koefisien pengali diambil = 2. Untuk selanjutnya perlu konversi 1,1 US\$/ECU, koreksi pertumbuhan penduduk 1,2 %/th pertumbuhan GNP 4 %/th, dan diaras selama 40 tahun dengan laju diskon 10 %/th.

V. HASIL DAN PERBANDINGAN

V.a. Ongkos Pembangkitan

Tabel 10: Ongkos Pembangkitan teraras
US\$ 1995, laju diskon 10 %/th

PLTN	Satuan	PLTU-bb tanpa FGD	PLTU-bb dgn FGD	PLTN
Ongkos modal	mills/KWh	17,33	19,98	33,51
O&M+dekomisi	mills/KWh	6,27	8,50	8,15
Ongkos bahanbakar	mills/KWh	18,12	18,12	4,90
Ongkos Pembangkitan	mills/KWh	41,72	46,60	46,56

Dari Tabel 10 terlihat bahwa Ongkos Pembangkitan teraras (*levelized*) dari PLTU tanpa FGD merupakan harga terendah (41,72 mills/KWh). Pemasangan FGD pada PLTU telah menyebabkan Ongkos Pembangkitan menanjak dengan 4,88 mills/KWh. Sedangkan Ongkos Pembangkitan PLTU dengan FGD (46,60 mills/KWh) sebenarnya hanya sedikit sekali melebihi PLTN (46,56 mills/KWh), dan bisa dianggap sama (kompetitif), yaitu 46,6 mills/KWh. Kesimpulan seperti ini diperoleh pula dalam Studi Kelayakan PLTN Pertama di Indonesia, bahwasanya ongkos pembangkitan dari PLTN dapat bersaing dengan PLTU dengan FGD, bukan yang tanpa FGD. Di bawah akan terlihat bahwa Ongkos Eksternal-lah yang akan mengangkat keunggulan PLTN.

V.b. Ongkos Eksternal dan Ongkos Masyarakat

Angka-angka dalam Tabel 11 menunjukkan bahwa Ongkos Eksternal untuk PLTU-batubara tanpa FGD adalah 0,9094 mills/KWh, tidak jauh lebih tinggi dari pada PLTU FGD yang besarnya 0,8156 mills/KWh. Walaupun terjadi pengurangan SO₂ sampai 90 %, tinggal 10 %, tetapi Ongkos Eksternal yang dominan adalah diakibatkan oleh polusi partikel padat PM₁₀ yang tidak berkurang akibat tambahan FGD. Di lain pihak, kerusakan akibat SO₂ yang dihindari oleh FGD adalah 0,0938 mills/KWh, atau $0,0938 \times 12 \times 10^9 = 1,12$ juta\$/tahun, atau kini 9,6 milyar Rp/tahun.

Tabel 11: Ongkos Masyarakat

	Satuan	PLTU-bb	PLTU-bb	PLTN *	
		tanpa FGD	dgn FGD	rutin	kecelakaan
Ongkos Pembangkitan	mills\$/KWh	41,72	46,60	46,56	
Ongkos Eksternal	mills\$/KWh	0,9094	0,8156	0,00341	0,00492
Ongkos Masyarakat	mills\$/KWh	42,63	47,42	46,57	

* PLTN pada kondisi kecelakaan, telah ditambahkan dengan keengganan risiko.

Namun demikian pengurangan kerusakan SO₂ akibat pemasangan FGD masih dinilai terlalu kecil dalam uang, sehingga keunggulan FGD tidak mengimbangi tambahan nilai investasi dan operasinya. Ini tercermin dalam Ongkos Masyarakat 42,63 mills/KWh tanpa FGD, dibanding dengan FGD yang menaikannya menjadi 47,42 mills/KWh. Terlihat bahwa Ongkos Masyarakat dari PLTN naik hanya sedikit, sehingga lebih nyata mengungguli PLTU dengan FGD.

Ongkos eksternal PLTU-batubara tanpa FGD (0,9094 mills/KWh) ini dibandingkan dengan studi Thailand (Tabel 12 baris terbawah) terletak dalam batas bentang mereka (0,6 sampai 5 mills/KWh). Memang, sebagian koefisien konversi telah diambilkan dari studi Negara Berkembang tersebut.

Tabel 12: Hasil Hitungan Ongkos Eksternal PLTU-bb tanpa FGD, Studi Thailand ^[5]

Polutan	Batas bawah	Batas atas
Partikel sampai 10	667 US\$/ton	4918 US\$/ton
SO ₂	53 US\$/ton SO ₂	287 US\$/ton SO ₂
Ongkos eksternalitas	0,6 millsUS\$/KWh	5 US\$/KWh

Studi Thailand dapat diacu karena di samping tingkat GNP yang tak jauh berbeda, curah hujan di negeri itu setingkat deras dengan yang di Indonesia. Adanya konsentrasi tinggi partikel di udara memacu terjadinya hujan, seperti yang dilakukan untuk membuat hujan buatan. Tingginya curah hujan akan membantu membasuh konsentrasi polusi di udara. Pengaruh hujan ini secara kuantitatif masih merupakan *uncertainty* yang belum cukup dirumuskan dalam program ini.

Namun kekurangannya, studi Thailand ini hanya memperhitungkan penduduk yang berada di wilayah negara ini, padahal dalam studi yang bersifat regional diperlukan wilayah sampai dengan radius 1000 Km. Bagi beberapa PLTU-batubara di Thailand,

radius 1000 Km mencakup negara-negara tetangga, seperti RRC, Vietnam, Laos, Kambodia, Malaysia, Indonesia dan Myanmar. Jadi sebenarnya ongkos eksternal yang harus dibayar oleh masyarakat luas dalam angka Thailand belum termasuk kerugian yang diderita oleh penduduk di berbagai negara di luar negara ini.

Indonesia memiliki kekhususan, biarpun di Indonesia kepadatan penduduk lebih besar, tetapi penduduknya hanya di pulau-pulau, sebagian luasan terdiri atas lautan. Sedang kerusakan pada manusia lewat makanan ikan jauh lebih rendah (dalam orde) dibandingkan yang lewat udara. Lain dengan studi Eropa, yang umumnya mengacu letak sumber di tengah daratan.

Dalam perbandingan Ongkos Eksternal PLTU-FGD makalah ini (0,8156 mills/KWh) dengan hasil studi Eropa (Tabel 13), ongkos eksternal PLTU-FGD Eropa (0,110 – 0,165 mills ECU/KWh) lebih rendah. Sedangkan besarnya Ongkos Eksternal untuk PLTN masih lebih rendah pula (0,0083 millsUS\$/KWh terhadap 0,00044 millsECU/KWh = 0,000484 mills\$/KWh). Ini sedikit di luar dugaan (diduga untuk Eropa lebih besar) mengingat tingkat GNP mereka jauh lebih tinggi, yang tercermin dalam kemauan membayar ongkos untuk perbaikan lingkungan (WTP) dan kemauan menerima pembayaran pengganti lingkungan memburuk (WTA). Perlu dicari tahu apakah *risk aversion* sudah masuk, dan apakah perbedaan dalam jumlah reseptor/penduduk, laju penambahannya serta laju kenaikan GNP telah mengimbangnya, dsb. Hal ini perlu diselidiki lebih lanjut, terutama dalam perhitungan sensitivitas, mengingat banyak koefisien yang bisa diacu tersedia dalam bentang harga.

Tabel 13: Hasil Hitungan Ongkos Eksternal, Studi Eropa (1 ECU= 1,1 US\$) ^[1]

	Ongkos Eksternal mill ECU/KWH	Setara angka kematian per GWtahun
PLTU-batubara	0,165	37
PLTU-bb.lignite	0,110	27
PLTU-minyak	0,132	32
PLTU-gas	0,006	2
PLT-bayu	0,00242	0,3
PLTA	0,00242	0,8
PLTN	0,00044	1

Untuk PLTN pada kondisi kecelakaan, telah ditambahkan keengganan risiko dengan faktor sebesar 2. Pada kondisi kecelakaan telah diasumsikan, bahwa keboleh-jadian kecelakaan terbesar suatu PLTN di masa mendatang adalah $1,9 \times 10^{-6}$ /th.reaktor, sehingga kalau keboleh-jadian ini dalam orde 10^{-4} pun, maka ongkos eksternal PLTN kecelakaan akan naik dua orde ke atas, tetapi keseluruhan ongkos eksternal nuklir maupun batubara masih terletak dalam dua orde di bawah ongkos pembangkitannya.

Tabel 14: Perbandingan Ongkos Eksternal dengan Studi Eropa dan Thailand ^[1]

	Hitungan Uni-Eropa mills US\$/KWH	Hitungan penulis, mills US\$/KWH	Hitungan Thailand mills US\$/KWH
PLTU-bb. tanpa FGD		0,9094	0,6 - 5
PLTU-bb. dengan FGD	0,121 - 0,182	0,8156	
PLTN	0,00048	0,0083	

V.c. Penyajian hasil analisis untuk pengambilan keputusan

Ongkos Masyarakat (Tabel 11) yang merupakan jumlah dari Ongkos Pembangkitan ditambah dengan Ongkos Eksternal, telah di-inputkan ke modul DAM. Sebagai kriteri pokok telah diambil Ongkos Masyarakat yang terendah. Ongkos Pembangkitan dapat berbeda dari kasus PLTU ke kasus PLTN, tetapi masih dalam satu orde besaran, bahkan dalam bentang harga yang sempit, sehingga di sini diambil bentang 1 sampai 1,2 (sampai 20% lebih tinggi). Sedang Ongkos Eksternal yang dihitung menggunakan metode pendekatan dan data yang masih memiliki unsur takpastian tinggi, diberikan bentang harga takpasti dari 1 sampai 120 (dua orde).

Dengan kata lain, di sini ditanyakan: a) bagaimana kalau (*what-if analysis*) Ongkos Pembangkitan bagi ketiga alternatif diberikan bobot yang besarnya dalam bentang 1 sampai 1,2. Demikian pula b) bagaimana kalau Ongkos Eksternal bagi ketiga alternatif diberikan bobot yang besarnya dalam bentang 1 sampai 120. Beberapa kesimpulan disampaikan berikut ³.

Awalnya, diperoleh urutan unggulan PLTU-non-FGD → PLTN → PLTU-FGD. Ini dapat dibaca langsung dari Tabel 11, tanpa analisis dengan program DAM, karena di sini diberikan masukan sederhana tanpa bentang bobot, dari 3 alternatif diambil hanya satu kriteria saja yaitu Ongkos Masyarakat harus terendah. Dengan memperhatikan bentang pembobotan Ongkos Eksternal, 1 sampai 9,3, ternyata tidak terjadi perubahan urutan, yaitu PLTU-non-FGD unggul pada bentang Ongkos Masyarakat terendah.

Namun urutan unggulan PLTN ↔ PLTU-non-FGD → PLTU-FGD diperoleh mulai bobot lebih dari 9,3 sampai 10,5. PLTN akan mengungguli PLTU non-FGD. Tetapi dengan bantuan *tradeoff* dengannya dari bentang Ongkos pembangkitan, PLTU non-FGD ini masih bisa terangkat/unggul (ditandai dengan ↔). Selanjutnya urutan PLTN → PLTU-non-FGD → PLTU-FGD secara mapan diperoleh mulai bobot lebih dari 10,5 ke atas.

Baru setelah bobot lebih dari 103, peran PLTU-FGD mulai tampak, urutan PLTN → PLTU-FGD ↔ PLTU-non-FGD diperoleh. PLTU-FGD mengungguli PLTU-non-FGD,

³ Komputer akan menyatakan 46,60 jelas lebih besar dari 46,56 mills/KWh, biarpun dalam pengertian ongkos pembangkitan, dua besaran ini dianggap kompetitif.

biarpun dengan bantuan *tradeoff* dengannya dari bentang Ongkos pembangkitan, PLTU-non-FGD ini masih bisa terangkat/unggul. Akhirnya urutan unggulan PLTN → PLTU non-FGD → PLTU FGD secara mapan diperoleh mulai bobot lebih dari 112 PLTN akan mengungguli PLTU-FGD, dan PLTU-FGD mengungguli PLTU-non-FGD.⁴

Dengan istilah program DAM, dari analisis *optimality* diperoleh bahwa alternatif PLTU-non-FGD ternyata optimal (unggul pada bentang Ongkos Masyarakat yang rendah). Dari analisis *pareto dominance* maupun analisis *out-performance*, PLTN selalu dominan mengungguli PLTU FGD. Sedangkan berkat *tradeoff* (sampai batas tertentu) PLTU-non-FGD bisa diuntungkan.

VI. KESIMPULAN

Pengenalan metode perhitungan Ongkos Eksternal dengan program B-GLAD telah disajikan. Untuk ilustrasi telah diambil 3 kasus hitungan, PLTU-batubara dengan FGD dan tanpa FGD, serta PLTN di tapak Semenanjung Muria. Namun program B-GLAD ini belum seluruhnya selesai dan final. Metoda yang bersifat pendekatan, dan data masukan yang masih mengandung tak-pastian yang besar, telah memberikan harga hasil hitungan, biarpun cukup dilihat dalam orde besarnya saja.

Dari hitungan di atas terungkap bahwa aplikasi program ini dilakukan dengan meng-*import* banyak koefisien statistik dari studi untuk luar negeri, walaupun transfer dari koefisien tersebut dilakukan dengan penyesuaian berbasis statistik pula. Oleh karenanya jelas bahwa perlu tersedia data statistik tentang kesehatan masyarakat, kesehatan pekerja, termasuk biaya perawatan (manusia maupun bangunan berharga), yang diperoleh/digali dari Indonesia sendiri.

Hasil hitungan taksiran bagi kedua PLTU dan sebuah PLTN tersebut telah diperoleh, yang besarnya dua orde (PLTU tanpa FGD dan dengan FGD) sampai empat orde (PLTN) di bawah harga pembangkitan listrik masing-masing. Dibandingkan dengan hasil studi Thailand angka hitungan PLTU ini masih dalam batas bentang harga mereka.

Ciri GNP yang rendah dan nilai *discount rate* yang tinggi bagi Negara Berkembang dapat mengakibatkan nilai kerusakan lingkungan kurang dihargai. Namun kesimpulan ini belum terlihat dalam bandingan dengan acuan studi Eropa dengan ongkos eksternal PLTU-batubara dengan FGD dan PLTN mereka yang ternyata masih lebih rendah.

⁴ Tanpa program DAM, dalam hal ini, kesimpulan bisa diperoleh dengan hitungan sensitivitas untuk harga . bobot eksternalitas (1-120) dan *tradeoff* bagi Ongkos Pembangkitan (1-1,2) secara manual.

Dari hitungan ini PLTU dengan FGD masih memberi ongkos masyarakat yang terendah, dibandingkan dengan PLTU dengan FGD yang harus menambahkan investasi dan operasi, tetapi nilai uang dari kerusakannya belum dianggap penting. Diperlukan ongkos 4,9 mills/KWh untuk investasi FGD dan mengoperasikannya, tetapi kerusakan yang diselamatkan hanya dinilai kurang dari 0,1 mills/KWh. Hal ini juga menunjukkan bahwa FGD *wet type* yang digunakan selama ini masih sangat mahal. Oleh karena itu perlu adanya teknologi pembatas polusi (*abatement technology*) yang terbukti lebih murah.

Akhirnya jika sikap masyarakat dalam memberikan nilai gangguan kesehatan dan kerusakan lingkungan ini tinggi, maka PLTN akan menjadi alternatif paling unggul. Bahkan mungkin, kalau risiko kerusakan akibat SO₂ harus diusahakan sekecil mungkin, maka perlu ada kewajiban pada PLTU-batubara untuk memasang FGD atau penggunaan teknologi pembatas polusi yang lain.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. Bahan kuliah dari "IAEA Regional Training Course on the Use of Agency Methodologies and Tools to Analyze Priority Environmental Issues". Jakarta, 8 Mei – 2 Juni 2000.
2. "Studi Analisis Dampak Lingkungan PLTU Jawa Tengah" PLN, 1 Januari 1992.
3. "Environmental Impact Assessment Report". Feasibility Study of the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Region, Central Java. Minister of Finance, BATAN, and Newjec Inc. INPB-REP-6. June 1996.
4. Liun, E., Sartono, E., Indrayana, D., Herdinie, S.S. – "Case Study on Analysis of Environmental Impacts for Coal and Nuclear Power Plants Using IAEA Methodologies and Tools". BATAN-IAEA, Jakarta, 2 June 2000.
5. Bui, D.T. – "Thailand Externality Study". Bagian dari [1].
6. Markandya, A. – "The External Costs of Nuclear Accidents". Bagian dari [1].

Singkatan

ANDAL	- Analisis Dampak Lingkungan
B-GLAD	- (sekedar nama program kumpulan, bukan singkatan)
C&M	- <i>Crops and Material</i>
DAM	- <i>Decicion Analysis Module</i>
ECU	- <i>European Currency Unit</i>
FGD	- <i>Flue Gas Desulphurization</i>
GDP	- <i>Gross Development Product</i>

IAEA	- <i>International Atomic Energy Agency</i>
MUV	- <i>Monetary Unit cost Value</i>
PC	- <i>Personal Computer</i>
PM₁₀	- <i>Particulate Matter up to 10 size</i>
QUERI	- <i>Quick Estimation of Respiratory health Impacts</i>
RAD	- <i>Restricted Activity Days</i>
RUWM	- <i>Robust Uniform World Model</i>
SUWM	- <i>Simple Uniform World Model</i>
WTA	- <i>Willingness To Accept</i>
WTP	- <i>Willingness To Pay</i>
YOLL	- <i>Years of Life Lost</i>