

BIAYA EKSTERNAL PLTU BATUBARA SURALAYA

Edwaren Liun¹⁾

Abstrak

BIAYA EKSTERNAL PLTU BATUBARA SURALAYA. PLTU Batubara Suralaya berada di ujung barat bagian utara Pulau Jawa. Sebagai pembangkit listrik berbahan bakar fosil, yaitu batubara, PLTU Suralaya melepaskan polutan-polutan yang menimbulkan pencemaran lingkungan seperti PM₁₀, SO₂ dan NO_x dalam pengoperasiannya. Dengan lepasnya polutan ke lingkungan, PLTU Suralaya menimbulkan *damage cost* terhadap lingkungan, khususnya berupa kesehatan manusia. *Damage cost* dihitung berdasarkan karakteristik pembangkit, produksi energi dan kondisi lingkungan seperti keadaan reseptor dan cuaca lingkungan. Hasil studi menunjukkan bahwa *damage cost* per satuan energi listrik netto yang diproduksi adalah 0,69 cents-US\$/kWh.

Abstract

EXTERNAL COST OF SURALAYA COAL STEAM POWER PLANT. Suralaya Coal Power Plants is located on the west end of Java Island. As a fossil power plant, especially coal fueled power plants, Suralaya CSPP also emits several pollutants linked to the environmental problems such as PM₁₀, SO₂ and the NO_x produced related to plant operation. As a source of pollutants, Suralaya CPP arises damage costs to the environment, especially to the human health. The damage costs are assessed according to the plant characteristic, fuel characteristic, energy produced, and the environmental condition. The study results indicate that damage cost by net electricity energy produced is 0.69 cents-US\$/kWh.

¹⁾ Bidang Sistem Energi, P2EN - BATAN

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan pengembangan kapasitas pembangkitan listrik pada sistem Jawa-Bali begitu tinggi. Hal ini disebabkan karena pertumbuhan permintaan energi listrik yang tinggi selama dua dasawarsa terakhir. Hampir separoh energi listrik yang direncanakan berasal dari PLTU batubara, antara lain PLTU Suralaya di Jawa bagian barat, PLTU Paiton di Jawa Timur dan PLTU Tanjung Jati di Jawa Tengah. Dalam hal ini pengkajian eksternalitas yang dilakukan khusus untuk PLTU Suralaya dengan kapasitas terpasang saat ini sebesar 3400 MW listrik.

Eksternalitas di sini merupakan akibat yang ditimbulkan oleh pembangkit listrik terhadap kesejahteraan manusia. Tiga jenis polutan utama yang penting dievaluasi dalam studi ini adalah *particulate matter* (PM₁₀) dengan diameter kurang dari 10 mikron (10⁻⁵ m), sulfur dioksida (SO₂), dan oksida-oksida nitrogen (NO_x). Ketiga polutan ini merupakan kriteria polutan yang umum ditemukan dalam atmosfer lingkungan yang tercemar. Ketiga polutan ini juga merupakan subjek yang ditetapkan batasan pelepasannya oleh Kantor Menteri Lingkungan Hidup.

Komposisi emisi dari pembangkit listrik merupakan fungsi dari proses pembakaran. Energi primer (misalnya batubara, minyak dan gas alam) dibakar di dalam stasiun pembangkit listrik dalam senyawa karbon yang menghasilkan CO₂ dan uap air jika pembakaran atau oksidasi berlangsung sempurna. Namun pembakaran sering tidak sempurna sehingga dihasilkan pula karbon monoksida (CO).

Oksida nitrogen dihasilkan dari pembakaran hidrokarbon bersamaan dengan keberadaan udara yang terdiri dari 78% nitrogen. Selama pembakaran kedua sumber nitrogen, baik yang berasal dari udara maupun yang terikat di dalam bahan bakar bereaksi dengan oksigen membentuk NO dan NO₂. Senyawa inilah yang secara kolektif disebut sebagai oksida nitrogen (NO_x).

Bahan bakar fosil juga mengandung sulfur yang teroksidasi menjadi SO₂ selama pembakaran. Besarnya jumlah SO₂ yang diemisikan merupakan fungsi dari karakteristik bahan bakar dan sistem pengendalian yang digunakan. Setiap batubara maupun bahan bakar minyak selalu mengandung sulfur dengan kadar yang bervariasi hingga 6% berat.

Biaya eksternal yang ditimbulkan oleh pembangkit listrik berbahan-bakar batubara mengandung makna bahwa biaya pembangkitan PLTU batubara sebagian dipikul oleh masyarakat yang terkena dampaknya, terutama berupa kerugian-kerugian kesehatan. Hal ini merupakan salah satu alasan diperlukannya alternatif jenis

pembangkit lain sebagai tambahan pemikul beban dasar sistem jaringan kelistrikan Jawa-Bali seperti PLTN.

II. TUJUAN STUDI

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi eksternalitas PLTU Suralaya dengan menggunakan metodologi dan seperangkat model yang dapat diterapkan pada objek studi. Studi menekankan pada eksternalitas secara umum yang bergantung kepada desain pembangkit, lokasi tapak PLTU, karakteristik bahanbakar, karakteristik pembangkit, dan ketentuan-ketentuan yang terkait harga energi listrik untuk menggambarkan nilai kerusakan yang ditimbulkan. Hasil studi ini menunjukkan beberapa bentuk external cost yang ditimbulkan oleh polutan-polutan primer dari pembangkit seperti abu terbang, NO_x, SO₂ dan polutan-polutan sekunder seperti nitrat dan sulfat yang dapat menyebabkan kematian dan penyakit pada penduduk di sekitar lingkungannya. Dengan dimunculkannya biaya eksternal tersebut akan lebih tergambar biaya pembangkitan PLTU tersebut sehingga dapat pula dibandingkan dengan biaya pembangkitan pada Pusat Listrik Tenaga Nuklir.

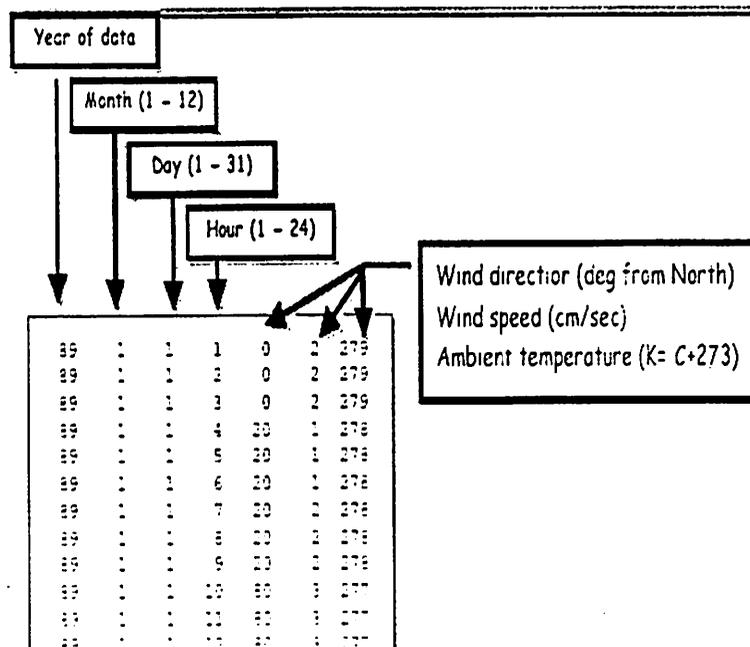
III. METODOLOGI

Studi ini menggunakan model komputasi yang dilakukan dengan program *SimPacts* pada Modul "*Airpacts*". Program terdiri dari modul-modul: "*Airpacts*" untuk komputasi "*externalities*" yang berasal dari sumber emisi stasioner bahan bakar fosil, "*Nucpacts*" untuk komputasi externalities PLTN dan "*Hydropacts*" untuk komputasi pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Dalam memprediksi dispersi polutan model *Airpacts* diperlukan data cuaca dalam penerapan persamaan *Gaussian*.

III.1. Implementasi Data Cuaca

Data cuaca yang digunakan dapat berupa data cuaca lengkap berupa arah angin, kecepatan angin dan temperatur setiap jam dalam setahun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Di samping itu dapat pula berupa data Distribusi Kelas *Pasquill* (A sampai dengan F) yang dapat berlaku sebagai data regional Pulau Jawa. Dalam studi ini digunakan data Distribusi Kelas *Pasquill* yang diperoleh terlebih dahulu dengan memasukkan data lengkap cuaca dari Calon Tapak PLTN di Semenanjung Muria untuk tahun 1995 (Sumber: Topical Report on Meteorology (Step 3), Initial Issue:

September 1995, Revision 3; November 1996, NEWJEC INC.) Data Pasquill yang diperoleh tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.



Tabel 3.1. Data Kelas Distribusi Pasquill

<i>Pasquill Distribution</i>	<i>Share</i>
<i>Class A (%)</i> :	<i>0.8</i>
<i>Class B (%)</i> :	<i>4.2</i>
<i>Class C (%)</i> :	<i>8.4</i>
<i>Class D (%)</i> :	<i>58.1</i>
<i>Class E (%)</i> :	<i>16.6</i>
<i>Class F (%)</i> :	<i>11.8</i>

Selanjutnya data temperatur rata-rata, kecepatan angin dan tinggi anemometer yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Serang ditambahkan sebagai parameter cuaca lokal seperti tabel berikut.

Tabel 3.2. Data Cuaca Lokal Wilayah Serang

<i>Parameter</i>	<i>Magnitude</i>
<i>Mean Air Temperature (K)</i> :	<i>302</i>
<i>Mean Local Wind Speed (m/s)</i> :	<i>2.2</i>
<i>Anemometer height (m)</i> :	<i>40</i>

III.2. "Exposure Response Function"

"Exposure Response Function" (ERF) merupakan korelasi antara respon penerima (misalnya orang yang terkena serangan asma, sakit radang tenggorokan, wabah paru-paru, kerugian hasil panen, dsb.). Interaksi yang sinergis antara zat kimia, karakteristik reseptor, komposisi polusi dan laju latar yang ada, parameter cuaca dan berbagai faktor lainnya memberikan sumbangan dalam menentukan dampak yang ditimbulkan oleh polutan terhadap kesehatan manusia. Berbagai studi epidemiologi yang dipublikasikan melalui literatur telah dilaksanakan oleh berbagai institusi di Eropa maupun Amerika.

Di dalam Proyek *ExternE* dari komisi Eropa, dampak-dampak kematian dinyatakan dalam istilah "Loss of Life Expectancy" (LLE) atau "Years Of Life Lost" (YOLL) terhadap seluruh penduduk lingkungan. Sebagian besar penduduk yang berada di lingkungan berisiko tidak akan mati segera akibat terpapar polusi udara. Sebagian penduduk akan mengalami dampak jangka panjang pada sistem pernafasan dan pembuluh darahnya yang juga akan berakibat pengurangan usia harapan. Para ahli epidemiologi dari *ExternE* menyimpulkan bahwa di Eropa setiap kematian yang berhubungan dengan polusi udara kehilangan usia harapan antara 6 sampai 9 bulan untuk kematian akut. Untuk paparan jangka panjang setiap kematian rata-rata akan berupa kehilangan usia harapan sekitar 11 tahun..

Untuk risiko kesehatan, Slope *ERF* (kasus tahunan per orang per $\mu\text{g}/\text{m}^3$) diperoleh dengan mengalikan rasio dengan laju insiden (kasus tahunan per reseptor pada risiko – dewasa, anak-anak, dsb.). Hubungan antara Slope *ERF*, *IRR*, *Incidence level*, f_{pop} dan *base line* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Slope } ERF = IRR \times \text{Incidence level} \times f_{pop} = IRR \times \text{Baseline} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

ERF = exposure response function

IRR = Increased risk ratio

f_{pop} = fraksi populasi

Penerapan persamaan di atas dengan parameter-parameter yang berhubungan dengan fungsi kesehatan masyarakat lingkungan dilakukan untuk menyusun parameter dampak kesehatan yang digunakan oleh Model *Queri*. Dari penyusunan ini dihasilkan daftar parameter dampak kesehatan seperti tertera pada tabel Lampiran yang berhubungan dengan respon reseptor.

III.3. Monetary Unit Cost

Monetary unit cost digunakan di dalam model untuk mendapatkan biaya ekuivalen yang disebabkan oleh polusi udara dari pembangkit. Satuan ini menilai biaya berdasarkan biaya dampak kesehatan yang dikompilasi di dalam laporan *ExternE* 1998 oleh Spadaro¹. *Unit costs* dinyatakan dalam US\$₂₀₀₀, yang merupakan biaya satuan standar untuk biaya yang berlaku di Eropa. Biaya satuan standar ini digunakan dengan mengkonversi faktor yang berlaku di Indonesia sehingga diperoleh biaya satuan Indonesia. Faktor konversi tersebut adalah:

$$UnitCost_{in\ COUNTRY} = UnitCost_{in\ EU} \times \left(\frac{PPPGNP_{COUNTRY}}{PPPGNP_{EU}} \right)^{\gamma} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

PPPGNP = Faktor dayabeli *Gross National Product per capita* Indonesia

γ = Koefisien elastisitas pendapatan, nilainya berkisar dari 0.3 s/d 1.

III.4. Perhitungan Eksternalitas

PLTU Suralaya terdiri dari dua jenis *unit size* atau kapasitas, yaitu kapasitas 400 MW dan 600 MW. Dengan adanya dua jenis kapasitas dan karakteristik yang berbeda maka terhadap masing-masing jenis dilakukan analisis sesuai dengan berbagai karakteristiknya, seperti kapasitas terpasang, konsumsi bahan-bakar spesifik, tinggi dan diameter cerobong, dan emisi spesifik unit. Hasil yang diperoleh dari salah satu unit yang sama dikalikan dengan jumlah unitnya, dan terakhir angka yang diperoleh dari kedua unit berbeda dijumlahkan.

IV. DATA DAN ASUMSI

IV.1. Lokasi PLTU Suralaya

PLTU Batubara Suralaya berada pada ujung barat laut Jawa bagian barat. Tepatnya di Kecamatan Pulo Merak Kotamadya Cilegon Propinsi Banten. Pada garis meridian tercatat dengan 105^o.1.4' Bujur Timur dan 5^o.52' Lintang Selatan. Karena titik nol koordinat meridian berada pada Greenwich dan mengarah ke barat serta dihin-

¹ AIRPACTS Input Data: Monetary Unit Costs

darinya pengenalan satuan menit dalam identifikasi model, maka posisi pembangkit menjadi 253.97° terhadap *longitude* dan -5.87° terhadap *latitude*.

Dalam pengumpulan data emisi sebenarnya semua unit pembangkit menggunakan unit-unit "Continuous Emission Monitoring System" (CEMS) pada asap untuk mengukur konsentrasi emisi emisi polutan. CEMS disambungkan ke "Local Area Network" (LAN) untuk melanjutkan pengamatan emisi yang dilepaskan. Namun unit CEMS tersebut tidak semua dan tidak selalu bekerja dengan baik, sehingga pengumpulan data emisi berdasarkan pencatatan oleh alat tersebut menjadi tidak handal.

Luas lahan yang digunakan PLTU Suralaya adalah 239 ha, terdiri dari Gedung Sentral 73 ha, silo abu 8 ha perumahan 30 ha dan sisanya berupa bukit dan hutan yang difungsikan sebagai paru-paru lingkungan sekitar. Dalam operasi rutin PLTU kualitas udara sekitar dimonitor secara periodik berkenaan dengan perubahan-perubahan yang terjadi dalam pelepasan gas asap (*flue gas*) dari cerobong.

IV.2. Penduduk

Kepadatan penduduk Pulau Jawa sangat tinggi dibanding dengan pulau-pulau lainnya di Indonesia. Berdasarkan data Statistik Indonesia Tahun 2000, sekitar 59.99% penduduk Indonesia berada di Pulau Jawa yang luasnya hanya 6.63% dari luas daratan Indonesia. Pada tahun 2000 penduduk Indonesia tercatat 203,456 juta jiwa, 122,053 juta diantaranya berada di pulau Jawa, atau kepadatan Pulau Jawa sebesar 957,29 jiwa per kilometer persegi. Sementara itu kepadatan wilayah sekitar PLTU Suralaya adalah 1014,15 jiwa per kilometer persegi. Di dalam wilayah 100 km x 100 km lingkungan PLTU Suralaya termasuk laut dan daratan ujung tenggara Sumatra kepadatan penduduk adalah 356,16 jiwa per km persegi.

Lokasi PLTU Suralaya berada di lingkungan pemerintahan Kecamatan Pulo Merak, Kotamadya Cilegon dan berbatasan dengan Kecamatan Bojonegara Kabupaten Serang. Kotamadya Cilegon terdiri dari 4 Kecamatan dengan luas wilayah 1899,65 km². Jumlah penduduk wilayah ini adalah 1.927.337 jiwa pada tahun 2000 yang 138 jiwa diantaranya penduduk tidak tetap. Sedangkan kepadatan rata-rata Kodya Cilegon adalah 1.014,57 jiwa per kilometer persegi. Salah satu kecamatan yang termasuk wilayah Kabupaten Serang di semenanjung ini dan dekat dengan PLTU Suralaya adalah Kecamatan Bojonegara yang terdiri atas 18 desa. Kedua kecamatan ini merupakan wilayah yang menerima dampak polusi udara —terutama abu terbang— dari PLTU Suralaya.

Dampak kesehatan lokal dibatasi pada wilayah sekitar pembangkit dengan radius 56 km yang dalam hal ini meliputi Kotamadya Cilegon, Kabupaten Serang, Lebak, Pandeglang, Tangerang di wilayah Banten dan Kabupaten Kalianda di wilayah Lampung.

Tabel 4.1. Kawasan Lokal yang Terliput dalam Analisis Dampak

No.	Regency/ Municipality	Household	Population	Land Area	House/RA	Pop/RA
		(Hh.)	(Pop.)	(km ²)	(Hh./km ²)	(pop./km ²)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Pandeglang	233,191	1,010,741	2,611.20	89.30	387.08
2	Lebak	249,371	1,027,053	3,120.00	79.93	329.18
3	Tangerang	693,650	2,775,435	875.73	792.08	3,169.28
4	Serang	384,843	1,631,571	1,700.00	226.38	959.75
5	Cilegon	71,898	295,766	175.05	410.73	1,689.61
6	Kalianda Reg.	-	33,300,000	33,300	-	218.00

IV.3. Data Pembangkit

Hingga saat ini PLTU Suralaya merupakan pembangkit dengan kapasitas terpasang terbesar di Indonesia. Dimiliki oleh PT Indonesia Power, anak perusahaan PT. PLN dan memasok sekitar 50% dari energi listrik yang diproduksi perusahaan tersebut atau sekitar 25% dari energi sistem kelistrikan Jawa - Bali. Pada beban penuh mengkonsumsi sekitar 27.000 ton batubara per hari dengan konsumsi bahan bakar spesifiknya 0,46 kg/kWh. Sebagian besar batubara berasal dari Tambang Batubara Bukit Asam, Sumatera Selatan. Pembangkit ini juga menggunakan minyak diesel untuk "starting" dan minyak bakar sebagai cadangan.

PLTU Suralaya dibangun dalam tiga tahap. Tahap pertama 2x400 MW, beroperasi mulai tahun 1984, tahap kedua 2x400 MW beroperasi pada tahun 1989 dan tahap ketiga 3x600 MW beroperasi pada tahun 1997, sehingga total menjadi 7 unit dengan kapasitas terpasang 3400 MW. Pembangkit ini juga dilengkapi dengan unit cadangan "gas turbine" 2x20 MW untuk menghadapi "black start". Setiap unit pembangkit dilengkapi dengan satu cerobong, sehingga untuk semua unit ada tujuh cerobong.

Dalam studi ini penentuan besarnya dampak yang mungkin ditimbulkan oleh ke semua unit pembangkit dihitung berdasarkan perhitungan dampak oleh masing-masing

unit dan selanjutnya ditambahkan sesuai jumlah unit yang ada. Dalam hal ini karena dari ketujuh unit ada dua macam kapasitas dan parameter yang berbeda, yaitu unit 400 MW dan unit 600 MW, maka dilakukan dua kali proses komputasi. Selanjutnya tinggal ditambahkan dengan unit-unit yang sama, dan terakhir dijumlah untuk keseluruhan hasil yang diperoleh dari unit yang berbeda. Adapun parameter unit yang berbeda adalah seperti pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. Parameter Cerobong

<i>Parameter</i>	<i>Type 1</i>	<i>Type 2</i>
<i>Unit Size (MW)</i>	400	600
<i>Capacity factor (%)</i>	64	64
<i>Own use (%)</i>	7	7
<i>Stack</i>		
<i>Source Longitude (deg):</i>	253.97	253.97
<i>Source Latitude (deg):</i>	-5.87	-5.87
<i>Source Location:</i>	1	1
<i>Stack Height (m):</i>	200	275
<i>Stack Diameter (m):</i>	14.6	6,5
<i>Exhaust Gas Velocity (m/s):</i>	24	24
<i>Exhaust Gas Temperature (K):</i>	345	345
<i>Pollutant Inventory</i>		
<i>NO_x (tons/year)</i>	10,629.73	14,666.34
<i>SO₂ (tons/year)</i>	10,226.07	14,767.26
<i>Particulates (tons/year)</i>	1,639.31	2,253.77

Posisi cerobong dinyatakan dalam sistem koordinat meridian berdasarkan garis lintang dan garis bujur bumi. Positif untuk lintang utara dan negatif untuk lintang selatan. Sedangkan pengenalan garis bujur bertitik awal pada daerah Greenwich dengan mengarah ke barat. Dengan demikian Posisi cerobong menjadi 253,97 derajat pada garis bujur dan -5,77 derajat pada garis lintang.

IV.4. Karakteristik Bahan Bakar

PLTU Suralaya menggunakan bahan bakar batubara yang umumnya dipasok dari tambang batubara Bukit Asam, Tanjung Enim di Sumatra Selatan. Batubara ini mengandung sulfur rendah, yaitu sekitar 0,4%, fixed carbon 44,62%, dan nilai kalor rata-rata 6870 kcal/kg.

V. ANALISIS HASIL

V.1. Dampak Emisi Udara dari PLTU

Pembakaran bahan bakar fosil, terutama batubara, menghasilkan berbagai jenis polutan yang dipancarkan ke udara yang menyebabkan dampak negatif pada kesehatan. Dampak-dampak fisik yang menyebabkan biaya kerusakan dapat ditimbulkan oleh jenis-jenis polutan primer seperti: *particulates matter (PM)*, *sulfur dioxide (SO₂)*, *nitrogen oxides (NO_x)*, *carbon monoxide (CO)*, dan juga polutan-polutan sekunder seperti aerosol nitrat dan sulfat. Polutan primer dipancarkan ke atmosfer dari sumber secara langsung, sedangkan polutan sekunder terjadi setelah polutan primer bereaksi dengan udara di atmosfer.

Polutan-polutan yang dilepaskan ke lingkungan mendapat respon sesuai dengan kondisi lingkungan dan karakteristik reseptornya. Masing-masing polutan juga mempunyai sifat kerugian yang berbeda, misalnya menyebabkan gangguan pernafasan, kematian dalam jangka waktu lama, kematian segera, dsb. Sifat penerimaan oleh reseptor ini disebut "*exposure response function (ERF)*", yang berbeda menurut jenis polutannya. Dampak polutan pada manusia meliputi serangan asma, *bronchitis* menahun, biaya pengobatan, kehilangan hari kerja dan kematian lebih dini, dsb.

Studi ini mengacu pada analisis "*Impacts Pathway Approach (IPA)*" yang mengidentifikasi lokasi sumber seperti daerah pedesaan atau perkotaan, menentukan karakteristik fisik sumber dan menyediakan inventaris *airbone release*. Model QUERI menghitung dampak kesehatan terhadap manusia untuk kawasan lokal hingga radius 50 km, dan kawasan regional hingga 1000 km.

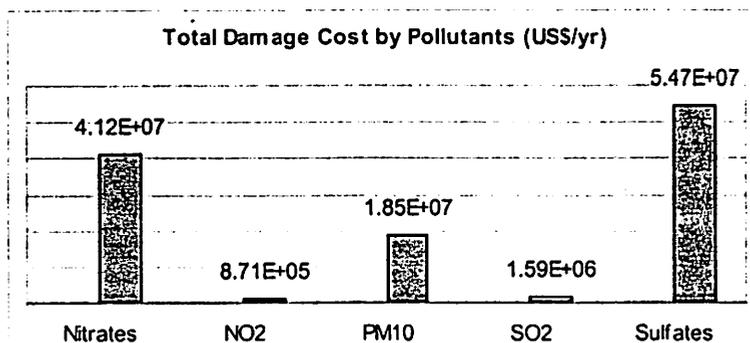
V.2. Biaya Dampak

Eksternalitas yang disebabkan oleh dampak lingkungan PLTU Suralaya dihitung dengan menggunakan QUERI dari Program SIMFACTS. QUERI dimaksudkan untuk menghitung dampak-dampak yang berkenaan dengan gangguan polutan yang masuk melalui pernafasan. Perhitungan meliputi gangguan-gangguan kesehatan akibat polutan primer maupun polutan sekunder yang menyebar di udara. Pengkategorian reseptor didasarkan pada angka statistik tahun 2000, persentase umur angka dan penyebaran penduduk dalam radius 50 km dari titik sumber.

a) Hasil Perhitungan *Damage Cost* Polutan dengan Model QUERI

Perhitungan *damage cost* didasarkan pada parameter-parameter *exposure response function (ERF)*, *ERF slope* menurut jenis polutan, *type of impact* dan biaya satuan (*unit cost*) dari ERF. Berdasarkan jenis-jenis polutan, sulfat sebagai polutan sekunder yang terbentuk dari senyawa SO_2 dengan udara di atmosfer memberikan sumbangan terbesar dalam biaya kerusakan yang ditimbulkannya, yaitu sebesar $5,47\text{E}+07$ US\$ per tahun atau 46,85%. Sebagian besar biaya kerugian ini berasal dari kematian jangka panjang (*Long Term Mortality*). Kedua berasal dari nitrat $4,12\text{E}+07$ atau 35,26%. Selanjutnya berasal dari *particulates (PM₁₀)* sebesar $1,85\text{E}+07$ atau 15,79% dari biaya total. Sedangkan yang keempat dan kelima masing-masing SO_2 dan NO_x yang menyumbang $1,59\text{E}+06$ US\$ dan $8,71\text{E}+05$ US\$ atau masing-masing 1,36% dan 0,75%.

Didasarkan pada bentuk kerugiannya, *Long Term Mortality* menduduki peringkat tertinggi sebesar $6,68\text{E}+07$ US\$ atau 58,20%. Peringkat kedua adalah *Chronic Bronchitis* sebesar $3,56\text{E}+07$ US\$ atau 30,47%. Ketiga adalah *Restricted Activity Days* sebesar $7,54\text{E}+06$ US\$ atau 6,45%. Sedangkan yang lain di bawah tiga persen terdiri dari *Lower Respiratory Symptom*, *Short Term Mortality* dan *Respiratory Hospital Admission* masing-masing 2,45%, 2,04% dan 0,08%.



Gambar 5.1. Biaya Total Kerusakan Menurut Polutan

Gambar 5.1 menunjukkan total biaya kerusakan (*damage cost*) menurut polutan. Sulfat merupakan penyumbang terbesar *damage cost* dengan kontribusi $5,47\text{E}+07$ US\$ per tahun atau sekitar 51,75% dari total *damage cost*, diikuti oleh nitrat US\$ $4,12\text{E}+07$ US\$ per tahun atau 38,94% dan PM_{10} sebesar $1,65\text{E}+07$ US\$ per tahun atau 8,10%. Sulfur dioksida dan nitrogen masing-masing menyumbang $1,59\text{E}+06$ US\$ atau 0,87% dan $8,71\text{E}+05$ US\$ atau 0,34%. Tabel-tabel berikut menunjukkan *damage cost* dan persentase sumbangannya menurut polutan penyebabnya.

Tabel 5.1. Biaya Kerugian oleh Polutan

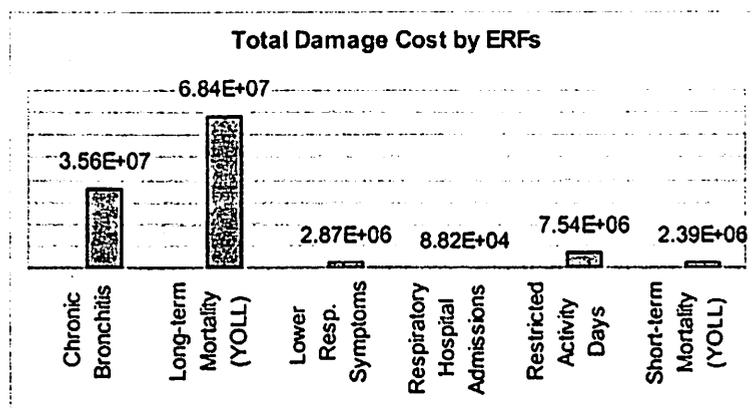
Type of Pollutant	Mean	Lower	Upper
Nitrates	4.12E+07	1.14E+07	1.52E+08
NO ₂	8.71E+05	1.49E+05	5.17E+06
PM ₁₀	1.85E+07	5.09E+06	6.81E+07
SO ₂	1.59E+06	2.72E+05	9.36E+06
Sulfates	5.47E+07	1.60E+07	1.91E+08
Total	1.17E+08	3.29E+07	4.26E+08

Tabel 5.2. Persentase Biaya Kerugian Menurut Polutan

Type of Pollutant	Mean	Lower	Upper
Nitrates	35.26%	34.56%	35.71%
NO ₂	0.75%	0.45%	1.21%
PM ₁₀	15.79%	15.48%	15.99%
SO ₂	1.36%	0.83%	2.20%
Sulfates	46.85%	48.68%	44.89%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

b) Hasil Perhitungan *Damage Cost* menurut *Exposure Response Function*

Damage costs menurut *Exposure Response Function* dikategorikan atas jenis dampak kesehatan dan biaya yang disebabkan oleh polutan. Biaya tertinggi terhadap dampak kesehatan berasal dari "long term mortality" sebesar 6,84E+07 US\$ atau 58,50% diikuti dengan *chronic bronchitis* 3,56E+07 US\$ atau 30,47%. Berikutnya adalah *restricted activity days* sebesar 7,54e+06 US\$ atau 6,45%; *lower respiratory symptom* 2,87e+06 US\$ atau 2,45%; *short term mortality* 2,39e+06 US\$ atau 2,04%; dan terakhir adalah *respiratory hospital admission* 8,82e+04 US\$ atau 0,08%. Gambar 5.2 dan Tabel 5.3 berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak kesehatan berdasarkan *Exposure Response Function*.



Gambar 5.2 - Biaya Kerugian Menurut *ERF*

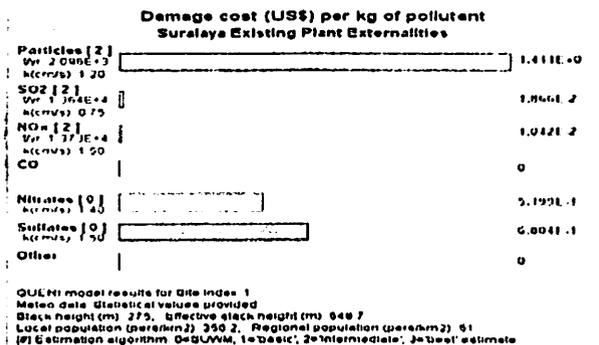
Table 5.3. Biaya Kerugian Menurut ERF

Exposure Response Function	Mean	Lower	Upper
Chronic Bronchitis	3.56E+07	1.19E+07	1.07E+08
Long-term Mortality (YOLL)	6.84E+07	1.71E+07	2.73E+08
Lower Respiratory Symptoms	2.87E+06	9.56E+05	8.60E+06
Respiratory Hospital Admissions	8.82E+04	2.94E+04	2.65E+05
Restricted Activity Days	7.54E+06	2.51E+06	2.26E+07
Short-term Mortality (YOLL)	2.39E+06	3.98E+05	1.43E+07
Total	1.17E+08	3.29E+07	4.26E+08

Table 5.4. Persentase Biaya Kerugian Menurut ERF

Exposure Response Function	Mean	Lower	Upper
Chronic Bronchitis	30.47%	36.12%	25.07%
Long-term Mortality (YOLL)	58.50%	52.02%	64.18%
Lower Respiratory Symptoms	2.45%	2.91%	2.02%
Respiratory Hospital Admissions	0.08%	0.09%	0.06%
Restricted Activity Days	6.45%	7.65%	5.31%
Short-term Mortality (YOLL)	2.04%	1.21%	3.36%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

Ditinjau dari segi dampak yang ditimbulkan berdasarkan nilai kuantitatif polutan yang dipancarkan ke lingkungan, yaitu biaya dampak kesehatan per satuan berat polutan yang dilepaskan, maka *particulates* menduduki angka tertinggi, yaitu 1,411 US\$ per kg polutan. Berikut adalah sulfat sebesar 0,604 US\$ per kg; nitrat 0,5199 US\$ per kg; dan terakhir SO₂ dan NO_x masing-masing 1,86 dan 1,012 sen US\$ per kg. Gambar 5.3 berikut manunjukkan *damage cost* per kg berat polutan.



Gambar 5.3. Damage Cost per kg Polutan

VI. KESIMPULAN

Studi eksternalitas untuk PLTU Suralaya yang ada saat ini telah dilakukan dengan Model QUERI pada Program SIMPACTS. Dampak yang dihitung adalah dampak terhadap kesehatan manusia. Polutan yang menimbulkan dampak terhadap kesehatan manusia mempunyai banyak jenis, namun yang paling penting pada PLTU batubara adalah PM_{10} , SO_2 dan NO_x .

Berdasarkan hasil perhitungan dengan QUERI "*damage cost*" tertinggi ditimbulkan oleh sulfat sebagai senyawa hasil reaksi SO_2 dari cerobong dengan udara di atmosfer, yaitu sebesar 54,7 juta US\$ per tahun. Hal ini disebabkan karena PLTU batubara ini tidak/belum memasang alat pengendalian SO_2 (*Flue Gas Desulfurization, FGD*). Nitrat menempati urutan kedua yang juga merupakan polutan sekunder dari reaksi antara NO_x dari cerobong dengan udara di atmosfer.

Ditinjau dari kategori dampak kesehatan, "*long term mortality*" menempati urutan pertama yaitu 68,4 juta US\$ per tahun dengan kontribusi sekitar 58,5%; kedua adalah "*chronic bronchitis*" 35,6 juta US\$ per tahun dengan kontribusi sekitar 30,47%.

Total kerugian (*damage cost*) yang ditimbulkan oleh PLTU Suralaya adalah 117 juta US\$ per tahun pada angka rata-rata, 32,9 juta US\$ per tahun pada angka terendah dan 426 juta US\$ per tahun angka tertinggi. Hasil ini didasarkan pada ke tujuh unit berkapasitas total 3400 MW yang terbagi atas dua jenis *unit size* dan *capacity factor* sebesar 64%. Sedangkan *damage cost* per satuan energi listrik netto yang diproduksi adalah 0,69 sen US\$/kWh.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. Suralaya Coal Power Plant, Laporan Ringkas Pegelolan dan Pemantauan Lingkungan Hidup Unit Bisnis Pembangkitan Suralaya, Januari 2002.
2. Joseph V. Spadaro, AIRPACTS Manual, International Atomic Energy Agency, Vienna, April 2002.
3. Ari Rabi, AIRPACTS Exposure Response Function, International Atomic Energy Agency, Vienna, April 2002.
4. Joseph V. Spadaro, AIRPACTS Input Data: Source Characteristics, International Atomic Energy Agency, Vienna, April 2002.
5. Joseph V. Spadaro, Specifying Receptor Data, International Atomic Energy Agency, Vienna, October 2000.

6. Joseph V. Spadaro, AIRPACTS Input Data: Exposure Response Function, International Atomic Energy Agency, Vienna, April 2002.
7. Joseph V. Spadaro, AIRPACTS, Impact Methodology, International Atomic Energy Agency, Vienna, April 2002.
8. Topical Report on Meteorology (Step 3), Initial Issue: September 1995, Revision 3: November 1996, NEWJEC INC.
9. Statistik Indonesia 2000, Badan Pusat Statistik, Jakarta – Indonesia.
10. Jawa Barat dalam Angka 2000, BPS Provinsi Jawa Barat, 2001
11. Kabupaten Serang dalam Angka 2000, BPS Kabupaten Serang, 2001
12. Kotamadya Cilegon dalam Angka 2000, BPS Kabupaten Serang, 2001.

LAMPIRAN

Damage Cost of Suralaya Coal Power Plant (QUERI)

Exposure Response Function	Pollutant	Impact	Damage Cost	Lower Cost	Upper Cost
Chronic Bronchitis - Recommended; Adults over 18; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	1.20E+02	2.54E+06	8.47E+05	7.63E+06
Chronic Bronchitis - Recommended; Adults over 18; PM10 [Rabi 2001]	PM10	5.36E+01	1.13E+06	3.77E+05	3.40E+06
Chronic Bronchitis - Recommended; Adults over 18; Sulfates [Rabi 2001]	Sulfates	3.19E+02	6.74E+06	2.25E+06	2.02E+07
Long-term Mortality (YOLL) - Recommended; Adults over 30; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	6.98E+02	8.37E+06	2.09E+06	3.35E+07
Long-term Mortality (YOLL) - Recommended; Adults over 30; PM10 [Rabi 2001]	PM10	3.09E+02	3.71E+06	9.26E+05	1.48E+07
Long-term Mortality (YOLL) - Recommended; Adults over 30; Sulfates [Rabi 2001]	Sulfates	6.59E+02	7.91E+06	1.98E+06	3.16E+07
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Adults; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	2.61E+05	2.48E+05	8.28E+04	7.45E+05
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Adults; PM10 [Rabi 2001]	PM10	1.14E+05	1.09E+05	3.62E+04	3.26E+05
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Adults; Sulfates [Rabi 2001]	Sulfates	2.44E+05	2.32E+05	7.73E+04	6.95E+05
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Children; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	1.10E+05	1.05E+05	3.49E+04	3.14E+05
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Children; PM10 [Rabi 2001]	PM10	4.87E+04	4.63E+04	1.54E+04	1.39E+05
Lower Resp. Symptoms - Recommended; Asthmatic Children; Sulfates [Rabi 2001]	Sulfates	1.04E+05	9.88E+04	3.29E+04	2.96E+05
Respiratory Hospital Admissions - Recommended; ALL; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	6.87E+00	3.71E+03	1.24E+03	1.11E+04
Respiratory Hospital Admissions - Recommended; ALL; PM10 [Rabi 2001]	PM10	3.04E+00	1.64E+03	5.47E+02	4.92E+03
Respiratory Hospital Admissions - Recommended; ALL; SO2 [Rabi 2001]	SO2	2.66E+01	1.44E+04	4.79E+03	4.31E+04
Respiratory Hospital Admissions; ALL; NO2 [Ponce de Leon, 1996]	NO2	1.10E+01	5.95E+03	1.99E+03	1.79E+04
Restricted Activity Days - Recommended; Adults over 18; Nitrates [Rabi 2001]	Nitrates	5.91E+04	8.14E+05	2.71E+05	2.44E+06
Restricted Activity Days - Recommended; Adults over 18; PM10 [Rabi 2001]	PM10	2.61E+04	3.60E+05	1.20E+05	1.08E+06
Restricted Activity Days - Recommended; Adults over 18; Sulfates [Rabi 2001]	Sulfates	7.48E+04	1.03E+06	3.44E+05	3.09E+06
Short-term Mortality (YOLL) - Recommended; ALL; SO2 [Rabi 2001]	SO2	2.16E+01	4.46E+05	7.43E+04	2.67E+06
Short-term Mortality (YOLL); ALL; NO2 [APHEA, 1997]	NO2	1.20E+01	2.48E+05	4.13E+04	1.49E+06
Total Damage Costs (US\$/year)			3.42E+07	9.61E+06	1.25E+08
Energy Unit Damage Cost (cents-US\$/kWh)			0.69	0.19	2.52

Note: Impacts estimates in cases/year; Damage Costs in US\$/year