

ANALISIS BIAYA EKSTERNAL PLTU BATUBARA

DJATI H. SALIMY, IDA N. FINAHARI, ELOK S. AMITAYANI

PUSAT PENGEMBANGAN ENERGI NUKLIR BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710
Email: djatihs@batan.go.id

Abstrak

ANALISIS BIAYA EKSTERNAL PLTU BATUBARA. Telah dilakukan analisis biaya eksternal PLTU batubara dengan membandingkan antara PLTU yang telah dilengkapi dengan penangkap emisi desulfurisasi gas buang (flue gas desulfurization, FGD) dan teknologi pembakar NO_x kadar rendah (low NO_x burner), dengan PLTU yang belum memanfaatkan teknologi tersebut. Tujuan analisis adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemanfaatan FGD dan pembakar NO_x kadar rendah terhadap biaya eksternal PLTU batubara. Perhitungan biaya eksternal dilakukan dengan Modul Airpact yang dikembangkan oleh IAEA. Hasil studi menunjukkan bahwa pemanfaatan FGD dan pembakar NO_x kadar rendah mampu menekan total biaya eksternal PLTU batubara sampai 1/7 nya. Perbandingan komponen biaya eksternal menunjukkan bahwa komponen biaya eksternal dari emisi polutan SO₂ dan sulfat lebih rendah 1/45 nya, polutan NO_x dan nitrat lebih rendah 1/3 nya, sedang untuk polutan PM₁₀ bisa lebih rendah 1/7 nya.

Kata Kunci: biaya eksternal, modul Airpact, FGD, pembakar NO_x kadar rendah

Abstract

EXTERNAL COST ANALYSIS FOR COAL POWER PLANTS. External cost analysis for coal power plant by comparing common plant with plant equipped with flue gas desulfurization (FGD) and low NO_x burner technology has been carried out. The purpose of this study is to understand the impact of equipping such complete emissions control to the external cost of coal power plants. The calculation of external cost is done by Airpact module developed by IAEA. Result of the study shows that utilization of FGD and low NO_x burner technologies is able to decrease the total external cost by about 1/7. The external cost from pollutant emission of SO₂ and sulfate, NO_x and nitrate, and PM₁₀ is lower by about 1/45, 1/3, and 1/7 respectively.

Keywords: external cost, Airpact module, flue gas desulphurization, pembakar NO_x kadar rendah

PENDAHULUAN

Struktur kelistrikan di Indonesia saat ini masih didominasi pada pemakaian bahan bakar fosil. Melonjaknya harga minyak dunia sampai harga yang relatif sangat tinggi mengakibatkan terjadinya pembengkakan subsidi pemerintah terhadap harga jual listrik yang sangat membebani APBN. Kondisi ini mendorong pemanfaatan batubara yang relatif masih murah dan melimpah meskipun dari sisi lingkungan merupakan bahan bakar fosil yang paling berpolusi. Hal ini ditandai dengan peningkatan

yang sangat signifikan sejak 20 tahun terakhir, yaitu mencapai 27%^[1].

Dibanding minyak dan gas, batubara adalah bahan bakar yang paling menimbulkan polusi pada pembakaran langsung. Ini karena perbandingan harga C terhadap H yang relatif paling tinggi pada batubara. Di samping itu, nilai kalor batubara juga relatif lebih rendah, yang berakibat dibutuhkan jumlah yang lebih besar untuk menghasilkan panas dalam jumlah yang sama.

Polutan terbesar dari pembakaran bahan bakar fosil adalah emisi CO₂, SO₂, NO_x, partikel dan debu pengotor. Emisi CO₂ bisa berdampak pada pemanasan global, sedang emisi SO₂ dan NO_x berpotensi menimbulkan hujan asam. Sementara partikel dan debu pengotor dapat mengakibatkan polusi udara yang bisa berdampak serius pada kesehatan manusia.

Biaya eksternal pembangkit listrik didefinisikan sebagai nilai moneter dan kerusakan lingkungan yang diakibatkan dari emisi gas buang pembangkit listrik^[2,3]. Biaya eksternal ini merupakan biaya yang harus ditanggung masyarakat dan lingkungan tapi tidak masuk hitungan baik oleh pihak produsen maupun konsumen energi listrik. Kerusakan lingkungan dapat berupa lingkungan alam maupun lingkungan buatan seperti: dampak polusi udara terhadap kesehatan, bangunan, tumbuhan, hutan dan pemanasan global; kecelakaan kerja dan penyakit; serta gangguan kenyamanan karena kebisingan^[4]. Aktivitas pembangkit tenaga listrik dari saat mulai pembangunan, transportasi bahan bakar, pembangkitan, transmisi dan distribusi serta penanganan limbah merupakan sumber munculnya biaya eksternal. Tetapi kontribusi terbesar dari biaya eksternal adalah pada saat operasi pembangkitan yang berupa dampak polusi udara terhadap kesehatan.

Pada makalah ini akan dilakukan analisis biaya eksternal 2 buah PLTU batubara. Parameter yang ditinjau pada penelitian ini adalah parameter teknologi pemasangan penangkap emisi gas hasil pembakaran pada PLTU batubara, yaitu *flue gas desulphurizer* (FGD). Untuk itu akan ditinjau dengan membandingkan antara PLTU batubara yang telah memasang alat pengurang emisi dan belum.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari seberapa besar pengaruh pemasangan alat penangkap emisi gas buang terhadap besarnya biaya eksternal PLTU batubara.

METODOLOGI

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai pada studi ini adalah penelusuran data berdasarkan survei yang pernah dilakukan peneliti-peneliti

sebelumnya. Untuk mencapai tujuan penelitian tahapan-tahapan yang dilakukan meliputi:

1. Melakukan pengumpulan data, yang meliputi data teknis pembangkit (terutama yang terkait dengan emisi polutan), data kependudukan, maupun data meteorologi meliputi kecepatan angin, lokasi pabrik, dll.
2. Melakukan perhitungan dan simulasi komputer dengan paket program SIMPACT untuk menghitung biaya eksternal masing-masing pembangkit.
3. Melakukan analisis hasil perhitungan.

Paket Program SIMPACTS

Paket program SIMPACTS adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) untuk menganalisis dampak kerusakan lingkungan termasuk di dalamnya menghitung dampak fisik dan biaya kerusakan terhadap kesehatan, tanaman pertanian, dan material bangunan yang diakibatkan polusi udara, polusi air permukaan, dan konversi lahan.

Paket program ini terdiri atas 3 buah modul yaitu: *AirPacts*, *NukPacts*, dan *HydroPacts*. Modul *AirPacts* digunakan untuk memprediksi dampak fisik dan biaya kerusakan terhadap kesehatan, tanaman pertanian, dan material bangunan akibat emisi udara dan sumber tak bergerak. Sedangkan *NukPacts* digunakan untuk menganalisis dampak kontaminasi radioaktif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan sebagai akibat operasi normal PLTN. Selain itu, juga dapat digunakan untuk memprediksi nilai ekspektasi kerusakan lingkungan bila terjadi kecelakaan pengoperasian PLTN. Sementara modul *HydroPacts* digunakan untuk memperkirakan kerugian dari penggunaan lahan dan pemindahan penduduk karena adanya pembangunan PLTA skala besar. Ketiga modul tersebut dapat dioperasikan sendiri-sendiri.

Dalam studi ini akan digunakan modul *AirPacts* untuk memperkirakan biaya eksternal karena gangguan kesehatan yang dihitung menggunakan metode penyebaran dampak dari emisi atau sering disebut sebagai metode *impact pathway analysis* (IPA). Emisi gas buang luaran PLTU batubara dikelompokkan menjadi 2 yaitu polutan primer dan sekunder. Polutan primer meliputi partikel pengotor dan debu terbang yang selanjutnya disebut sebagai PM₁₀, gas sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida

(NO_x). Polutan ini oleh sebarannya dipengaruhi oleh kondisi lokal (< radius 50 km dari sumber emisi) meliputi suhu, arah dan kecepatan angin serta karakteristik cerobong asap. Pada kondisi regional (> 50 km), polutan primer bertransformasi secara kimia membentuk polutan sekunder. Gas SO₂ dan NO_x bereaksi dengan oksigen di udara membentuk partikel sulfat dan nitrat.

Metode IPA untuk memprediksi besarnya dampak kerusakan oleh polutan, meliputi tahap-tahap sebagai berikut^[5]:

Kuantifikasi Emisi

Merupakan tahap awal untuk mengidentifikasi lokasi pembangkit, menentukan karakteristik pembangkit, serta menentukan jumlah dan jenis emisi yang akan dianalisis. Setiap pembangkit mempunyai koefisien emisi tertentu tergantung dari teknologi dan jenis bahan bakar yang digunakan.

Penyebaran dan Transformasi

Emisi yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik akan terdispersi dan mengalami transformasi secara kimiawi. Parameter penting yang harus dipertimbangkan adalah ketinggian dan diameter cerobong tempat mengalirnya gas buang ke lingkungan, suhu, kecepatan dan jumlah aliran gas buang. Sedang parameter penting yang mempengaruhi pola penyebaran emisi adalah parameter meteorologi seperti: arah dan kecepatan angin, dan *pasquill class* yang menunjukkan kondisi udara berada dalam keadaan stabil atau turbulen.

Estimasi Dampak

Dampak lingkungan dapat diperkirakan dengan fungsi *dose response*. Konsentrasi polutan yang melebihi ambang batas akan berpengaruh terhadap penerima polutan, baik manusia, tanaman, maupun material bangunan. Dampak terhadap kesehatan manusia dapat berupa sakit asma, bronkitis, berobat ke rumah sakit, istirahat karena sakit, sampai kematian prematur. Setiap polutan mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap kesehatan manusia. Dampak lingkungan akan semakin besar jika daerah yang terkena polusi mempunyai kepadatan penduduk yang besar.

Biaya Eksternal

Nilai moneter dan kerusakan lingkungan ditentukan berdasarkan agregat dan kuantifikasi dampak fisik baik terhadap kesehatan manusia, tumbuhan maupun material bangunan. Biaya eksternal ditentukan dengan mengalikan dampak fisik (misalnya sakit asma) dengan unit biaya yang diperlukan untuk mengatasi dampak. Estimasi biaya kesehatan merupakan masukan yang harus dipertimbangkan dalam menentukan biaya eksternal. Karena data untuk negara berkembang seperti Indonesia belum tersedia lengkap, dalam studi ini digunakan data dari negara maju dengan melakukan penyesuaian menggunakan nilai pendapatan per kapita dalam kemampuan daya beli masyarakat (*purchasing power parity*).

Asumsi dan Data

Dalam studi ini akan dilakukan analisis biaya eksternal terhadap 2 buah PLTU batubara dengan membandingkan berdasarkan parameter teknologi, yaitu antara PLTU yang telah dilengkapi dengan teknologi penyerap emisi dan yang belum. Kedua PLTU batubara tersebut selanjutnya disebut sebagai PLTU A dan PLTU B. PLTU A adalah PLTU modern telah selesai konstruksi dan dalam waktu dekat akan beroperasi. PLTU A ini telah menggunakan teknologi penyerap emisi yaitu *flue gas desulphurization* dan memanfaatkan teknologi pembakar NO_x kadar rendah. Sedangkan PLTU B merupakan PLTU yang telah beroperasi dan belum memanfaatkan teknologi pengendali emisi gas buang.

Data teknis karakteristik pembangkit

Data teknis karakteristik pembangkit secara umum dapat dilihat pada Tabel 1.

Data Meteorologi

Data yang berpengaruh pada emisi dan dampaknya adalah data kecepatan angin dan suhu ambien sekitar lokasi. Secara umum digunakan data yang sama, yang merupakan rata-rata kondisi di Indonesia. Kecepatan angin rata-rata sebesar 5,4 m/detik dan suhu ambien rata-rata sebesar 29°C. Pada Gambar 1 dan 2 ditampilkan statistik data arah angin (dalam %) dan kecepatan angin yang merupakan hasil analisis data angin sepanjang 1 tahun.

Tabel 1. Data Teknis Pembangkit^[6]

Parameter	PLTU A	PLTU B
Teknologi*	PC Steam ESP FGD Low NOx	PC Steam ESP
Daya		
Gross capacity (Mwe)	660	3400
Net Capacity (Mwe)	614	3162
Produksi Listrik (GWh/tahun)	3742	17727
Lokasi		
Garis bujur barat (°)	249,2	254
Garis lintang selatan(°)	6,4	5,9
Karakteristik cerobong		
Tinggi fisik (m)	240	245
Diameter (m)	6	5,5
Kecepatan aliran (m/s)	24	16,9
Suhu (°K)	345	360
Emisi		
SO ₂ (g/kWh)	0,13	4,88
NO _x (g/kWh)	1,47	4,81
PM ₁₀ (g/kWh)	0,11	0,75
Populasi, orang/km ²		
Lokasi (≤ 50 km)	295	356
Regional	50,5	50,5
Sifat bahan bakar batubara		
Kadar Air (%)	17,6	17,6
Kadar abu (%)	4,37	4,37
Kadar karbon (%)	62,6	62,6
Kadar belerang (%)	0,4	0,53
Nilai kalor (kcal/kg)	6870	6870

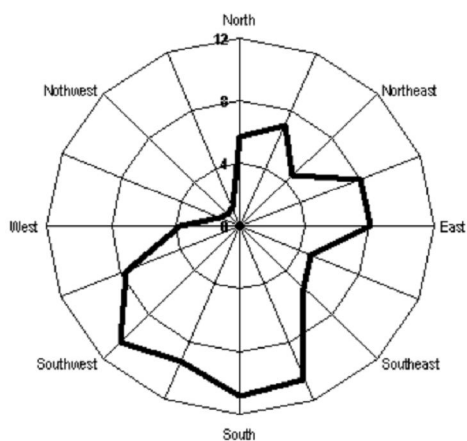
*Catatan:

PC Steam : *Pulverized coal steam*

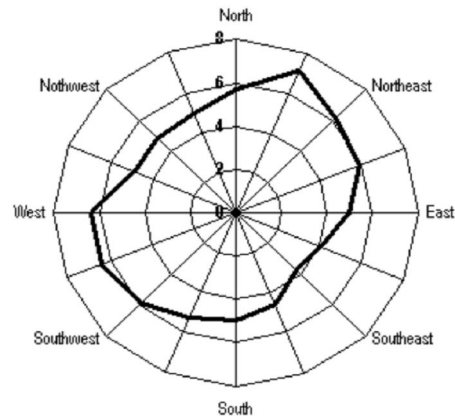
ESP : *ElectroStatic Precipitators* (penyaring debu elektrostatis)

FGD : *Flue Gas Desulfurization*

low Nox : *Pembakar NOx kadar rendah*



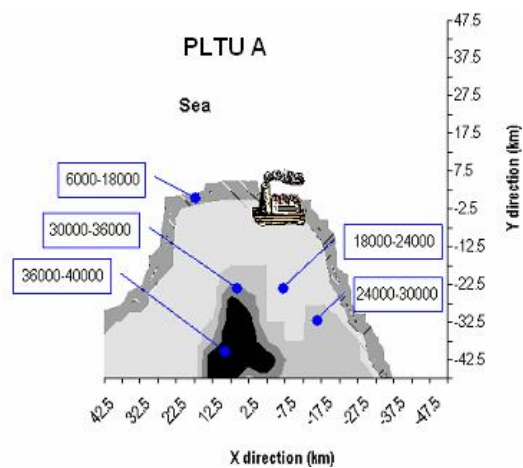
Gambar 1. Data Arah Angin (%)^[6]



Gambar 2. Data Kecepatan Angin rata-rata (m/detik)^[6]

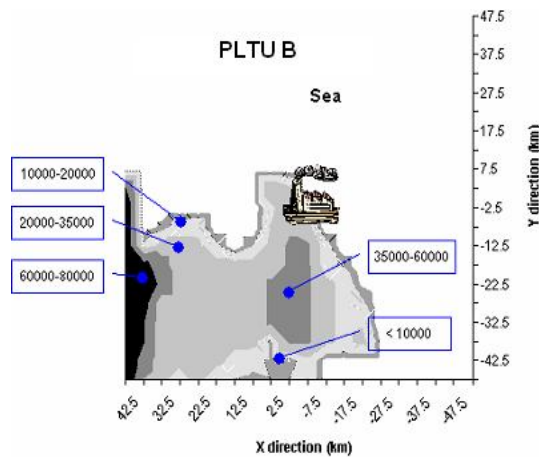
Data kepadatan penduduk

Kepadatan penduduk sekitar lokasi pembangkit terdistribusi seperti dapat dilihat pada Gambar 3 untuk PLTU A dan pada Gambar 4 untuk PLTU B. Data kepadatan penduduk diukur dalam radius $50 \times 50 \text{ km}^2$ dari sumber emisi PLTU (koordinat 0,0), dan terbagi dalam wilayah-wilayah kecil $5 \times 5 \text{ km}^2$.



Gambar 3. Distribusi Penduduk di Sekitar PLTU A^[6]

Sebagai contoh untuk PLTU A pada Gambar 3, daerah paling hitam dengan angka 36000 – 40000 menyatakan kepadatan penduduk untuk daerah kecil $5 \times 5 \text{ km}^2$. Kepadatan penduduk rata-rata sekitar PLU A adalah 295 orang/km², sedang untuk PLTU B sebesar 356 orang/km².



Gambar 4. Distribusi Penduduk di Sekitar PLTU B^[6]

Fungsi *dose response* dan dampak fisik kesehatan

Biaya eksternal dihitung berdasarkan fungsi *dose response* dikalikan dengan biaya kesehatan per unit dampak fisik kesehatan. Fungsi *dose response* karena terkena polutan digunakan untuk menentukan dampak polutan tertentu terhadap kesehatan manusia. Unit yang digunakan adalah YOLL (*years of life lost*) atau kasus per lamanya terkena polutan (dalam

tahun), banyaknya orang yang terkena, dan besarnya polutan yang mengenai ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). YOLL menyatakan berkurangnya usia orang sebagai akibat munculnya penyakit karena terkena polutan. Sebagai contoh, kematian yang diakibatkan karena polutan partikel PM_{10} sebesar $2,6 \times 10^{-4}$ YOLL ($\text{yr.person.}\mu\text{g}/\text{m}^3$), maka dampak kesehatan terhadap 1000 orang dengan konsentrasi polutan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ selama 75 tahun akan diperoleh 195 YOLL. Jika diperhitungkan untuk satu orang akan mengurangi ekspektasi usia sebesar 2,5 bulan.

Biaya kesehatan per unit dampak fisik kesehatan ditunjukkan pada Tabel 2. Dalam model *AIRPACTS* ini, nilai moneter dinyatakan dalam dolar Amerika (USD) tahun 2000 untuk Eropa. Idealnya data tersebut ditentukan berdasarkan nilai ekonomi untuk kondisi setempat. Tapi karena keterbatasan data, untuk kasus Indonesia dilakukan penyesuaian berdasarkan pendapatan per kapita dalam *purchasing power parity*. Indonesia mempunyai nilai PPPGNP sebesar \$2407/kapita, sedangkan Eropa sebesar \$20.269, sehingga biaya diasumsikan sebesar sepersembilan dari biaya di Eropa (Tabel 3).

Tabel 2. Fungsi Dose Response^[3,6]

Fungsi dose response	Polutan	Unit	Nilai
Kematian (dampak jangka panjang)	PM_{10}	YOLL/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(2,6 - 3,34) \times 10^{-4}$
Keterbatasan aktivitas sehari-hari	PM_{10}	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(2,20 - 3,67) \times 10^{-2}$
Bronkitis kronis jangka panjang	PM_{10}	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(4,51 - 7,53) \times 10^{-5}$
Dirawat karena gangguan pernafasan	PM_{10}	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(2,56 - 4,28) \times 10^{-6}$
Gejala gangguan pernafasan pada orang dewasa	PM_{10}	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(9,62 - 16,1) \times 10^{-2}$
Gejala gangguan pernafasan pada anak-anak	PM_{10}	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$(4,10 - 6,85) \times 10^{-2}$
Kematian (dampak jangka pendek)	SO_2	YOLL/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$2,30 \times 10^{-6}$
Dirawat karena sakit pernafasan	SO_2	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$2,84 \times 10^{-6}$
Kematian (dampak jangka pendek)	NO_x	YOLL/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$1,70 \times 10^{-6}$
Dirawat karena sakit pernafasan	NO_x	kasus/(yr.person. $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$1,56 \times 10^{-6}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biaya eksternal ditentukan sebagai biaya dampak kerusakan yang diakibatkan emisi partikel gas buang (dalam USD) dibagi dengan produksi listrik dari PLTU (kWh). Biaya eksternal dinyatakan dalam sen dollar per kWh ($\text{¢}/\text{kWh}$). Hasil eksekusi modul *Airpact* untuk

data PLTU A dan PLTU B dirangkum dan ditampilkan pada Tabel 4 dan Gambar 5.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa, ditinjau dari segi dampak yang ditimbulkan dari emisi PLTU batubara, dampak mortalitas sekitar 60%, sedang dampak morbiditas sekitar 40%. Sedang dari jenis polutan, polutan primer

Tabel 3. Dampak Fisik Kesehatan^[3,6]

Dampak Fisik Kesehatan	Unit	Nilai
Kematian (dampak jangka panjang)	USD per YOLL	12000
Kematian (dampak jangka pendek)	USD per YOLL	20700
Keterbatasan aktivitas sehari-hari	USD per kejadian	14
Bronkitis kronis jangka panjang	USD per kejadian	21000
Dirawat karena sakit pernapasan	USD per kejadian	540
Gejala sakit pernapasan (orang dewasa)	USD per kejadian	1
Gejala sakit pernapasan (anak-anak)	USD per kejadian	1
Kanker fatal	USD per kejadian	340000
Kanker ringan	USD per kejadian	70000
Penyakit menurun yang kronis	USD per kejadian	490000
Catatan		
USD = Dolar Amerika		

menyumbang biaya eksternal hanya sekitar 10%, sisanya disumbang oleh polutan sekunder. Ini disebabkan karena polutan primer SO₂ dan NO_x dalam penyebarannya akan berubah menjadi polutan sekunder sulfat dan nitrat setelah beberapa km dari sumber emisi

Jika dibandingkan antara PLTU dengan sistem pengendali emisi yang lengkap dan yang belum, pemasangan *flue gas desulfurization* (FGD) dan pemakaian teknologi *Pembakar NO_x kadar rendah* berpengaruh sangat signifikan terhadap penurunan biaya eksternal PLTU batubara. Secara total, biaya eksternal PLTU tanpa pemasangan FGD dan teknologi *Pembakar NO_x kadar rendah*, biaya eksternalnya nya sekitar 7 kali lebih mahal. Sedang jika ditinjau dari komponen polutan, untuk polutan primer SO₂ dan polutan sekunder sulfat, biaya eksternalnya lebih mahal sampai 45 kalinya. Untuk polutan NO_x dan polutan sekundernya (nitrat), biaya eksternalnya hanya 3 kali lebih mahal. Sedang untuk polutan PM₁₀, biaya eksternalnya sekitar 7 kali lebih mahal. Dari hal tersebut, bisa dipahami bahwa pemasangan FGD dengan kemampuan efisiensi penyerapan sampai 96% sangat berkemampuan menyerap SO₂ dari cerobong asap. Ini berdampak sangat rendahnya komponen biaya eksternal yang disumbang dari emisi SO₂ dan polutan sekundernya (sulfat). Sedang pemanfaatan teknologi pembakaran *Pembakar NO_x kadar rendah* mampu menekan komponen biaya eksternal sampai 1/3 nya, ini

karena Nox terbentuk sebagai sesuatu yang alamiah pada setiap proses pembakaran.

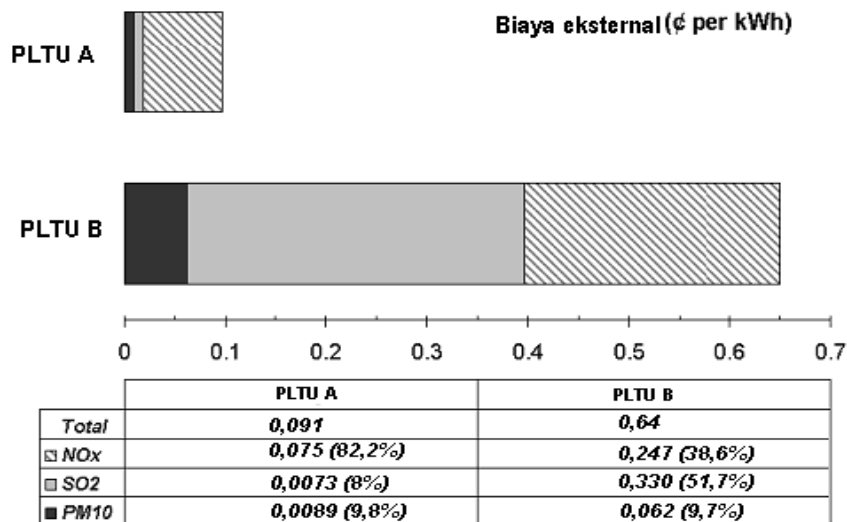
Tabel 4. Perbandingan Biaya Eksternal PLTU Batubara

Polutan	PLTU A	PLTU B	Rasio ^{o)}
PM10			
Mortalitas, (¢\$/kWh)	0,00624	0,0434	
Morbiditas, (¢\$/kWh)	0,00269	0,0186	
Subtotal, (¢\$/kWh)	0,00893	0,062	6,94
SO ₂			
Mortalitas, (¢\$/kWh)	0,00016	0,00798	
morbiditas (¢\$/kWh)	0,000034	0,000298	
subtotal (¢\$/kWh)	0,000194	0,008278	42,67
NO _x			
Mortalitas, (¢\$/kWh)	0,000725	0,00254	
morbiditas (¢\$/kWh)	0,000201	0,000056	
subtotal (¢\$/kWh)	0,000926	0,002596	2,80
Sulfat			
Mortalitas, (¢\$/kWh)	0,00301	0,16	
morbiditas (¢\$/kWh)	0,00405	0,162	
subtotal (¢\$/kWh)	0,00706	0,322	45,60

Tabel 4. Perbandingan Biaya Eksternal PLTU
Batubara (lanjutan)

Polutan	PLTU A	PLTU B	Rasio ^{*)}
Nitrat			
Mortalitas, (¢\$/kWh)	0,0503	0,171	
Morbidity, (¢\$/kWh)	0,0237	0,0733	
subtotal (¢\$/kWh)			3,30
Total			
Mortalitas, (¢/kWh)	0,054195	0,34152	
%	59,48	53,43	
Morbidity, (¢/kWh)	0,027985	0,235654	6,30
%	30,71	36,86	0,89
Total			8,42
%			1,20
Polutan primer, (¢/kWh)	0,01005	0,072974	
%	11,03	11,40	
Polutan sekunder, (¢/kWh)	0,08106	0,5663	
%	88,96	88,59	
Total (¢/kWh)	0,09111	0,639174	7,01

^{*)} Perbandingan biaya eksternal PLTU B terhadap PLTU A



Catatan. Harga SO₂ sudah termasuk sulfat sebagai polutan sekundernya
Harga NO_x sudah termasuk nitrat sebagai polutan sekundernya

Gambar 5. Perbandingan Biaya Eksternal PLTU Batubara

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pemasangan *flue gas desulfurization* dan pemanfaatan teknologi *Pembakar NOx kadar rendah* untuk menyerap dan mengendalikan emisi gas hasil pembakaran pada PLTU A, akan menurunkan komponen biaya eksternal emisi SO₂ dan sulfat dalam jumlah penurunan sampai 45 kalinya, biaya eksternal emisi NO_x dan nitrat turun 3 kali lipat, dan untuk polutan PM₁₀ turun sekitar 7 kali lipat.
2. Total biaya eksternal PLTU A (dengan pemanfaatan teknologi FGD dan *Pembakar NOx kadar rendah*), akan 7 kali lebih murah disbanding PLTU B yang belum memanfaatkan penangkap emisi gas buang.

DAFTAR ACUAN

1. DESDM, *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2005-2015*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2005.
2. LECHON, Y., CABAL, H., GOMEZ, M., SANCHEZ, E., AND SAEZ, R., *Environmental Externalities Caused by SO₂ and Ozone Pollution in the Metropolitan of Madrid*, *Environmental Science & Policy*, Vol. 5, 2002.
3. SPADARO, J. V., *A Simplified Methodology for Calculating the Health Impact and Damage Cost of Airborne Pollution: The Uniform World Models*, IAEA, 2002.
4. KOVACEVIC, T., TOMSIC, Z., DEBRECIN, N., *External Cost of Electricity*, 18th Congress of World Energy Council, Buenos Aires, 2001.
5. IAEA, AIRPACT MANUAL (Version 1.0), IAEA Publ, Vienna, 2002.
6. _____, *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia*, Phase II, Report Prepared for the International Atomic Energy Agency, 2003.