

## PENAKARAN DAUR HIDUP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BATUBARA KAPASITAS 50 MWATT

**KARTINI MEGASARI, DENI SWANTOMO, MARIA CHRISTINA P**

*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008 DIY 55010  
Telp. 0274.489716, Faks.489715*

### **Abstrak**

**PENAKARAN DAUR HIDUP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) BATUBARA KAPASITAS 50 MWATT.** PLTU batubara telah digunakan secara besar-besaran sebagai sumber energi di Indonesia yang terus meningkat populasi dan kebutuhan energinya. Polusi udara yang diakibatkan pembakaran batubara sangat berbahaya bagi lingkungan. Dalam mengestimasi dampak lingkungan PLTU batubara dapat menggunakan metode Penakaran Daur Hidup atau Life Cycle Assessment (LCA). Life Cycle Assessment merupakan suatu metode analisis sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan meminimalkan dampak lingkungan suatu proses. Studi LCA yang dilakukan menjadi empat bagian utama: proses penambangan batubara, transportasi, pengolahan batubara, dan proses di PLTU. Dalam menfokuskan studi dampak PLTU, telah dilakukan penakaran terhadap emisi, limbah, material, dan energi yang digunakan dalam PLTU batubara 50 MWatt. Hasil studi yang dilakukan dapat digunakan untuk menentukan bagian proses mana yang memberi dampak lingkungan paling besar dan menfokuskan langkah perbaikannya, sehingga lebih ramah lingkungan.

*Kata kunci : Penakaran Daur Hidup, PLTU batubara*

### **Abstract**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF 50 MWATT COAL-FIRED POWER PLANTS.** Coal-fired power plants are increasingly used as a source of energy in Indonesia that are experiencing rapid population growth and energy demands. Air pollution caused by coal energy production is a very serious environmental problem. Estimating the environmental impact of coal-fired power plants can be conducted using Life Cycle Assessment (LCA). LCA is a systematic analytical method that helps identify, evaluate, and minimize the environmental impacts of a specific process. The LCA of processes studied was divided into four main subsystems: coal mining, transportation, coal processes, and electricity generation. In addition to focusing on the impacts from the power plant, the emissions, waste, material resources consumption, and energy use of all processes required for 50 MWatt Coal-fired power plants to operate, were assessed. The resulted study can help to determine which areas have the greatest environmental burdens and to focus on improving process steps.

*Keywords : Life Cycle Assessment, Coal-fired power plants*

### **PENDAHULUAN**

Sumber energi di Indonesia ditandai dengan keterbatasan cadangan minyak bumi, cadangan gas alam yang mencukupi serta cadangan batubara yang melimpah. Sumber daya energi batubara diperkirakan sebesar 36,5 milyar ton, dengan sekitar 5,1 milyar ton dikategorikan sebagai cadangan terukur.

Sumber daya ini sebagian besar berada di Kalimantan yaitu sebesar 61 %, di Sumatera sebesar 38 % dan sisanya tersebar di wilayah lain<sup>[1]</sup>. Selama sepuluh tahun terakhir ini penggunaan batubara dalam negeri terus mengalami pertumbuhan sejalan dengan pertumbuhan perekonomian dan industrialisasi. Sektor tenaga listrik merupakan sektor yang mengkonsumsi batubara paling besar. Pada saat ini ada 30 % pembangkit listrik yang

menggunakan bahan bakar batubara. Diperkirakan konsumsi batubara untuk pembangkit listrik akan mencapai dua kali lipat pada awal abad 21. Permasalahan utama dalam pemanfaatan batubara adalah gas buang hasil pembakaran yang menghasilkan polutan seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan abu terbang (*fly ash*). Pembakaran batubara juga menghasilkan CO<sub>2</sub> yang berperan dalam proses pemanasan global. Permasalahan tersebut sedang dicari pemecahannya melalui penelitian yang telah dan sedang dikembangkan saat ini.

Banyak penelitian secara teknis yang telah dilakukan untuk mengurangi dampak negatif kegiatan PLTU batubara diantaranya adalah sistem pembakaran batubara bersih<sup>[1]</sup>, dan teknologi daur kombinasi gasifikasi batubara terintegrasi yang dapat menurunkan tingkat emisi yang dihasilkan PLTU batubara<sup>[2]</sup>. Aktivitas riset dalam PLTU batubara saat ini dapat menerapkan konsep Penakaran Daur Hidup atau *Life Cycle Assessment (LCA)*. *Life Cycle Assessment* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak suatu produk terhadap lingkungan. Konsep dasar LCA didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak dapat terlepas dengan lingkungan tempat industri itu berada. Masyarakat Toksikologi Lingkungan dan Kimia (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC*) telah berperan penting dalam mengembangkan kerangka kerja LCA dan telah menstandarisasinya dengan seri ISO 14040 khusus mengenai LCA. Studi LCA telah digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan rumah sakit<sup>[3]</sup>, industri lampu<sup>[4]</sup>, dan mengevaluasi emisi gas rumah kaca dari PLTN<sup>[5]</sup>. Penakaran daur hidup dapat digunakan untuk identifikasi permasalahan dalam siklus hidup PLTU batubara dan pengembangan kebijakan untuk perbaikan dan merupakan suatu aspek lingkungan dari produk.

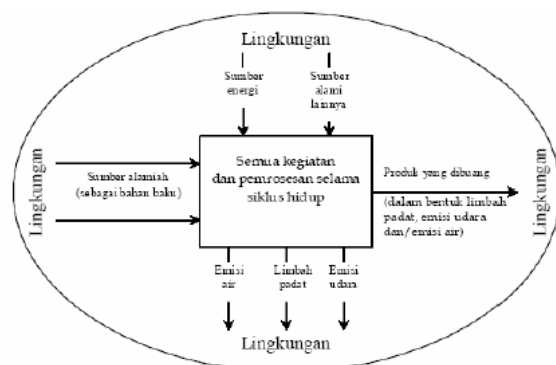
Tujuan utama studi pendahuluan Penakaran Daur Hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis aspek lingkungan PLTU batubara kapasitas 50 MWatt. Semua aliran bahan, energi dan emisi untuk tiap-tiap tahapan sistem dianalisis mulai dari penambangan batubara sampai energi listrik tersuplai pada konsumen. Dengan melakukan studi pendahuluan LCA diharapkan dapat digunakan

untuk mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan suatu sistem proses yang berwawasan lingkungan.

## DASAR TEORI

Penakaran daur hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) adalah suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya konsumsi energi, bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk tersebut sepanjang siklus hidupnya<sup>[6]</sup>. Siklus hidup suatu produk dimulai dari bahan baku yang diambil dari alam, diproses di pabrik, digunakan oleh konsumen sampai menjadi limbah yang dibuang kembali ke alam. Penakaran siklus ini sifatnya menyeluruh sehingga biasa disebut analisis "*cradle to grave*". Pada setiap tahapan siklus hidup akan mengkonsumsi sumberdaya dan menghasilkan emisi atau limbah. Dampak lingkungan tiap tahapan dalam siklus hidup produk atau jasa perlu diketahui.

Dalam suatu sistem industri terdapat input dan output. Input dalam sistem berupa material-material yang diambil dari lingkungan dan outputnya akan dibuang ke lingkungan kembali. Input dan output sistem industri ini akan menghasilkan dampak terhadap lingkungan. Pengambilan input material yang berlebihan akan mengakibatkan semakin berkurangnya persediaan di alam, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri yang bisa berupa limbah (padat, cair, atau udara) akan memberi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan menerapkan LCA dapat dilakukan evaluasi untuk meminimalkan pengambilan material dari lingkungan dan limbah industri yang dihasilkan.



Gambar 1. Konsep LCA pada suatu sistem<sup>[7]</sup>

Pengkajian LCA sangat penting dilakukan karena berorientasi produk atau jasa, pendekatan integratif, dan dirancang untuk menyediakan informasi paling ilmiah dan kuantitatif yang dapat mendukung pengambilan keputusan.

LCA dapat digunakan untuk menangani dampak lingkungan dari produk, proses, atau aktifitas dalam seluruh siklus hidup mulai dari ekstraksi material mentah, pemrosesan, transportasi, penggunaan, dan pembuangan akhir. Manfaat penerapan konsep LCA adalah sebagai berikut:

1. Perbaikan produk: LCA dapat mengidentifikasi pilihan biaya paling efisien dan efektif bagi pengurangan dampak lingkungan dari produk atau jasa. Perbaikan ini dapat membuat produk lebih diinginkan oleh konsumen.
2. Perbaikan proses: LCA dapat diterapkan untuk mengevaluasi operasi atau proses produksi perusahaan. Hal ini merupakan metode yang berguna untuk menghitung sumberdaya dan penggunaan energi. Manfaat LCA dapat menawarkan pilihan bagi perbaikan efisiensi seperti meminimalkan limbah, penggunaan sumberdaya lebih sedikit, dan memperbaiki kualitas proses.
3. Perencanaan strategis: LCA dapat digunakan sebagai perencanaan strategis. Jika peraturan lingkungan dan harapan lingkungan meningkat, akan mengakibatkan peningkatan tekanan terhadap perusahaan untuk memperbaiki kinerja operasinya.

Komponen utama LCA dapat dibagi menjadi empat bagian, yaitu<sup>[6]</sup>:

1. Tujuan dan cakupan (*Goal and Scoping*)  
Tujuan dan cakupan perlu dirumuskan untuk dilakukan inventarisasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan dampak penting yang ditimbulkan oleh proses atau produk tertentu terhadap lingkungan.
2. Analisis inventori (*Inventory Analysis*)  
Analisis inventori merupakan bagian LCA yang berisi inventori input yang berupa

energi maupun bahan baku, dan output emisi maupun limbah. Pada proses ini dilakukan pengumpulan data kuantitatif untuk menentukan level atau tipe input energi maupun material pada suatu sistem industri dan hasil yang di lepaskan ke lingkungan.

3. Penakaran dampak (*Impact Assessment*)  
Penakaran dampak digunakan untuk menganalisis dampak suatu proses terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang telah didata secara kuantitatif pada penakaran inventori. Dalam pengklasifikasian, data inventori yang dihubungkan dengan efek potensi terhadap ekologi dan kesehatan manusia ditempatkan dalam kategori-kategori khusus.
4. Interpretasi atau analisis perbaikan (*Improvement Analysis*)  
Pada tahapan ini dilakukan interpretasi hasil, evaluasi, dan analisis terhadap usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk perbaikan.

## METODOLOGI

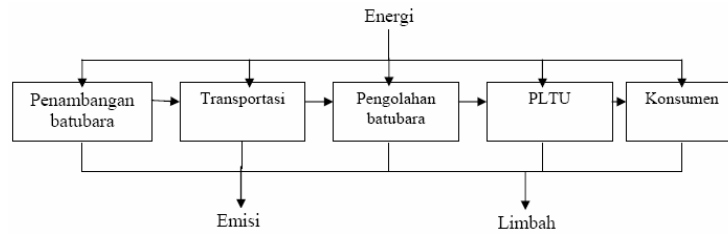
Studi LCA dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data dan informasi dari buku serta jurnal yang terkait dengan LCA dan PLTU batubara.
2. Menganalisis sistem dalam PLTU batubara 50 MWatt.
3. Menganalisis LCA pada PLTU batubara 50 MWatt.

## PEMBAHASAN

### Cakupan

Dalam LCA ini mempunyai cakupan semua proses yang penting dalam produksi listrik PLTU batubara mulai dari proses penambangan batubara, pengolahan batu bara, transportasi dan pengoperasian PLTU. Cakupan LCA ini ditunjukkan pada gambar 1.

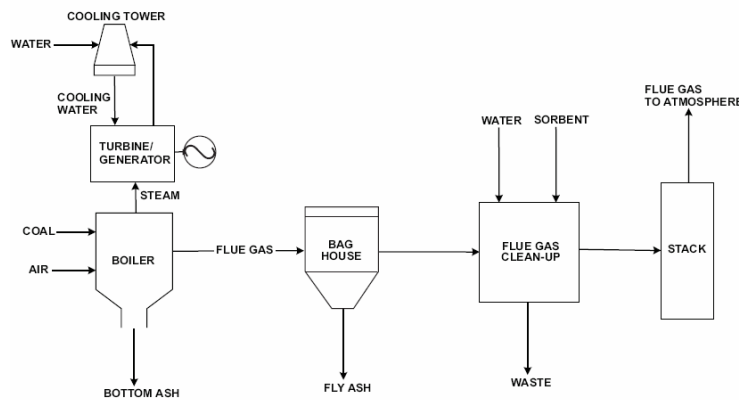


Gambar 1. Cakupan LCA

**Analisis Inventori**

Sebelum dilakukan analisis inventori perlu diketahui terlebih dulu tentang deskripsi PLTU batubara yang akan dianalisis. PLTU batubara pada umumnya terdiri atas boiler penghancur batubara (*pulverized coal boiler*),

menara filter (*baghouse filter*), sistem pembersih udara (*flue gas clean up*), generator uap untuk rekoveri panas (*heat recovery steam generator*), dan turbin uap (*steam turbine*) ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema PLTU Batubara<sup>[8]</sup>

Data PLTU batubara yang akan dianalisis ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data PLTU Batubara

Parameter Perancangan	Data
Kapasitas PLTU	50 MWatt (100 %)
Efisiensi PLTU	65 %
Pola Operasi	24 jam

Pada analisis ini jenis batubara yang digunakan adalah batubara *bituminous*. Komposisi batubara *bituminous* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Batubara Bituminous

Komposisi	Persen (%) berat (batubara kering)
Karbon	78
Oksigen	5
Hidrogen	4,3
Nitrogen	1
Sulfur	0,8
Kandungan air	5,2
Lain-lain : Abu ( <i>Ash</i> )	5,7
<i>Heating Value</i>	7555,3 kkal/kg batubara

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat dihitung kebutuhan batubara untuk PLTU, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{PLTU batubara 50 Mwatt} &= 4,29923 \cdot 10^7 \text{ kkal/jam} \sim 100\% \\
 \text{Panas diubah menjadi listrik} &= (4,29923 \cdot 10^7 \times (100/65)) \\
 &= 66.142.000 \text{ kkal/jam} \sim 65\% \\
 \text{Kebutuhan batubara} &= (66.142.000 \text{ kkal/jam} : 7555,3 \text{ kkal/kg}) \\
 &= 8.754,384 \text{ kg/jam} \\
 \text{Dalam sehari membutuhkan batubara} &= 210.105,224 \text{ kg/hari} \\
 &= 210,1 \text{ ton/hari}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan cakupan LCA yang telah ditentukan, analisis inventori dilakukan pada empat tahap, yaitu :

- penambangan batubara;
- transportasi;
- pengolahan batubara
- proses dalam PLTU

### Penambangan batubara

PLTU batubara kapasitas 50 MWatt dengan dengan efisiensi 65 % memerlukan bahan baku batubara sebanyak 210,1 ton/hari sebagai bahan bakarnya. Pada analisis ini

proses penambangan batubara yang digunakan adalah proses penambangan batubara bawah tanah. Proses penambangan batubara bawah tanah terdiri atas proses pemotongan (*cutting*), pengeboran (*drilling*), peledakan (*blasting*), pemuatan (*loading*), dan pengangkutan (*hauling*). Inventori untuk input material, energi penambangan batubara bawah tanah dengan kapasitas 1 juta ton batubara/tahun telah dilakukan oleh Sokka pada tahun 2005 ditunjukkan pada Tabel 3<sup>[7]</sup>.

Tabel 3. Data Inventori Input Material dan Energi Pada Penambangan Batubara

Peralatan	Jumlah	Berat per alat (ton)	Energi yang dibutuhkan dalam MWatt/hari (untuk 1juta ton batubara)	Energi yang dibutuhkan dalam MWatt/hari (untuk PLTU 50 MWatt = 210,1 ton batubara)
Unit terowongan	2	45	28,6	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Unit Alat tambang	3	50	9,0	$1,9 \cdot 10^{-4}$
Mobil angkut	6	18	4,0	$8,4 \cdot 10^{-5}$
Penahan terowongan	4	14	0,9	$1,9 \cdot 10^{-5}$
Unit pengumpan	3	19	1,9	$3,9 \cdot 10^{-5}$
Jeep mekanik, jeep personal	11	1,6	1,0	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Unit penghancur batuan	3	6	0,8	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Unit pengontrol debu	3	6	0,5	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Unit mobil perbekalan	30	1,9	2,1	$4,4 \cdot 10^{-5}$
conveyor	7,3 km	-	9,6	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Rel lintasan	8,4 km	-	-	-
Bulldozer	1	4,3	2,0	$4,2 \cdot 10^{-5}$
Truk	2	1,6	2,0	$4,2 \cdot 10^{-5}$

Inventori emisi dan limbah menggunakan data dari NERL (National Renewable Energy Laboratory) ditunjukkan pada Tabel 4, dan 5<sup>[9]</sup>.

Tabel 4. Emisi Udara Proses Penambangan Batubara

Komposisi	Jumlah (g/kWatt)	Jumlah (g/ 50 MWatt)
Aldehid	$4,37 \cdot 10^{-5}$	2,185
Amoniak	0,09	4.500
Karbon dioksida	958,8	47.940.000
Karbonmonoksida	$8,01 \cdot 10^{-3}$	400,5
Fluorida	$6,65 \cdot 10^{-8}$	$3,325 \cdot 10^{-3}$
Senyawa volatil organik	0,08	4.000
Hidrogen Fluorida	$8,9 \cdot 10^{-9}$	$4,45 \cdot 10^{-4}$
Hidrogen Sulfida	$2,76 \cdot 10^{-9}$	$1,38 \cdot 10^{-4}$
metana	0,89	44.500
Merkuri	$1,01 \cdot 10^{-9}$	$5,05 \cdot 10^{-5}$
Nitrogen oksida	0,03	1.500
Sulfur dioksida (SO <sub>2</sub> )	0,067	3.350

Tabel 5. Limbah Cair Penambangan Batubara

Komposisi	Jumlah (g/kWatt)	Jumlah (g/ 50 MWatt)
Asam	$2,54 \cdot 10^{-5}$	1,27
Amoniak	$2,35 \cdot 10^{-2}$	1.175
Klorida	$3,08 \cdot 10^{-6}$	0,154
Sianida	$6,88 \cdot 10^{-8}$	$3,44 \cdot 10^{-3}$
Nitrat	$2,22 \cdot 10^{-9}$	$1,11 \cdot 10^{-4}$
Asam Nitrit	$1,53 \cdot 10^{-6}$	0,0765
Fenol	$1,3 \cdot 10^{-3}$	65
Sulfat	$1,11 \cdot 10^{-6}$	0,0555
Sulfit	$1,31 \cdot 10^{-9}$	$6,55 \cdot 10^{-5}$

### Transportasi

Lokasi pertambangan batubara berjarak 200 km dari pabrik pengolahan batubara. Pola transportasi yang digunakan adalah truk dan kereta api. Transportasi batubara menggunakan truk sejauh 40 km sedangkan transportasi menggunakan kereta api untuk jarak 160 km.

Data yang digunakan untuk menganalisis inventori transportasi batubara menggunakan data inventori yang dilakukan oleh Sokka pada

tahun 2005<sup>[7]</sup>. Kebutuhan energi untuk transportasi batubara ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kebutuhan Energi Untuk Transportasi Batubara

Jenis transportasi	Energi (KWatt/ton/km)	Jarak (km)	Berat batubara dalam ton/hari (PLTU 50 MWatt)	Jumlah Energi dalam kWatt/hari (PLTU 50 MWatt)
Truk	0,0014	40	210,1	11,7656
Kereta api	0,02	160	210,1	672,32

Data emisi yang dihasilkan pada proses transportasi batubara ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Emisi yang Dihasilkan Pada Transportasi Batubara

Jenis Emisi	Jumlah emisi per MWatt	Jumlah emisi (PLTU 50 MWatt)
CO <sub>2</sub>	11,1 kg	555 kg
NO <sub>x</sub>	164,3 g	8,215 kg
SO <sub>2</sub>	137,7 g	6,885 kg
CH <sub>4</sub>	11,8 g	0,590 kg
Partikulat	10,4 g	0,520 kg

### Pengolahan Batubara

Batubara hasil tambang perlu diolah terlebih dulu untuk meningkatkan kualitas pembakarannya dan menurunkan emisi pembakaran. Proses pengolahan batubara pada umumnya terdiri dari proses pengecilan ukuran batubara dan pemisahan batubara dari bahan mineral pengotor lain. Menurut *Kirk-Othmer's Encyclopedia of Chemical Technology* proses pengolahan batubara yang paling banyak digunakan adalah proses pencucian Jig (*Jig Washing*). Dalam proses *Jig washing*, batubara dipisahkan dari pengotor dengan proses getaran aliran air (*pulsating flow water*). Partikulat batubara bersih yang ringan akan keluar pada bagian atas *Jig* dan pengotor yang lebih berat akan keluar dari bawah<sup>[10]</sup>.

Perhitungan analisis inventori proses pengolahan batubara dengan proses *Jig Washing* menggunakan data dari<sup>[11]</sup>Bechtel dan Amoco (1993) ditunjukkan pada Tabel 8<sup>[11]</sup>.

Tabel 8. Analisis Inventori Pengolahan Batubara Proses Jig Washing

Jenis	Jumlah	Jumlah untuk PLTU 50 MWatt
Konsumsi energi	7,9.105 J/ton batubara	3,95.1010 J
Konsumsi air	0,17 m <sup>3</sup> /ton batubara	35,717 m <sup>3</sup>
Pengotor yang dibuang	0,35 ton/ton batubara	73,535 ton

### Proses dalam PLTU

Analisis inventori pada proses dalam PLTU dimulai dari batubara masuk pada sistem PLTU hingga dihasilkannya listrik. Sumber data untuk membuat analisis inventori menggunakan data dari NERL. Hasil inventori ditunjukkan pada Tabel 9, 10, dan 11<sup>[9]</sup>.

Tabel 9. Analisis Input Pada PLTU 50 MWatt

Jenis Input	Jumlah untuk PLTU 50 MWatt (kg)
Batubara	210.100
Kapur untuk pengolahan limbah FGC	338,45
Tembaga oksida untuk pembersihan gas	13,4
Amonia untuk pengolahan limbah NO <sub>x</sub>	6,8
Gas alam untuk regenerasi absorben CuO	190,5

Tabel 10. Analisis Limbah Padat Pada PLTU 50 MWatt

Jenis Limbah Padat	Jumlah Limbah (kg)
Limbah padat total	4.250
Limbah padat <i>landfilled</i>	3.236,1
Abu layang	1.784,25
Abu layang <i>landfilled</i>	1.284,65

Tabel 11. Analisis Emisi Udara  
Pada PLTU 50 MWatt

Jenis Emisi Udara	Jumlah Emisi untuk PLTU 50 MWatt (kg)
NO <sub>x</sub>	151,95
SO <sub>x</sub>	320
CO	6,7
CO <sub>2</sub>	48.496,25
Partikulat	6,75
Senyawa organik volatil	0,8

### Penakaran Dampak

Data mengenai efek negatif yang diakibatkan dari masing-masing kategori telah dirangkum pada Tabel 13 walaupun tidak menjelaskan secara lengkap efek toksikologinya. Tujuan utama penakaran dampak ini hanya memberikan informasi mengenai dampak emisi PLTU batu bara pada ekologi dan kesehatan manusia.

Tabel 13. Potensi Dampak PLTU Batubara Terhadap Ekologi dan Kesehatan Manusia

Jenis senyawa pencemar	Dampak lingkungan	Kategori Dampak	Area yang terkena dampak
Cl, NO, radikal OH, CFC	Perusak lapisan ozon	Manusia, Ekologi	Regional, Global
CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>	Perubahan iklim	Manusia, Ekologi	Regional, Global
Partikulat	Kabut berasap	Manusia, Ekologi	Lokal, Regional
SO <sub>2</sub> , HNO <sub>3</sub> , HF, H <sub>2</sub> S	Hujan asam	Manusia, Ekologi	Lokal, Regional
NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , HCl	Korosi	Ekologi	Lokal
Radon	Radiasi	Manusia	Lokal

### Interpretasi atau Analisis Perbaikan

Batubara sangat potensial digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik di masa depan tetapi banyak kendala yang dihadapi untuk memanfaatkan batubara secara besar-besaran. Kendala tersebut antara lain:

- batubara berbentuk padat sehingga sulit dalam penanganannya,
- batubara banyak mengandung unsur sulfur dan nitrogen yang bisa menimbulkan emisi polutan yang berbahaya, dan
- batubara mengandung banyak unsur karbon bila dibakar akan menghasilkan gas CO<sub>2</sub> yang dapat menyebabkan pemanasan global.

Usaha untuk mengurangi dampak negatif PLTU batubara dapat dimulai dari proses penambangan batubara. Salah satu proses yang dapat digunakan adalah dengan teknologi *Underground Coal Gasification* (UCG). Teknologi ini merupakan proses untuk mengkonversikan batubara secara *in-situ* menjadi bahan bakar gas dan untuk penggunaan industri kimia lainnya. Proses UCG ini dilakukan melalui injeksi uap dan udara atau oksigen (O<sub>2</sub>) ke dalam lapisan batubara (*coal seam*) yang berada di bawah permukaan tanah melalui sumur produksi (*production well*). Di lapisan batubara bawah tanah akan terbentuk

rongga (*cavity*) dan terjadi proses gasifikasi serta proses kimiawi, yaitu batubara tersebut akan terbakar menghasilkan gas. Gas ini kemudian disalurkan melalui pipa khusus ke permukaan tanah, di tempat ini terletak instalasi pengolahan gas (*gas processing*). Sebagian gas dipergunakan sebagai bahan bakar stasiun pembangkit tenaga listrik dan sebagian lagi dipergunakan sebagai bahan sintesis (*syngas*) bahan kimia, seperti hidrogen, dan metanol<sup>[12]</sup>.

Usaha lain yang dapat dilakukan untuk membuat PLTU batubara yang ramah lingkungan dapat menerapkan teknologi bersih batubara. Batubara yang dibakar di boiler akan menghasilkan tenaga listrik serta menghasilkan emisi seperti partikel, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan CO<sub>2</sub>. Emisi tersebut dapat dikurangi menggunakan teknologi seperti denitrifikasi, desulfurisasi, *electrostratic precipitator* (penyaring debu), dan separator CO<sub>2</sub>.

Upaya untuk peningkatan pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan metode mengubah atau memanfaatkan limbah menjadi produk baru yang bernilai ekonomis. Pengelolaan yang dapat dilakukan diantaranya adalah sebagai berikut :

- Mengolah Polutan menjadi Gypsum  
Proses ini dimulai dengan pemisahan polutan yang dapat dilakukan menggunakan penyerap batu kapur atau

Ca(OH)<sub>2</sub>. Gas buang dari cerobong dimasukkan ke dalam fasilitas *flue gas desulfurization* (FGD) kemudian disemprotkan udara sehingga SO<sub>2</sub> dalam gas buang teroksidasi oleh oksigen menjadi SO<sub>3</sub>. Gas buang selanjutnya didinginkan dengan air, sehingga SO<sub>3</sub> bereaksi dengan air (H<sub>2</sub>O) membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Asam sulfat selanjutnya direaksikan dengan Ca(OH)<sub>2</sub> sehingga diperoleh hasil pemisahan berupa gipsum (*gypsum*). Gas buang yang keluar dari sistem FGD sudah terbebas dari oksida sulfur.

- b. Mengolah polutan menjadi pupuk
- Peralatan berteknologi tinggi lain yang kini mulai dipakai untuk mengolah polutan penyebab hujan asam adalah *electron beam machine* atau Mesin Berkas Elektron (MBE). Proses pembersihan gas buang dilakukan dengan mendinginkan SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> dengan semburan air (H<sub>2</sub>O). Ke dalam campuran senyawa ini selanjutnya ditambahkan gas ammonia dan dialirkan ke dalam tabung pereaksi (*vessel*). Campuran senyawa yang mengalir dalam tabung pereaksi ini selanjutnya diirradiasi dengan berkas elektron. Gas-gas polutan akan berubah, SO<sub>x</sub> menjadi SO<sub>3</sub> dan NO<sub>x</sub> menjadi NO<sub>3</sub> karena mendapatkan tambahan energi dari elektron. Kedua senyawa tersebut bereaksi dengan air sehingga dihasilkan produk antara (*intermediate product*) berupa asam sulfat dan asam nitrat. Setelah 0,1 detik dari proses irradiasi, produk antara (asam sulfat dan asam nitrat) bereaksi dengan ammonia sehingga dihasilkan produk akhir berupa ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Kedua senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk sulfat dan pupuk nitrogen.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *Preliminary Life Cycle Assessment* yang dilakukan pada PLTU batubara 50 MWatt dapat diambil kesimpulan :

1. Penakaran daur hidup (LCA) adalah suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya konsumsi energi, bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk tersebut sepanjang siklus hidupnya.
2. Tujuan utama studi pendahuluan Penakaran Daur Hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis aspek lingkungan PLTU dengan bahan bakar batu bara kapasitas 50 MWatt. Cakupan LCA PLTU batubara mulai dari proses penambangan batubara, pengolahan batu bara, transportasi dan pengoperasian PLTU.
3. Analisis inventori dilakukan dengan menginventori input energi dan bahan baku, output emisi dan limbah yang dihasilkan.
4. Penakaran dampak (*Life Cycle Impact Assessment*) digunakan untuk menganalisis dampak proses PLTU batubara terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang telah di data secara kuantitatif pada penakaran inventori
5. Interpretasi hasil LCA dapat digunakan untuk merancang usaha-usaha dalam sistem PLTU batubara sehingga lebih ramah lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. AKHADI, M., 2001, "Meningkatkan Efisiensi PLTU Batubara" ELEKTRO INDONESIA Nomor 35, Tahun VI.
2. SUGIYONO, A., 2000, "Prospek Penggunaan Teknologi Bersih Untuk Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batubara di Indonesia", Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 1, No.1.
3. TAMBUNAN, E., 2007, "Analisis Dampak Lingkungan Dengan Penerapan Life Cycle Assesment (LCA) di Instalasi Rawat Inap (IRNA) Rumah Sakit Haji Surabaya, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. ASTUTI, P., MULYONO, C., dan SUEF, M., 2004, "Evaluasi Konsep Produk Dengan Pendekatan Green Quality Function Deployment II", Jurnal Teknik Industri Vol. 6, No. 2.
5. SOVACOOL, 2008, "Valuing the Greenhouse Gas Emissions from Nuclear Power: A critical survey" International Journal of Global Energy No.36.

6. CURRAN, M., 1996, "Environmental Life-Cycle Assessment", McGraw-Hill, New York.
7. SOKKA, L., 2005, "Life Cycle Inventory Analysis Of Hard Coal Based Electricity Generation" Finnish Environment Institute, Helsinki.
8. SUGIYONO, A., 2000, "Prospek Penggunaan Teknologi Bersih Untuk Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batubara di Indonesia", Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 1, No.1.
9. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 1999, "Life Cycle Assessment of Coal-fired Power Production", San Francisco.
10. *Kirk-Othmer's Encyclopedia of Chemical Technology*. (1993), 4th Edition, Prentice Hall, New York.
11. BECHTEL and AMOCO, 1993, "Direct Coal Liquefaction Baseline Design and System Analysis. Final Report on Baseline and Improved Baseline. Volume III Options to Baseline Design", National Renewable Energy Laboratory, San Francisco.
12. SUGIYONO, A., 1996, "Teknologi Daur Kombinasi Gasifikasi Batubara Terintegrasi" Lokakarya Energi 1996. Pertamina, Jakarta.

## **TANYA-JAWAB**

### **Pertanyaan**

Apa beda penakar siklus hidup (LCA) dengan AMDAL ? (Sutanto-STTN)

### **Jawaban**

Studi LCA dilakukan untuk menganalisis dampak lingkungan mulai dari pengambilan bahan baku dari alam sampai menjadi limbah yang dibuang kembali ke alam, sedangkan AMDAL hanya berupa studi dampak yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang akan dilakukan.

