

STUDI ASPEK LINGKUNGAN DAN PRODUK SAMPING PENGOLAHAN GAS BUANG DARI PLTU DENGAN IRRADIASI ELEKTRON

Rill Isaris

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

STUDI ASPEK LINGKUNGAN DAN PRODUK SAMPING PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU DENGAN IRRADIASI ELEKTRON. Kontroversi pada PLTU batubara adalah meski dapat menghasilkan listrik dengan harga yang relatif lebih ekonomis (Rp.700,-/KWh), tetapi menimbulkan polusi gas buang yang membahayakan kesehatan dan pemanasan global. Mengatasi masalah pencemaran terhadap lingkungan harus menjadi perhatian kita semua. Teknologi irradiasi elektron untuk mengolah gas buang adalah salah satu cara yang saat ini sedang berkembang. Makalah ini mengkaji secara kualitatif tentang keuntungan yang akan didapat dari pengurangan dampak lingkungan dengan pengolahan gas emisi SO₂ dan NO_x (De-SO_x dan De-NO_x) menggunakan teknologi irradiasi elektron, dan produk samping berupa (NH₄)₂SO₄ dan NH₄NO₃ sebagai bahan pembuat pupuk anorganik. Kajian pada De-SO_x dan De-NO_x menggunakan Fasilitas Flue Gas Desulphurization (FGD) dan Selective Catalytic Reduction (SCR) pada PLTU 1000 MW dengan laju alir gas buang 5,25 juta m³/jam dapat mereduksi SO₂ dan NO_x sampai 91% dan 71% berturut turut tetapi memerlukan investasi modal yang besar dan ruang yang luas. Kajian pada rancangbangun Demo-Plant MBE 1MeV/400mA untuk mengolah 96.500 m³/jam gas alir pada PLTU 600 MW memberikan nilai reduksi pada kedua gas tersebut diatas sebesar 90% dan 80% berturut-turut dengan harga yang sangat rasional sebesar 1,5% harga PLTU. Produk samping dihasilkan dengan teknologi irradiasi elektron berupa Ammonium Sulphat 595kg/jam, Ammonium Nitrat 47kg/jam dan abu 13,5 kg/jam. Kemampuan mereduksi gas berbahaya dari gas buang dan produk samping dihasilkan oleh MBE yang terintegrasi ke PLTU cukup potensial dan bernilai ekonomi yang prospektif.

Kata kunci : Aspek lingkungan PLTU, teknologi irradiasi elektron, tekno ekonomi MBE

ABSTRACT

A STUDY OF ENVIRONMENTAL AND SIDE PRODUCT ASPECTS OF FLUE GAS TREATMENT FROM STEAM (COAL) POWER PLANT USING ELECTRON IRRADIATION TECHNIQUES. A controversial on the application of Steam Power Generation using coal is although they can produce the electricity of lower cost (US\$.7cent/KWh), but they also emit flue gases that cause a dangerous to men health and global warming. The pollution into environment problems must be a warning to all of us. The electron irradiation technology for flue gas treatment is one of the advanced technology used and being developed at the present. This paper studies quantitatively on the benefits could be obtained from the elimination of environment impact by the treatment of the emission gases SO₂ and NO_x (De-SO_x and De-NO_x) using the electron beam irradiation, and the side products yielded such as (NH₄)₂SO₄ and NH₄NO₃ as for materials for fertilization production. Study on De-SO_x and De-NO_x using FGD and SCR Facilities on 1000MW GPP with flow rate of 5.25 million m³/hour gives the reduction of SO₂ and NO_x of 91% and 71% respectively, but it needs a high capital and wide space for construction. The same study to a 1 MeV/400mA EBM Demo Plant to treat 96.500 m³/hour flowing gases in 600 MW GPP gives the reduction to these two kind of gases of 90% and 80% respectively, and with a rational budget, that is 1.5% of the GPP price. The side products by this irradiation technology are 595 kg/hour Ammonium Sulfate, 47 kg/hour Ammonium Nitrate, 13.5 kg/hour ash. Electron irradiation technology for flue gas treatment at GPP is one of a Modified. The ability of EBM Plant in removing the harmful gases from flue gas of the Steam Power Plant (coal) and producing of side product is potential and economically prospective.

Keywords : Environment aspect of GPP, electron irradiation technology, gas pollution

PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang harus dapat dikelola dengan sebaik-baiknya agar tidak menimbulkan

akibat buruk atau pencemaran pada lingkungan. Tujuan pembangunan di suatu negara adalah untuk meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran masyarakat yang merupakan aspek positif kegiatan tersebut. Namun sering terjadi

pembangunan memberikan dampak negatif karena pemrakarsa pembangunan tidak atau belum menyadari akan timbul masalah di belakang hari. Beberapa isu kritis abad 21 yang dikemukakan di dunia saat ini antara lain krisis energi, masalah lingkungan (pemanasan global, polusi udara, hujan asam), kesehatan penduduk, transportasi, sumber daya alam dan manusia, dll. Kesemuanya ini terkait erat satu sama lain dan dapat saling mempengaruhi.

Energi dan Keselamatan lingkungan adalah 2 *interest* yang termasuk issue global abad 21. PLTU batubara Indonesia dengan kandungan sulphur 0,5 – 1,5 % akan menyemburkan sekitar 223 – 2006 mg/m³ gas SO₂, sehingga bisa melampaui baku mutu sebesar 700 mg/m³. Penurunan kualitas lingkungan juga semakin bertambah dengan terdapatnya emisi gas CO₂ yang menyumbang pada pemanasan global dan gas NO_x serta abu yang dikeluarkan dari cerobong PLTU yang semuanya menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan manusia.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu teknologi yang pada abad 21 ini mendapat perhatian karena menghasilkan dampak pada lingkungan berupa andil terhadap pemanasan global dan mengeluarkan gas polusi dan abu yang berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Selain menghamburkan gas CO₂, SO_x dan NO_x dan abu terbang serta endapan ke lingkungan, juga mengandung berbagai zat kimia yang rawan terhadap kesehatan manusia. Batubara sebagai bahan bakar PLTU mengandung sekitar 40 unsur kimia termasuk logam berat seperti As, Hg, Cd, Cr, Cu, Pb, serta zat radioaktif Uranium, Thorium dan turunannya seperti ²²⁰Rn dan ²²⁶Ra, yang dapat terlepas terbang ke udara bersama abu terbang. Begitu juga pada abu endapan terdapat logam-logam berat tersebut diatas dalam jumlah yang sebanding dengan besarnya volume abu endapan tersebut^[1,2,3]. PLTU di Indonesia menggunakan bahan bakar batubara yang mengandung kadar sulfur diatas 0,5 s/d 1,5 % (umumnya diatas 1,0%), sehingga ditengarai kualitas gas buang yang dihasilkan melampaui Baku Mutu Emisi tahun 2000. Nilai BME-2000 untuk SO₂ dan NO_x adalah 700 mg/m³ dan 850 mg/m³ berturut-turut. Agenda Riset Nasional telah memprogramkan mulai 2009 untuk melengkapi PLTU dengan Fasilitas Irradiasi Elektron atau Mesin Berkas Elektron untuk mengolah gas buang yang akan dikeluarkan ke lingkungan.

Dampak pembangkitan energi terhadap lingkungan juga ditimbulkan oleh penipisan

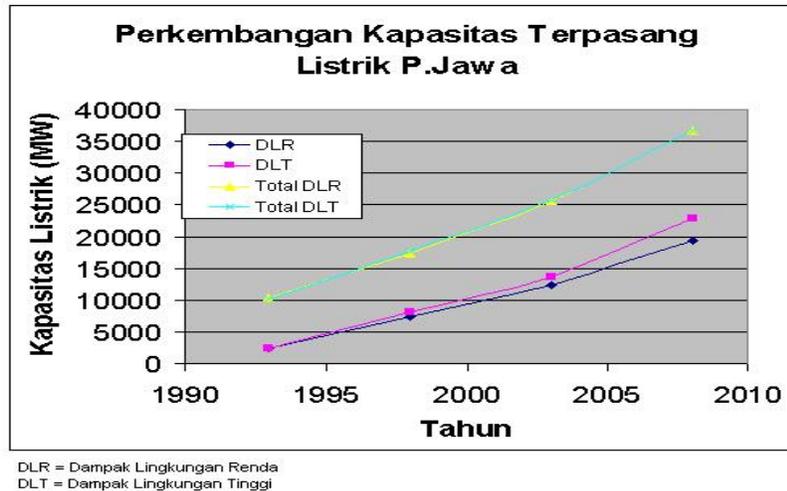
cadangan sumber daya tersebut terutama yang berasal dari sumber fosil seperti batubara, minyak dan gas alam. Dari laporan IAEA^[2,3] sebuah PLTU 1000MWe akan mengkonsumsi per tahunnya 2,7 juta ton batubara, atau 2 juta ton minyak, atau 1,8 milyar m³ gas. Pasokan energi dunia dari bahan bakar fosil dan nuklir, yaitu sekitar 62% dan 22% di negara maju dan 80% dan 4% di negara berkembang, sedangkan sisanya adalah dari energi air, panas bumi dan biomasa^[4]. Untuk membahas dampak berbagai jenis pembangkit energi pada lingkungan dan kesehatan masyarakat perlu dilakukan analisis resiko dan manfaat secara kuantitatif dan bukan hanya secara kualitatif, tetapi hal ini memerlukan metode penelitian yang kompleks, waktu yang panjang serta biaya yang besar.

Secara hipotesis dapat dikatakan integrasi teknologi irradiasi electron (MBE) untuk pengolahan gas buang pada PLTU akan layak secara ekonomi (economical feasible) jika:

1. Mampu meningkatkan koefisien kontribusi teknologi (*Technology Contribution Coefficient* = TCC) pada output dihasilkan (energi yang ramah terhadap lingkungan).
2. Rasio *Benefit to Cost* > 1, yaitu nilai sosial-ekonomi dari pengurangan gas buang ke lingkungan ditambah dengan nilai ekonomi produk samping dihasilkan.

Hasil perhitungan untuk mengetahui peningkatan TCC komponen technoware MBE pada PLTU adalah 0,078^[5] dengan asumsi nilai bobot komponen MBE terhadap PLTU = 15%, nilai ini cukup berarti untuk menaikkan nilai TCC komponen Technoware sebuah PLTU. *Benefit to Cost Ratio* (BCR) sejauh mungkin harus dapat dihitung secara kuantitatif agar hasil kajian mendekati kebenaran. Teknologi irradiasi elektron untuk pengolahan gas buang di PLTU adalah suatu bentuk *Modified Technology Push* yang memiliki prospek ekonomis dan kompetitif terhadap metoda lain untuk eliminasi pencemaran gas buang, disamping teknologi ini sudah dikembangkan di dalam negeri.

PLTU sebagai penghasil energi listrik juga menyumbang limbah (sisa pembakaran) dan polusi ke lingkungan. Perhatian terhadap kelestarian lingkungan penting dilakukan karena perkembangan jumlah PLTU dalam 2 dekade terakhir ini cukup *significant*^[6] seperti terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Perkembangan Kapasitas Terpasang Listrik P.Jawa (MW).

Terdapat kenaikan kapasitas terpasang listrik dari sumber PLTU sebesar 8 kali lebih sejak 1993 sampai 2008, dan pemakaian batubara meningkat dari 6,1 juta ton/tahun menjadi 50 juta ton/tahun. *Average cost structure* komponen modal *plant, Operation & Maintenance*, dan bahanbakar pada Plant PLTU^[7], adalah 43%, 15% dan 42% berturut-turut, sehingga beban pada bahanbakar sangat besar (bandingkan terhadap PLTN dengan struktur biayanya 75%, 16% dan 9%), sementara PLTN beban terbesar pada modal plant yaitu sekitar 75% (dengan asumsi 10% *discount rate* dan 25 tahun horizon perencanaan).

Analisis ekonomi lingkungan didasarkan pada teori ekonomi mikro yang berhubungan dengan parameter produksi, pertukaran dan konsumsi barang dan jasa. Kebijakan umum program lingkungan pada proses produksi adalah mencegah penggunaan sumber yang menghasilkan pencemaran ke lingkungan, atau bila proses itu harus dilakukan adalah melalui penanggulangan dan eliminasi kuantitas pencemaran tsb. terhadap lingkungan. Untuk dapat melakukan pengelolaan sumber daya yang efisien dan efektif dapat dilakukan analisis manfaat dan biaya (*benefit and cost analysis*). Secara umum sukar untuk menghitung segala sesuatu yang berhubungan dengan aspek lingkungan. Manfaat merupakan nilai barang atau jasa bagi konsumen dan lingkungan, dan biaya terdiri dari 1) biaya mencegah terjadi polusi dan 2) biaya polusi (biaya untuk menghindari kerusakan akibat polusi dan kerusakan kesehatan masyarakat Bagian pertama lebih mudah dihitung, sementara bagian kedua sukar untuk ditentukan secara kuantitatif. Dengan demikian analisis

manfaat dan biaya itu merupakan penilaian sistematis terhadap keuntungan dan kerugian segala perubahan dalam produksi dan konsumsi masyarakat^[8].

METODOLOGI

Aspek Lingkungan PLTU

Kajian aspek lingkungan PLTU *stand alone* dan *MBE integrated PLTU* dilakukan dengan melakukan *review* pada berbagai referensi publikasi, *technical documents* dan rancangan desain system MBE yang telah dilakukan peneliti terdahulu. Energi listrik adalah energi yang fleksibel dapat digunakan dan mudah dikonversikan ke bentuk energi yang lain, sehingga praktis untuk digunakan di berbagai keperluan di industri, transportasi, rumah tangga, penelitian, dll. Pada PLTU berbahan bakar batubara, minyak atau gas, energi kimiawi senyawa karbon yang terdapat didalam bahan tersebut dibebaskan melalui pembakaran. Energi panas yang timbul kemudian dikonversikan menjadi energi kinetik uap, lalu dengan menggunakan turbin energi tersebut dikonversikan lagi menjadi energi gerak mekanik, dan terakhir dikonversikan oleh generator menjadi energi listrik.

Secara umum sebuah PLTU mengemisikan ke udara gas SO_2 , NO_2 (pembentuk nitro-samin penyebab kanker), CO_2 (*global warming*), gas racun logam berat dan abu terbang maupun endapan dalam jumlah yang sangat besar. Terdapat

setidaknya 4 dampak PLTU-Batubara kepada alam yang telah diteliti^[9,10,11], yaitu:

1. Penurunan kualitas lingkungan dan kesehatan akibat limbah hasil pembakaran, antara lain oleh emisi gas CO₂, SO_x, NO_x, dan abu (terbang dan endapan).
2. Pemanasan global, akibat peningkatan gas CO₂ yang menimbulkan Efek Rumah Kaca yang meningkatkan suhu bumi, rata-rata 0,5%/tahun. Terjadi peningkatan CO₂ di dunia sebesar 16-20 milyar ton/tahun yang berasal dari seluruh kegiatan manusia di dunia.
3. Hujan asam atau de-posisi asam oleh oksidasi gas SO_x dan NO_x yang dapat menyebabkan penurunan populasi dan kehidupan biota air, membilas unsur hara pada tanah sehingga menurunkan kesuburan lahan pertanian dan merusak hutan.
4. Pengotoran udara sekitar oleh emisi partikel debu, kabut asap dan terbentuknya ozon jahat akibat reaksi fotokimia NO_x dengan senyawa karbon yang mudah menguap (*Volatile Organic Compound*), hal ini dapat membahayakan kesehatan mahluk.

Dalam perkembangannya, PLTU modern sudah dilengkapi dengan teknologi pasca pembakaran yaitu Fasilitas *Flue Gas Desulphurization* (FGD) untuk pengolahan SO_x, Fasilitas *Selective (Non)-Catalytic Reduction* (SNCR&SCR) untuk mengolah NO_x dan Fasilitas Penyaring Debu *Electrostatic Precipitator* (ESP). Satu cara untuk menurunkan kadar SO_x dan NO_x adalah menggunakan batubara rendah kadar Sulphur dan teknologi pembakaran jenis *burner* rendah emisi NO_x (*overfire-air*), jika belum memadai baru menggunakan teknologi SNCR/SCR^[12]. Teknologi SNCR/SCR mampu menurunkan kadar emisi gas

keluaran NO_x sampai 50%. Skenario perkembangan kapasitas terpasang PLTU pulau Jawa sampai 2003 adalah 12.448 MW kategori dampak lingkungan rendah atau 13.718 MW kategori dampak lingkungan tinggi yang cukup potensial menyumbang polusi baik berupa gas buang maupun debu ke lingkungan dan resiko pengurangan kesejahteraan dan kesehatan masyarakat di sekitar PLTU.

Efisiensi Pengolahan Gas NO_x dan SO_x

Kuantitas gas NO_x dan SO_x dihasilkan ditentukan oleh *removal efficiency* hasil proses pengolahannya, yang dalam hal ini ditentukan oleh besarnya dosis dan temperatur gas tsb., mengikuti formula:

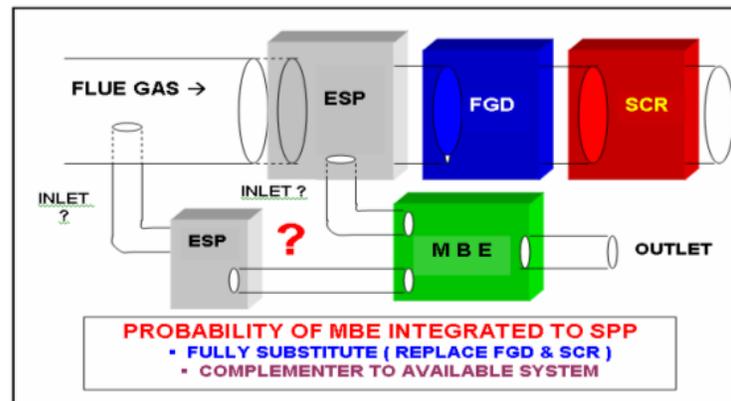
$$\eta_{NO_x} = k_1 \{ 1 - e^{-[k_2 D / (NO_x)_0]} \} \quad (1)$$

$$\eta_{SO_2} = f_1(\varphi, \alpha, T) + f_2(D, \tau, T) \quad (2)$$

dengan : D = dosis (kGy), k_1, k_2 = konstante, α = ammonia stoichiometry, $(NO_x)_0$ = konsentrasi inlet gas NO_x (ppm), φ = relative humidity gas, T = suhu gas (°K).

Secara umum dapat dikatakan bahwa efisiensi pembuangan NO_x semakin baik dengan dosis radiasi yang semakin besar, dan efisiensi pembuangan SO₂ tergantung pada suhu gas dan kelembaban relatif.

Teknologi irradiasi berkas electron untuk pengolahan gas buang telah dikenalkan dan digunakan di berbagai negara^[13] baik dalam skala laboratorium, skala pilot maupun Industrial Plant seperti di Chubu Power Station Japan.. Secara skematis kemungkinan integrasi Fasilitas MBE pada PLTU terpasang ditunjukkan dalam Gambar 2^[14].



Gambar 2. Skema probabilitas integrasi fasilitas MBE kedalam sistem PLTU^[14].

Ada 2 skenario integrasi Fasilitas MBE pada PLTU, yaitu 1) Instalasi MBE sebagai fasilitas penuh mengolah gas buang, dan 2) Instalasi MBE sebagai Unit Komplementer terhadap Fasilitas FGD dan SCR yang telah ada.

Untuk PLTU yang belum dilengkapi dengan Fasilitas FGT model lama terutama yang tidak lagi memiliki lahan yang cukup, maka integrasi MBE dapat memilih opsi 1.

Hasil pengukuran gas buang hasil penelitian pada PLTU Suralaya 400 MW^[15] memberikan data emisi gas CO₂ dan CO sebesar 423.233 ton/tahun, gas SO₂ = 102.093 ton/tahun, gas NO₂ = 39.875 ton/tahun, dan yang terakhir ini nilainya lebih besar dari PLTU 1000 MW.

Dalam analisis manfaat dan biaya pada program penanggulangan/pencegahan polusi Gas Buang PLTU ke lingkungan, maka manfaat program adalah pengurangan biaya polusi baik itu biaya menghindari kerusakan karena polusi maupun biaya merusak kesejahteraan/kesehatan akibat polusi, dan biaya program adalah segala pengeluaran untuk melaksanakan program. Asumsi yang akan digunakan adalah:

- a. Setiap tambahan biaya pengeluaran program menghasilkan tambahan pengurangan hasil polusi yang setara (*Marginal Social Cost* = MSC).
- b. Satuan hasil polusi yang semakin besar menghasilkan manfaat sosial marginal yang semakin kecil (*Marginal Social Benefit* = MSB).

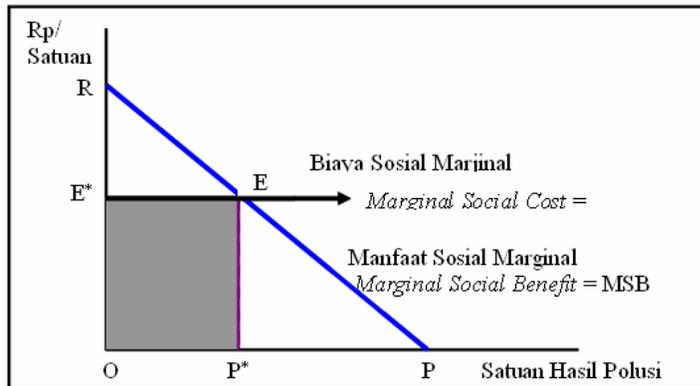
Keadaan ini dapat diilustrasikan pada Gambar 3, dimana perpotongan kedua kurva MSC dan MSB merupakan kondisi optimum, dimana tingkat satuan hasil polusi = OP*. Pada tingkat ini biaya dikeluarkan adalah OP*EE*, dan keuntungan adalah OP*ER.

Aspek Produk Samping

Tanpa Fasilitas FGT pun sebuah PLTU menghasilkan produk samping berupa debu endapan yang dapat diolah menjadi gypsum yang dapat dipakai sebagai bahan bangunan. Akan tetapi PLTU dengan FGT menggunakan MBE dapat pula memberikan produk samping lain sebagai hasil proses *removal* gas SO_x dengan umpan gas NH₃ untuk menghasilkan bahan kimia (NH₄)₂SO₄ dan hasil samping dari proses *removal* gas NO_x berupa NH₄NO₃. Kedua bahan kimia ini merupakan komponen yang dengan campuran dengan unsur hara lainnya akan menghasilkan pupuk fosfat dan nitrat. Hal ini berarti dapat memberikan nilai tambah ekonomi lebih tinggi dibanding menghasilkan produk gypsum saja.

Analisis Benefit to Cost Ratio (BCR)

Analisis BCR biasanya digunakan untuk mengetahui apakah suatu proyek industri itu layak atau tidak dilakukan. Dalam hal ini integrasi Fasilitas MBE pada system PLTU perlu dikaji nilai banding antara keuntungan dan manfaat yang diperoleh terhadap biaya yang harus dikeluarkan. Keuntungan (*profit*) umumnya berkonotasi pada nilai ekonomi, yaitu nilai tambah riil yang bisa dikalkulasi secara ekonomi, sementara manfaat (*benefit*) cenderung berkonotasi pada keuntungan yang bersifat social, dan sering tidak bisa diprediksi karena sulit menghitungnya. Damping itu peningkatan kontribusi teknologi integrasi MBE terhadap kualitas output (energi dan kualitas lingkungan) juga merupakan factor yang mesti diperhitungkan dalam menilai kelayakan secara ekonomi. Adapun komponen *benefit* dan *cost* dalam hal ini adalah :



Gambar 3. Situasi program pengurangan polusi.

Benedit : Nilai De-NO_x dan De-SO_x, selisih harga FGD + SCR dan MBE pada kapasitas sama dan nilai produk camping dihasilkan.

Cost : *Capital cost Plant MBE + Utilities, O&M cost (mainly electricity), Labour cost*

Secara umum harga akselerator ditentukan oleh koefisien menyangkut tipe akselerator dan *manufacturer prime cost (a)*, energi elektron dihasilkan (*E*) dan tenaga berkas digunakan (*P*)^[15], yang dapat dinyatakan dalam formulasi sbb:

$$K_a = a(Ex\sqrt{P})xk\text{ US.\$} \quad (3)$$

dengan $k = 1000$, faktor $a = 60$ s/d 100 (untuk $E = 1$ s/d 5 MeV), $P =$ daya MBE (KW).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil kajian *properties* pada PLTU 1000Mwe^[2,3] dan SpecTec rencana pembangunan MBE 1Mev/400kW^[15] serta dari sumber internal BATAN dapat disarikan dalam Tabel 1. Pemanasan global oleh emisi gas CO₂ merupakan resiko lingkungan dari sebuah PLTU batubara dan harus dihitung sebagai biaya sosial yang ditanggung dunia. Saat ini kadar CO₂ di alam adalah 350ppmv dengan kenaikan 0,5%/tahun, dan para ahli memperkirakan terjadi kenaikan suhu bumi antara 1,5 s/d 4,5^[1] beberapa puluh tahun ke depan, memicu perubahan iklim, mempengaruhi pertanian dan kesehatan.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa jumlah limbah yang dihasilkan PLTU sangat besar secara kuantitas dan selain akan menjadi beban pembuangannya juga akan menimbulkan pencemaran karena mengandung gas yang menyumbang pada pemanasan global dan sebagai *stimulant factor* timbulnya penyakit kanker.

Fasilitas pengolahan gas buang (FGT) pada PLTU baik yang menggunakan teknologi ESP dengan FGD+SCR maupun ESP dengan MBE, memiliki kemampuan yang seimbang untuk mengolah gas buang tersebut, yaitu De-SO_x dan De-NO_x sebesar 91% dan 71% pada cara pertama dan 90% dan 80% pada cara kedua. Efisiensi pengolahan dengan teknologi MBE tergantung pada besarnya dosis radiasi elektron yang dihasilkan.

Dari analisis terhadap kurva *Renoval efficiency* vs dosis oleh Tim Rancangbangun MBE untuk FGT-PLTU, untuk mendapatkan efisiensi renoval gas NO_x >80% dan SO_x > 90% , diperlukan dosis berkas electron sebesar 10,5 KGy dan 7,5 KGy berturut-turut.

Hal yang menarik informasi dari PLTU Suralaya (4x400MW dan 3x600MW) adalah Plant hanya dilengkapi Fasilitas ESP dan mampu mengekstrak 95,5% debu terbang dan dapat digunakan untuk membuat blok bangunan. Flow rate pada discharge kanal sebesar 5,04 juta m³/jam, dan kompleks PLTU memiliki area seluas 239 Ha. Kemudian hasil pengukuran gas Buang pada 7 stack PLTU Surabaya oleh peneliti dari ITB^[18] dari tahun 2005 s/d 2007 sangat menarik, nilai emisi SO₂ dan NO₂ terukur seluruhnya berada pada nilai dibawah Standard Emisi Baku Mutu, yaitu <750 mg/Nm³ dan <850 mg/Nm³.

Sesuai dengan hasil kajian oleh LSDE-BPPT^[17] bahwa kebolehdian nilai rentang kadar SO₂ yang dikeluarkan dari PLTU berbahan bakar batubara Indonesia adalah antara 223 s/d 2006 mg/Nm³ (kadar sulphur dalam batubara antara 0,5 s/d 1,5%), maka dapat diperkirakan bahwa PLTU Surabaya menggunakan batubara dengan kadar sulphur <0,8%.

Emisi gas SO_x dan NO_x pada PLTU Surabaya 400 MW pada Tabel 1 adalah sebesar 102.093 ton dan 39.875 ton/tahun berturut-turut, hal ini menunjukkan emisi kedua jenis gas buang tersebut lebih besar dibanding PLTU 1000 MW hasil analisis/evaluasi oleh Badan Energi Internasional (IAEA) pada PLTU di negara maju. Hal ini bisa disebabkan oleh karena efisiensi proses pengubahan SO_x dan NO_x pada saat oksidasi terhadap produk antara berupa (H₂SO₄ dan (NH₃)₂SO₂) dan (HNO₂, NO₂ dan HO₂NO₂) berturut-turut lebih rendah di PLTU Surabaya daripada PLTU 1000 MW yang disurvei oleh IAEA.

Emisi gas CO₂ tidak tereliminasi dengan teknologi FGT baik dengan moda FGD + SCR maupun dengan MBE, tetapi emisi gas SO_x dan NO_x dapat dieliminasi oleh kedua teknologi tersebut dengan *technology advantage* yang bisa bersaing. Dengan asumsi efisiensi proses De-SO_x dan De-NO_x seperti dikemukakan oleh MBE buatan Korea yaitu 90% dan 80%, maka berarti jumlah gas SO₂ dan NO₂ yang bisa dieliminasi adalah sebesar 90% x 102.093 ton = 91.883 ton dan 31.900 ton per tahun. Dari segi *economy advantage* harga Fasilitas Akselerator Electrón lebih murah dibanding Fasilitas FGD + SCR untuk pengolahan gas buang. Harga Instalasi MBE yang dikemukakan dari Korea sebesar US\$.120,000.- (~ Rp.120 M) atau sekitar 1,5% terhadap *total investment cost* MBE. Estimasi biaya pembangunan Akselerator Elektron untuk industri di Polandia^[14] mengemukakan *sharing-cost* untuk pengolahan gas buang dengan MBE sekitar 3,9%.

Tabel 1. Properties De-polusi Gas Buang PLTU (Teknologi konvensional & MBE).

Parameter/Properties	PLTU Modern ^[2,3] (1000MWe)	PLTU + MBE ^[16] (400MWe)	Keterangan
Teknologi Flue Gas Treatment	ESP + FGD + SCR	ESP + MBE	Filter debu + De-NO _x + De-SO _x
Gas diemisikan/thn CO ₂ SO _x NO _x	6.000.000 ton 60.000 ton 7.000 ton	423.233 ton ^{*)} 102.093 ton ^{*)} 39.875 ton ^{*)}	Tanpa Fasilitas Flue Gas Treatment
Abu diemisikan Abu terbang (AT) Abu endapan (AE) Logam berat :	200.000 ton 20.000 ton Logam berat : ▪ Se 700 Kg ▪ Hg 1.300 Kg ▪ U 23,2 Kg ▪ Th 46,4 Kg	56.700 ton ^{*)} 14.162 ton ^{*)} Belum tersedia data dan tidak tereliminasi oleh MBE	Tanpa Fasilitas FGT Ikut teremisi ke lingkungan bersama abu terbang, efek biologis
Laju alir gas	5,25 juta m ³ /jam	96.500 m ³ /jam	
Kemampuan treatment ▪ De-SO ₂ ▪ De-NO _x ▪ AT ▪ AE	91% 71% 98% Abu bertambah 10 kali	(Demo Plant MBE) >90% >80% relatif sama relatif sama	Dengan Fasilitas FGT Hasil treatment ESP
Estimasi Harga Plant (PLTU)	Belum tersedia data	Rp. 5 – 6 triliun	Ref.: PLTU Tg.Jati B 600MWe: Rp.7 triliun.
Ekonomi Fasilitas: ▪ Harga Fas. FGT ▪ Ratio thd harga Plant ▪ Ruang diperlukan	Lebih mahal Lebih besar (belum ada data) Sangat luas	Rp.120 s/d 500 M (Developm-Cost) 1,5% s/d 6,25% Relatif kecil	* Termasuk harga utilitas, civil, accessories * Problem upgrading
Agen pereduksi	Anhydrous Ammonia NH ₃	Berkas Elektron Dosis 8 kGy/0,8Mrad	Harus diatur suhu NH ₃ dan Dosis Radiasi yang sesuai
Produk samping: ▪ Jenis bahan ▪ Estimasi harga	Gypsum(50% AE)	(NH ₄) ₂ SO ₄ : 595kg/j NH ₄ NO ₃ : 47kg/j Abu : 13,5kg/j ^{**)}	Bahan pembuat pupuk

Catatan: ^{*)} = data pemantauan di PLTU Surabaya oleh Rukijatmo & Munawir Z., 2002^[17]

^{**)} = data rancangan bangun MBE oleh EB Technology Co.Ltd. Rep. Korea, 2004)

Prediksi produk samping dihasilkan dalam setahun berupa (NH₄)₂SO₄ ~ 5509 ton, NH₄NO₃ ~ 395 ton sebagai komponen bahan pembuat pupuk, dan 113,5 ton abu, atau sebesar 90,8% , 7,2% dan 2% dari produk total berturut-turut.

Perkiraan *Capital cost* yang diperlukan untuk membangun Instalasi MBE kapasitas 1 MeV/400 KW menurut ketentuan pada rumus (3) adalah :

$$Ka = (a = 100) \times (E = 1 \text{ MeV}) \times \sqrt{(P = 400 \text{ KW})} \cdot 10^3 \text{ US. \$}$$

$$= \text{US. } 2,000,000.00$$

sementara dari penawaran EB-Tech nilai *Ka* = US.\$4,400,000.00. Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh tipe akselerator dan tipe konstruksi oleh pabrik. Secara umum *capital cost* untuk Akselerator Elektron keperluan Industri berkisar antara US.\$0,5 s/d 5 M.

Marginal Social Cost integrasi Instalasi MBE plus *Utilities* ke PLTU meliputi semua pengeluaran untuk membangun dan memasang instalasi tsb. Sementara *Marginal Social Benefit* merupakan nilai pengurangan penderitaan kesejahteraan/kesehatan masyarakat serta nilai hasil samping yang diperoleh, yang terakhir ini belum bisa dihitung. Beberapa indikasi akibat pencemaran gas CO, SO₂, dan NO_x pada kesehatan manusia antara lain adalah gangguan pernafasan & paru-paru, penyakit emphysema, paru, pembuluh darah jantung, disfungsi pancaendera, gangguan peredaran darah, serta keracunan dan penyakit yang ditimbulkan oleh polusi logam berat yang terkandung di dalam polusi gas buang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kuantitas gas SO_x dan NO_x yang berhasil diolah tergantung pada moda teknologi yang digunakan dan efisiensi *removal* pada saat proses pengolahannya. Dari kajian dan bahasan tersebut diatas, dapat disarikan kesimpulan sbb:

1. Kadar emisi gas buang khususnya SO_x dan NO_x dari sebuah PLTU tergantung pada kualitas batubara digunakan, kadar sulphur < 0,8% menghasilkan gas tersebut dengan kadar dibawah nilai Standar Baku Mutu dan tidak menimbulkan dampak pencemaran pada lingkungan meski tetap ada polutan yang teremisi.
2. Eliminasi gas SO_x dan NO_x dalam gas buang menggunakan teknologi FGD pada PLTU 1000 MW dan teknologi MBE pada PLTU 400 MW menunjukkan kemampuan yang setara, yaitu sebesar 91% dan 71%, dan 90% dan 80% berturut-turut. *Cost sharing* Fasilitas MBE terhadap nilai PLTU dapat berkisar antara 1,5% s/d 3,9% yang sangat kompetitif terhadap nilai besaran yang sama pada FGD+SCR.
3. Dengan asumsi efisiensi sistem De-SO_x dan De-NO_x sebesar 90% dan 80% berturut-turut, dapat dieliminasi gas SO_x dan NO_x dari sebuah PLTU 400 MW sebesar 91.883 ton dan 31.900 ton per tahun berturut-turut.
4. Dengan kapasitas tersebut diatas dan dengan dosis radiasi sebesar 8 kGy (0,8 Mrad) dapat dihasilkan bahan komponen pupuk (NH₄)₂SO₄ dan NH₄NO₃ sebanyak 5509 ton dan 395 ton per tahun.
5. FGT menggunakan teknologi MBE mampu melakukan pengolahan gas buang dengan efisiensi yang setara dengan bila menggunakan FGD+SCR, tetapi dengan *capital cost* yang lebih ekonomis.
6. Analisis Manfaat dan Biaya belum dapat dihitung secara kuantitatif karena data konkrit belum diperoleh dan perhitungan *Marginal Social Benefit* sebagai dampak integrasi MBE untuk mengurangi polusi gas SO_x dan NO_x perlu penelitian dan data survei lebih jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SOFYAN YATIM, *Keselamatan Lingkungan Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Pembangunan Energi Listrik*, Pidato Pengukuhan APU BATAN, LIPI-BATAN, Jakarta, 2004.
- [2] Anonim, *Sustainable Development and Nuclear Power*, IAEA Publication, International Atomic Energy Agency, Vienna Austria, 1997.
- [3] Anonim, *Assessment and Comparison of Waste Management System Cost for Nuclear and Other Energy Sources*, IAEA Technical Document No.366, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 1994.
- [4] VICTOR M. MOUROGOV, *Energy Outlook and Role of Nuclear Energy*, Public Acceptance Seminar, Seoul, Korea, 1999.
- [5] RILL ISARIS, LELY SUSITA R.M., *Kajian Awal Teknologi dan Ekonomi Aplikasi MBE Untuk Flue Gas Treatment pada PLTU di Indonesia*, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PTAPB-BATAN, Yogyakarta, 2006.
- [6] HANS-HOLGER ROGNER, *Nuclear Power and Sustainable Energy Development*, Proceeding of Public Information Seminar pp 49-69, The Application of Nuclear Science for Human Welfare, Jakarta, 2001.
- [7] ZUHAL, *Pengambilan Keputusan Multi-objektif untuk Pengembangan Tenaga Listrik Kebijakan Diversifikasi Energi*, Majalah Elektro No.6, Tahun II, 1995.
- [8] SUKANTO REKSOHADIPROJO, *Pengantar Ekonomi Lingkungan*, Penerbit Badan Pembina Fakultas Ekonomi UGM, Yogyakarta, 1992.
- [9] STANLEY E. MANAHAN, *Environment Chemistry*, 6-th Edition, Lewis Publisher, 1994.

- [10] NIEHAUS F. , IANSTLE., *Impact of Energy Production on Atmosphere Concentration on Greenhouse Gas*, Buletin IAEA Vo.31 No.2, Vienna, 1989.
- [11] GEORGE K., THOMAS R.K., *Nighttime Warming and The Greenhouse Effects*, Environment Science Technology, Vol.2, No.8, 1993.
- [12] DJATI, H.S., *Pengendalian Emisi NO_x*, *Terjemahan dari The Internarional Journal on Power Generation*, July, 1993, Majalah Elektro No.6, Tahun II, 1995.
- [13] Anonim, *Pilot Plant Instalasi Pengolahan Gas Buang dengan MBE UBP Suralaya*, Dokumen Teknis BATAN, 2004.
- [14] RILL ISARIS, *Kajian Tekno Ekonomi Aplikasi MBE untuk FGT pada PLTU Batubara; Aspek Lingkungan dan Side Product*, Laporan Triwulan II Penelitian PTAPB-BATAN, 2007.
- [15] ZBIGNIEW ZIMEK, *Electron Accelerators for Environmental Protection*, Publication of Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsawa, 1998. pp 34-39.
- [16] Anonim, *Electron Beam Flue Gas Treatment System 1 MeV/400kW*, Technical Spec and Economy Analysis Proposal, Daejon 305-500, Rep. of Korea, pp 8-15.
- [17] RUKIJATMO dan MUNAWIR.Z., *Perancangan Sistem Pengolahan Gas Buang SO_x dan NO_x dengan MBE pada PLTU Surabaya*, Prosiding Seminar Pengembangan Teknologi dan Perekayasaan Instrumentasi Nuklir, BATAN Serpong, 2003.
- [18] Anonim (Sumber PLTU Suralaya), *Hasil Pemantauan Lingkungan*, BML berdasarkan Kep.Men LH No.13/95, Sumber Data Primer 07.

TANYA JAWAB

Prayitno

- Mohon kajian aspek ekonomi teknologi lingkungan dapat dihitung dibandingkan dengan sistem MBE dibanding FGD+SCR.

Rill Isaris

- Ya seharusnya kajian ekonomi teknologi lingkungan tersebut dimasukkan didalam perhitungan, baik yang dengan teknologi MBE dan FGD+SCR. Namun saat ini belum dapat dilakukan karena disamping belum tersedia data, juga sukar menghitungnya. Salah satu cara adalah dengan mengasumsikan model. Kalau nilai Marginal Social Cost (MSC) yang harus dikeluarkan industri/pemerintah untuk mencegah polusi ke lingkungan/masyarakat adalah sama dengan nilai investasi instalasi MBE + utilitas, tetapi untuk nilai Marginal Social Benefit (MSB), nilai kesejahteraan bila tidak dihasilkan polusi, belum dapat diperkirakan. Perhitungan kurva MSC dan kurva indifferent MSB merupakan titik optimum.

Muhadi

- Dalam menghitung BCR, untuk komponen masuk tidak hanya nilai jual produk samping saja, karena ini unit pengolahan limbah maka harus dimasukkan berapa biaya yang disepakati bersama PLTU setiap Nm³/jam nya.

Rill Isaris

- Ya setuju, seharusnya dalam kalkulasi BCR (*Benefit to Cost Ratio*) nilai ekonomi sosial limbah yang dihasilkan oleh PLTU yang seharusnya dibayarkan pihak PLTU sebagai resiko yang diterima masyarakat dimasukkan dalam kalkulasi total. Jadi harus dicari/ditetapkan beberapa tingkat optimal pengurangan polusi (polusi yang sekecil mungkin) disepakati, sehingga manfaat sosial ekonomi buat masyarakat bertambah besar (MSB yang menghasilkan Rp. makin besar).

Nada Marnada

- Bagaimana studi ekonomi dan kehandalan teknologi FGT dengan MBE, karena setahu saya (info yang diperoleh) di Nagoya sebahagian MBE untuk tujuan itu ditutup karena tidak ekonomis dan tidak handal dibandingkan teknologi konvensional yang ditemukan (yang ada).
- FGT dengan MBE di Polandia hanya digunakan pada musim dingin. Bagaimana menurut bapak efisiensinya.

Rill Isaris

– Ya studi kehandalan teknologi FGT-MBE, seharusnya dilakukan, dan ini masuk dalam kajian aspek teknologi MBE untuk FGT, yaitu termasuk dalam aspek teknoware, yaitu pengaruh teknologi terhadap perbaikan pada out put (elektrik + environtmen). Data kehandalan MBE (untuk industri) di dunia belum ada, karena

sebagian besar masih skala demo plant dan laboratorium.

– Tentang FGT-MBE di Jepang dan Polandia, ya mestinya begitu kalau tidak layak ekonomis tentu dihentikan. Tapi kita baru dalam tahap belajar memahami kelayakan MBE yang direkayasa sendiri.