

PENENTUAN KAPASITAS PENGOLAHAN GAS BUANG BATU BARA DENGAN MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON

Sigit Hariyanto, Tono Wibowo, Slamet Santosa
P3TM - BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN KAPASITAS PENGOLAHAN GAS BUANG BATU BARA DENGAN MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan kajian dan perhitungan kapasitas pengolahan gas buang menggunakan mesin berkas elektron (MBE) untuk pembersihan emisi SO₂ dan NO_x dari pembakaran batu bara pada suatu pembangkit listrik. Interaksi antara berkas elektron dan gas buang akan berakibat terjadinya radikal bebas yang merupakan awal terjadinya reaksi. Pada dosis serap berkas elektron 2 – 5 kGy dapat mengeliminasi/mereduksi SO₂ sampai dengan 80 – 95 %. Proses irradiasi gas buang melalui jendela titanium terjadi pada bejana vessel dengan ukuran diameter yang sebanding dengan kedalaman penetrasi berkas elektron. Untuk energi MBE antara 700 – 1000 keV, efisiensi ketebalan 0,75 dan tebal jendela MBE dan vessel 100 um diperoleh diameter vessel antara 204 – 364 cm. Kapasitas laju alir pengolahan gas buang diperoleh dari perhitungan daya MBE pada ratusan kilowatt, dosis 3 kGy dan efisiensi pengguna 70%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada daya MBE antara 100 – 400 kW diperoleh laju aliran gas buang antara 60.000 – 250.000 m³ / jam.

Kata kunci : Pengolahan gas buang, Mesin berkas elektron

ABSTRACT

DETERMINATION OF FLUE GAS TREATMENT CAPACITY OF COAL COMBUSTION USING ELECTRON BEAM. Flue gas treatment capacity of coal combustion of an electric power plant machine using Electron Beam Machine (EBM) for removal of SO₂ and NO_x had been studied and calculated. Interaction between electron beam and flue gas gives an effect of free radical, which is a starting point of other reactions formation. At the absorption dose of electron beam of 2 – 5 kGy it can be removed SO₂ about 80 – 95 %. Irradiation process of flue gas through a titanium window is carried out in the vessel tube with diameter size proportional to the depth of penetration of electron beam. For energy of electron beam of 700 – 1000 keV, thickness efficient of 0,7 and thickness of EBM and vessel window of 100 μm, the diameter of vessel tube is in the range of 204 – 364 cm. Flow rate capacity of the flue gas treatment yielded from the calculation of hundred kilowatt of EBM power at the dose of 3 kGy and the thickness efficient of 70%. The calculation result shows that at the EBM power range of 100 – 400 kW, the flow rate capacity of certain flue gas is between 60.000 – 250.000 m³/hour.

Key word : flue gas treatment, electron beam machine

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk Negara yang mempunyai cadangan batu bara cukup besar yaitu 36,5 milyar ton atau sebanyak 3,1 % dari seluruh cadangan di dunia. Perincian cadangan tersebut adalah 67,9 % terdapat di Sumatra, 31 % terdapat di Kalimantan dan sisanya tersebar di tempat yang lain. Dari jumlah tersebut yang memenuhi kualitas baku mutu emisi kurang dari 10%, sedangkan sisanya 90% tidak memenuhi baku mutu emisi (BME)^[1]. Apabila batu bara tidak memenuhi kualitas baik, dimanfaatkan sebagai bahan bakar,

maka akan menghasilkan emisi SO₂ dan NO_x melebihi BME yang diijinkan. Berdasarkan Kep Men LH No. 13 tahun 1995, bahwa BME 2000 yang diijinkan untuk emisi SO₂ dan NO_x adalah 750 mg/m³ dan 850 mg/m³. Emisi SO₂ dan NO_x hasil pembakaran fosil seperti minyak/batu bara dengan kadar belerang tinggi, akan membahayakan kehidupan manusia, karena emisi kedua gas buang tersebut melebihi BME dan dapat menimbulkan hujan asam. Kadar SO₂ dan NO_x ini dapat diturunkan melalui pengolahan gas buang dengan menggunakan mesin berkas elektron (MBE).

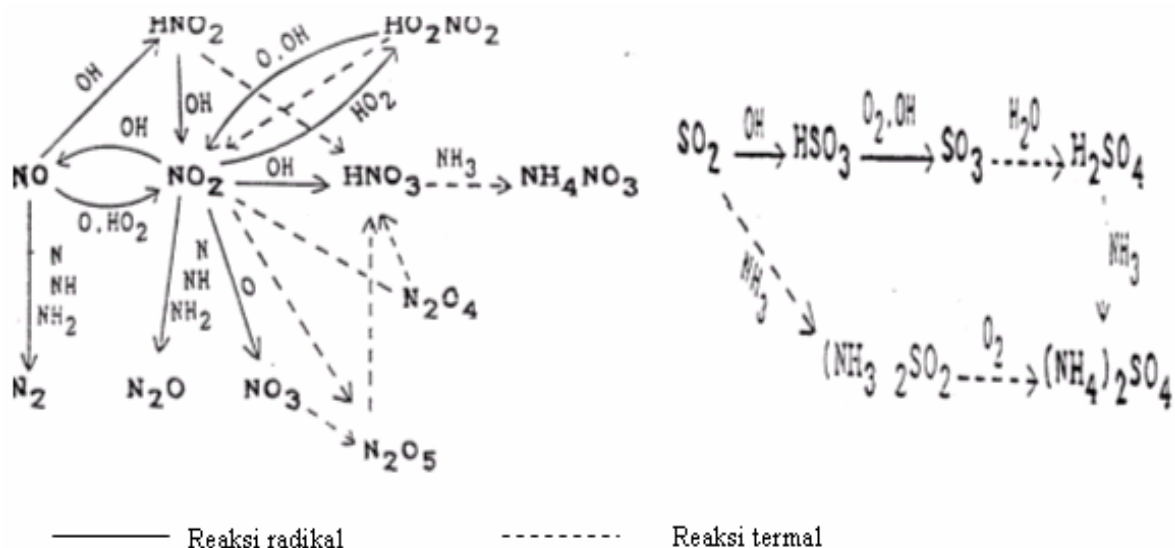
Secara umum pengolahan emisi SO_2 dari bahan bakar batu bara dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu ; pengendalian sebelum pembakaran (*pre combustion*), pada saat pembakaran (*combustion*), dan setelah pembakaran (*post combustion*). Pengolahan sebelum pembakaran dapat dilakukan dengan cara mengganti batu bara berkadar belerang tinggi dengan batu bara berkadar belerang rendah, pencucian batu bara dengan cara fisika maupun kimia dan mencampurkan dengan kadar belerang yang berbeda. Pengendalian pada saat pembakaran dilakukan dengan menginjeksikan batu kapur ke dalam boiler. Pengendalian emisi setelah pembakaran dapat dilakukan secara konvensional yang dikenal dengan *flue gas desulphurization* (FGD) untuk mereduksi SO_2 atau dapat juga dengan *selective catalytic reduction* (SCR) untuk mereduksi NO_x , maupun dengan cara menggunakan MBE yang dapat mereduksi keduanya sekaligus yaitu SO_2 dan NO_x ^[2].

Pada makalah ini akan dibahas kapasitas gas buang atau laju aliran gas buang hasil pembakaran batu bara yang akan diolah dengan menggunakan MBE pada daya ratusan kilowatt. Berkas elektron dari MBE pada energi atau dosis tertentu yang diserap oleh gas buang akan terjadi proses radikal yang merupakan awal terjadinya reaksi. Radikal yang terjadi akan bereaksi dengan SO_2 maupun NO_x sehingga membentuk asam sulfat maupun asam nitrat. Dalam menentukan kapasitas gas buang, besarnya dosis serap MBE akan divariasikan,

agar jumlah emisi SO_2 maupun NO_x dapat direduksi atau dieliminasi sesuai yang dikehendaki^[3].

PROSES PENGOLAHAN GAS BUANG

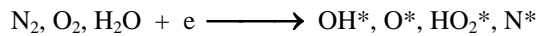
Teknologi radiasi menggunakan berkas elektron mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan metoda konvensional, antara lain : dapat mengolah/membersihkan SO_2 dan NO_x secara serentak, tidak menghasilkan limbah yang mencemari lingkungan, menghasilkan produk samping untuk pupuk pertanian. Berkas elektron yang dipancarkan oleh mesin berkas elektron ditembakkan ke dalam gas buang hasil pembakaran batu bara yang mempunyai komposisi unsur, antara lain ; SO_2 , NO_x , H_2O , N_2 , O_2 . Radiasi elektron yang diserap oleh nitrogen, oksigen dan uap air akan membentuk radikal bebas OH^* , O^* dan HO_2^* , dimana radikal bebas tersebut dapat mengoksidasi SO_2 dan NO_x . Adanya H_2O menyebabkan hasil oksidasi berubah menjadi H_2SO_4 dan HNO_3 dan setelah dilakukan penambahan amonia (NH_3) dalam jumlah yang seimbang secara stokiometrik berubah menjadi serbuk garam nitrat dan sulfat. Dari reaksi dasar ini tampak bahwa hasil samping berupa asam sulfat dan asam nitrat dapat dimanfaatkan sebagai pupuk. Proses pengolahan gas buang ini dapat terjadi tidak hanya karena pengaruh berkas elektron, tetapi juga adanya pengaruh termal yang terjadi secara bersamaan seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



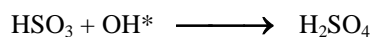
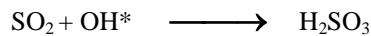
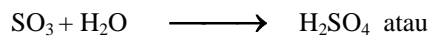
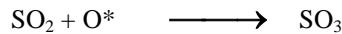
Gambar 1. Lintasan Reaksi SO_2 dan NO_x yang tereliminasi.

Dari gambar diatas terlihat bahwa terjadi reaksi pokok yang akan mengeliminasi SO_2 dan NO_x dengan beberapa tahapan sebagai berikut^[4]:

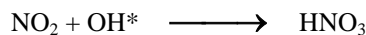
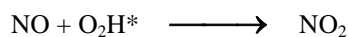
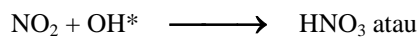
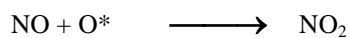
1. Pembentukan radikal bebas :



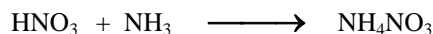
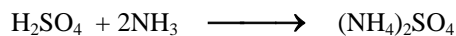
2. Pembentukan H_2SO_4 dari oksidasi SO_2 :



3. Pembentukan HNO_3 dari oksidasi NO_x :



4. Reaksi asam sulfat/nitrat dengan NH_3



Pembentukan radikal merupakan reaksi awal terjadinya reaksi, sehingga terjadinya reaksi selanjutnya yang menyebabkan tereliminasi SO_2 dan NO_x . Untuk itu diperlukan energi berkas elektron per satuan massa gas buang (dosis) yang cukup. Penambahan dosis radiasi berkas elektron dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi SO_2 dan NO_x yang tereliminasi ditunjukkan pada persamaan berdasarkan reaksi kimia berikut (persamaan Helftrich dan Feldman)^[5]:

$$\eta_{\text{SO}_2} = 1 - \exp\left(\frac{-0,12 D (1 + 0,058 C_{\text{SO}_2})}{1 + 0,058 C_{\text{SO}_2}}\right) \quad (1)$$

$$\eta_{\text{NO}_x} = 1 - \exp\left(\frac{-0,25 D}{1 + 0,0058 C_{\text{NO}_x}}\right) \quad (2)$$

dengan :

η_{SO_2} = efisiensi SO_2 yang dieliminasi

η_{NO_x} = efisiensi NO_x yang dieliminasi

D = dosis serap

C_{SO_2} = konsentrasi SO_2 pada gas buang,

C_{NO_x} = konsentrasi NO_x pada gas Luang

SISTEM PENGOLAHAN

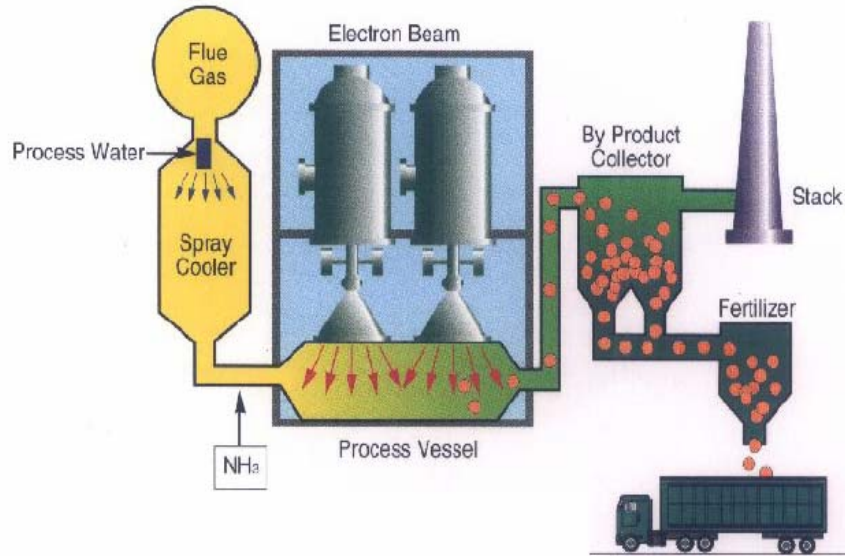
Instalasi MBE yang digunakan untuk pengolahan/membersihkan gas buang SO_2 , NO_x pada skala pilot mengalami beberapa tahapan yaitu ; pra-pengolahan, pengkondisian, injeksi amonia, poses iradiasi, pengumpulan produk dan pembuangan gas bersih ke udara^[6].

Sebelum pengolahan gas buang SO_2 dan NO_x diolah dengan menggunakan berkas elektron, sejumlah gas buang dari pembakaran batu bara diambil untuk dibersihkan dengan memisahkan molekul utama SO_2 , NO_x dari abu layang dengan menggunakan *electrostatic precipitator* (ESP). Kemudian gas buang dikondisikan dalam boiler untuk dilembabkan dan didinginkan dengan menggunakan penyemprot uap air dari tangki air sampai kondisi yang diinginkan. Kandungan uap air pada gas buang sekitar 11,5%, suhu 65°C merupakan kondisi ideal dalam proses pengolahan dengan berkas elektron. Setelah langkah pengkondisian, gas buang dialirkan ke *vessel* (*Chamber*) sambil menam-bahkan *reagent* berupa ammonia (NH_3). Fasilitas penyimpanan amonia ditempatkan ditempat lain di gedung terpisah, ammonia diuapkan menggunakan pemanas listrik untuk diinjeksikan ke gas buang bersama-sama masuk ke *vessel*. Selanjutnya proses iradasi gas buang menggunakan berkas elektron dengan dosis radiasi sampai 8kGy, tergantung dari berapa prosen SO_2 dan NO_x ingin diolah dan dalam proses ini akan terbentuk radikal bebas yang akan mempercepat pembentukan asam sulfat dan asam nitrat. Setelah proses iradiasi dengan berkas electron, gas dialirkan melewati sistem pengumpul produk dengan menggunakan ESP untuk mengumpulkan hasil samping berupa pupuk serta memisahkan lagi dengan abu layang yang masih tersisa dan selanjutnya gas bersih dengan kadar polutan rendah dibuang ke lingkungan. Pada Gambar 2 ditunjukkan bagan proses pengolahan gas buang pembakaran batu bara dengan menggunakan MBE^[6]:

Dari uraian diatas bahwa dalam proses pengolahan gas buang dengan MBE ada beberapa parameter yang saling mempengaruhi yaitu ; dosis serap untuk mereduksi SO_2 dan NO_x , kecepatan gas buang yang akan diolah, efisiensi penggunaan berkas serta daya MBE yang dibutuhkan. Hubungan parameter pengolah gas buang dengan menggunakan MBE dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut^[2, 6]:

$$W = 2,78 \times 10^{-4} \times D Q / \eta \quad (3)$$

dengan W = daya keluaran MBE (kW), D = dosis serap (kGy), Q = Kapasitas gas buang (kg/jam), η = efisiensi pengguna berkas.

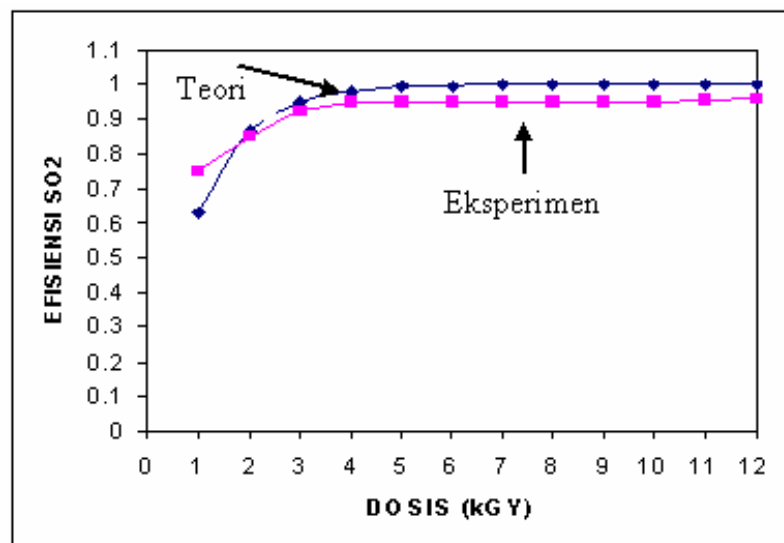


Gambar 2. Bagan proses pengolahan gas buang dengan MBE.

PEMBAHASAN

Dosis serap atau energi per satuan massa gas buang menyebabkan terjadinya radikal bebas dan proses pengolahan gas buang sehingga tereliminasi kandungan polutan SO_2 dan NO_x . Makin besar dosis serap berkas elektron diberikan pada gas buang, semakin besar juga peningkatan efisiensi polutan yang tereliminasi. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Batas BME 2000 untuk gas SO_2 dan NO_x berdasar pada ketentuan Kep Men LH No. 13 tahun 1995 adalah 750 mg/m^3 dan 850 mg/m^3 . Batu bara Indonesia yang mempunyai kandungan

sulfur < 0,5 % dengan kandungan SO_2 masih memenuhi BME 2000 jumlahnya hanya 10 %, sedangkan sebagian besar dengan kadar sulfur >0,5% kalau dimanfaatkan sebagai bahan bakar, menghasilkan gas buang diatas BME. Pada acuan (1) ditunjukkan kandungan sulfur 1%, 1,2%, dan 1,4%, masing-masing menghasilkan emisi SO_2 1500 mg/m^3 , 2000 mg/m^3 dan 2200 mg/m^3 . Dari persamaan (1) dapat digambarkan hubungan antara efisiensi SO_2 yang tereliminasi dengan dosis serap berkas elektron MBE pada berbagai kandungan SO_2 secara teori maupun eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan dosis serap dan efisiensi SO_2 yang tereliminasi.

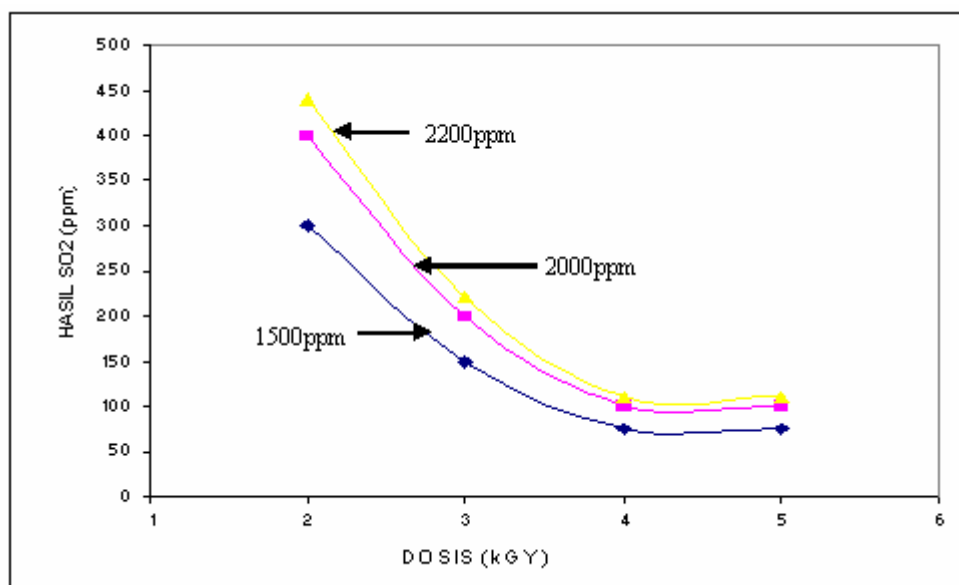
Dari Gambar 3, apabila dosis serap dari MBE pada gas buang pembakaran batu bara adalah 2, 3, 4, dan 5 kGy, maka SO_2 yang dieliminasi sekitar 80%, 85%, 90%, dan 95%, sehingga dapat diperoleh hubungan antara hasil SO_2 setelah pengolahan dengan dosis serap pada berbagai konsentrasi awal SO_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada dosis antara 2 - 5 kGy yang diserap oleh gas buang dengan konsentrasi kadar SO_2 antara 1500 - 2200 ppm, setelah dieliminasi masih menghasilkan SO_2 dengan kadar 75 - 440 ppm (dibawah BME 2000). Dalam perhitungan ini kadar NO_x dalam batu bara dengan kandungan sulfur 1 - 1,4% masih dibawah BME, walaupun sebetulnya mengalami eliminasi sebesar 30 - 60% dan terjadi dalam proses secara ver-samaan^[2, 7].

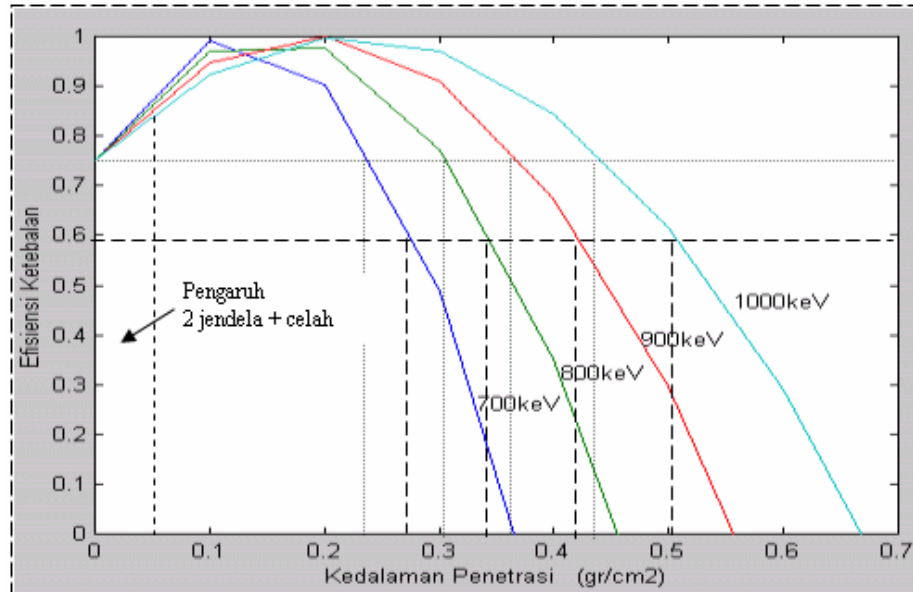
Dari persamaan (3) terlihat hubungan antara daya MBE, jumlah gas buang yang dihasilkan, dosis dan efisiensi pengguna berkas. Efisiensi pengguna merupakan perkalian antara efisiensi geometri (η_{geo}) dengan efisiensi ketebalan (η_{tebal}): $\eta = \eta_{\text{geo}} \times \eta_{\text{tebal}}$, nilai η_{geo} maksimum 0,9 tergantung dari berapa bagian berkas MBE yang terserap oleh gas buang pada saat melewati *vessel*. Sedangkan η_{tebal} nilainya antara 0,6 - 0,8 akan mempengaruhi kedalaman maupun ukuran *vessel* yang dirancang serta laju aliran gas buang. Sebelum proses pengolahan terjadi pada gas buang dalam *vessel*, berkas elektron melewati jendela MBE, celah udara jendela-*vessel*, dan jendela *vessel*.

Daya yang terserap gas buang per satuan volume pada jarak Z adalah $p_A(Z)$ dapat dinyatakan oleh persamaan daya relatif: $p_{A(Z)}/p_{A_{\text{maks}}} = 1 - 9/4 (z/S - 1/3)^2$. dengan z = kedalaman penetrasi elektron, $p_{A_{\text{maks}}}$ = daya berkas elektron maksimum, S = jangkauan elektron yang nilainya tergantung dari energi berkas elektron. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara daya relatif atau dapat dinyatakan dengan efisiensi ketebalan⁽⁸⁾ terhadap kedalaman penetrasi elektron pada berbagai energi MBE dan dimaksudkan untuk mengetahui ukuran *vessel* dalam pengolahan gas buang.

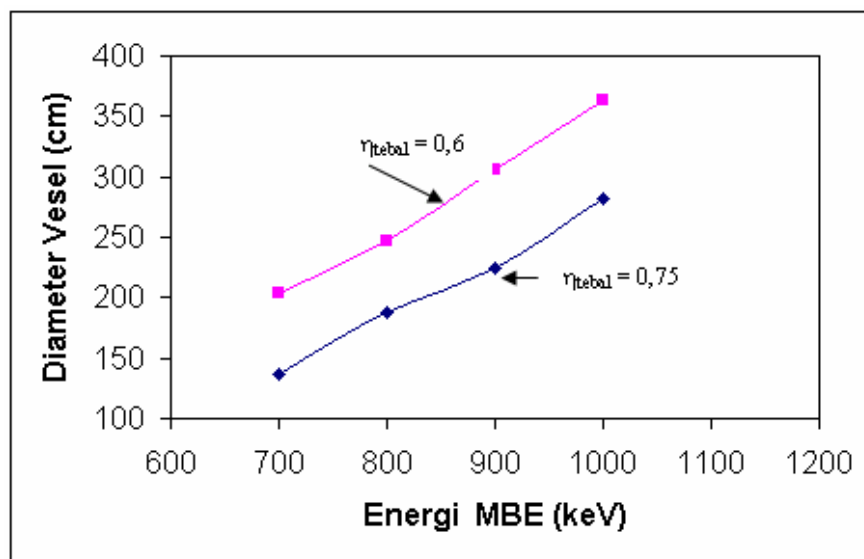
Dari gambar distribusi energi MBE antara 700 keV - 1000 keV, untuk contoh diambil efisiensi ketebalan 60%, diperoleh dari gambar diatas kedalaman penetrasi masing-masing adalah : 0,28; 0,34; 0,42; dan 0,5 gr/cm². Kalau tebal jendela MBE dan jendela *vessel* masing-masing adalah 50 μm dari bahan Ti ($\rho=4,6 \text{ gr/cm}^3$), celah udara 5 cm ($\rho = 0,000125 \text{ gr/cm}^3$), ρ gas buang = 0,00137gr/cm³, maka dari Gambar 5 akan diperoleh kedalaman berkas elektron yang menembus gas buang untuk energi 700 - 1000 keV dan setelah dihitung diperoleh 204, 247, 306, 364 cm. Dimensi *vessel* gas buang dapat berbentuk silinder atau balok bujur sangkar yang ukuran diameternya atau sisinya sama dengan penetrasi elektron pada gas buang^(6, 7). Pada Gambar 6 ditunjukkan hubungan antara diameter *vessel* dengan energi MBE pada berbagai efisiensi ketebalan.



Gambar 4. Hubungan antara dosis dan hasil SO_2 setelah pengolahan.



Gambar 5. Hubungan antara Efisiensi ketebalan terhasap kedalaman penetrasi.



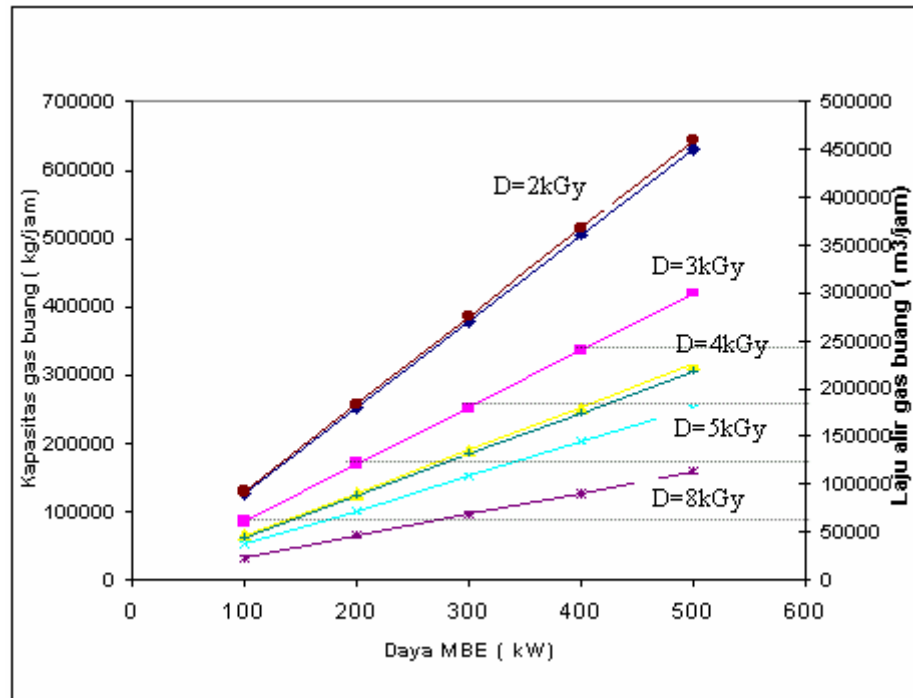
Gambar 6. Hubungan antara diameter vessel dengan energi MBE.

Makin besar energi yang diberikan pada gas buang, diameter *vessel* yang merupakan wadah iradiasi semakin besar. Diameter *vessel* akan diperlukan dalam menentukan kecepatan alir dalam pengolahan dengan MBE, dimana kapasitas produksi pengolahan gas buang dibagi dengan luas penampang vessel akan diperoleh kecepatan alir.

Kapasitas produksi dipengaruhi oleh daya MBE yang digunakan, selain itu dosis serap

menentukan jumlah SO_2 yang akan dieliminasi. Dalam merencanakan kapasitas produk pengolahan gas buang dengan menggunakan MBE, diperoleh berdasarkan pada persamaan (3). Untuk efisiensi penggunaan berkas $\eta = 0,70$ seperti dirancang oleh Ebtech^[6], dimana $\eta_{\text{geo}} = 0,9$ dan $\eta_{\text{tebal}} = 0,75$, maka hasil perhitungan akan diperoleh hubungan antara daya MBE terhadap kapasitas produk maupun laju

alir gas buang pada berbagai dosis serap seperti | ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara kapasitas hasil gas buang terhadap daya MBE.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa kapasitas gas buang yang dapat diolah makin besar pada daya MBE semakin besar, sedangkan kerapatan gas buang = 1,372 kg/m³, sehingga dengan cara membagi dengan kerapatan gas diperoleh kapasitas laju alir gas buang. Setiap PLTU yang menggunakan bahan bakar batu bara akan menghasilkan gas buang cukup besar. Untuk PLTU Suralaya setiap 400MWe menghasilkan gas buang 2,1 juta m³/jam, atau setiap daya 40 MWe menghasilkan gas buang sekitar 210000 m³/jam. Pada daya MBE 100 - 400kW (lihat Gambar 6) dan dari Gambar 3, untuk D = 3kGy (85% SO₂ tereliminasi), akan menghasilkan atau mengolah kapasitas gas buang masing-masing 60000 m³/jam, 120000m³/jam 180000m³/jam dan 245000 m³/jam. Kalau disetarakan dengan gas buang dari suatu PLTU, maka pada daya MBE seperti di atas dapat mengolah setara pada daya PLTU : 10MWe – 40 MWe.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tentang penentuan kapasitas pengolahan gas buang batu bara dengan menggunakan mesin berkas elektron dapat disimpulkan bahwa :

- Berkas elektron dari MBE pada dosis 2 – 5kGy diserap oleh gas buang batu bara yang mengandung sulfur 1% - 1,4% atau mengandung kadar SO₂ 1500 – 2200 ppm akan tereliminasi 80% – 95% dan menghasilkan gas buang di bawah batas baku mutu emisi.
- Energi berkas elektron antara 700 – 1000 keV, efisiensi ketebalan penetrasi = 0,75 ; diperoleh diameter vessel tempat iradiasi gas buang 204, 247, 306 dan 364 cm.
- Pada daya mesin berkas elektron 100 - 400 kW, dosis 3kGy dengan eliminasi SO₂ mencapai 85%, diperoleh kapasitas alir pengolahan gas buang masing antara 60000 – 245000 m³/jam yang setara olahan gas buang PLTU daya 10 – 40 Mwe.

ACUAN

1. DAGSTAN, INDONESIA POWER, *Executive Summary Studi Kelayakan Instalasi Pengolahan Gas Buang Dengan Mesin Berkas Elektron UBP Suralaya*, Jakarta, Desember 2002.

2. SHOJI HASHIMOTO, *Flue Gas Treatment by Electron Beam*, RA-L-14, Takasaki, Desember 2003.
3. NO NAME, *The Handbook of Electron Beam Processing*, Nissin High Voltage Co, Ltd. 1985.
4. S. TURHAN *et all*, *Technical and Economical of SO₂ and NO_x Removal from Flue Gas by Electron Beam Irradiation*, ANRTC – Ankara, 2004.
5. RUKIYATMO, M MUNAWIR, *Perancangan Sistem Model Untuk Pengolahan Gas Buang PLTU Batubara Kapasitas besatr dengan Berkas Elektron*, PPI – Akselerator dan Aplikasi, Oktober 2003.
6. BUNSOO HAN, *Proposal for Electron Beam Flue Gas Treatment System*, EB Tech Co. Ltd, Desember 2004.
7. INTERNET, *Technology for SO₂ and NO_x Reduction from Combustion Flue Gases by Energetic electron induced Plasma*, Process and Electric Discharge, 2004.
8. SIEGFRIED SCILLER *etc.*, *Electron Beam Technology*, John Willey & Sons, New York, 1982.

TANYA JAWAB

Subroto

- Seperti yang disampaikan oleh Bapak Kapus akan dimulai dengan kerja sama (MOU) antara BATAN dan Balai Kulit, apakah sudah mampu untuk proses penyempurnaan kulit dengan teknik Mesin Berkas Elektron dan bila sudah seberapa besar persentase dari kualitas awal dan apakah terjadi deformasi yang telah diproses dengan teknik MBE tersebut.

Slamet Santosa

- Berawal dari adanya kerja sama sudah barang tentu akan ada saling tukar informasi. Berapa dosis radiasi yang diperlukan untuk penyempurnaan proses penyamakan kulit, berapa energi elektron yang harus dipakai, dan sebagainya, untuk menjawab persoalan tersebut perlu dilakukan kajian eksperimen bersekala laboratorium.