

PENGUNAAN MESIN BERKAS ELEKTRON SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BATU BARA

Kristiyanti
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir

ABSTRAK

PENGUNAAN MESIN BERKAS ELEKTRON SEBAGAI ALTERNATIF PENGOLAHAN GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BATUBARA. Tujuan pengkajian ini adalah untuk mengetahui proses pengolahan gas buang hasil pembakaran batubara pada Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU). Hasil pembakaran batubara yang mengandung SO_x dan NO_x bisa menyebabkan hujan asam sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan. Metode yang digunakan adalah mengkaji pengolahan secara konvensional dan secara radiasi menggunakan irradiasi electron dari Mesin Berkas Elektron (MBE). Dari kajian ini dapat disimpulkan bahwa gas buang hasil pembakaran batubara mengandung SO_x dan NO_x yang merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan bisa diatasi dengan pengolahan gas buang menggunakan MBE. Dibandingkan dengan pengolahan gas buang secara konvensional, pengolahan gas buang menggunakan berkas elektron lebih efisien karena penggunaan lahan terbatas dan proses reduksi SO_x dan NO_x secara serentak. Apabila menggunakan parameter yang optimal maka akan didapatkan hasil yang maksimal.

Kata kunci : pengolahan gas buang batubara, MBE.

ABSTRACT

AN APPLICATION OF THE ELECTRON BEAM MACHINE AS AN ALTERNATIVE FLUE GAS TREATMENT FROM COAL BURNING. The aim of this study is to recognize the process of flue gas treatment from the coal burning in a steam power plant system. The coal burning will produce flue gas that contains SO_x and NO_x that can cause acid rain which is not safe for environment. A study using comparison method, conventional process and irradiation process from electron beam machine (MBE) system, has been implemented. The study shows that the flue gas produced by coal burning that contains SO_x and NO_x can be processed further using irradiation of MBE to become safe for environment. The process using irradiation of MBE is more efficient than the conventional process, because it requires limited area for the process and the reduction process of SO_x and NO_x is done simultaneously. Moreover, using the optimal parameter process will produce the maximal result.

Key word : flue gas treatment from coal burning, electron beam machine.

PENDAHULUAN

Batubara dengan teknologi bersih atau dikenal dengan istilah "*Clean Coal Technology*" menjadi isu kuat di dunia industri pembangkit energi batubara. Teknologi ini mencakup pengembangan teknologi pemanfaatan batubara yang lebih maju untuk mencapai kinerja yang lebih baik dari segi lingkungan, ekonomi dan efisiensi termal serta mampu menggunakan berbagai jenis batu bara. Teknologi batubara bersih dapat dilakukan dalam berbagai tingkatan, yaitu sebelum pembakaran, selama pembakaran dan setelah pembakaran. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara memiliki dua reputasi yang saling bertolak belakang. Disatu pihak PLTU batubara mempunyai reputasi baik karena mampu memproduksi listrik dengan biaya 30 % lebih rendah dibandingkan sistim pembangkit yang lain. Namun dilain pihak PLTU batubara juga mempunyai reputasi buruk karena merupakan sumber pencemar utama atmosfer kita⁽¹⁾

Pencemaran yang ditimbulkan dari hasil pembakaran batubara berasal dari gas buang yang dikeluarkan dari cerobong dan dilepas ke udara. Gas buang hasil pembakaran batubara mengandung SO_x dan NO_x yang tidak dikehendaki karena merupakan gas pencemar udara. Meskipun sebelum dilepas gas tersebut sudah menggunakan alat pembersih endapan (presipitator) untuk membersihkan partikel-partikel kecil dari asap pembakaran batu bara, namun senyawa-senyawa seperti SO_x dan NO_x akan terlepas ke udara bebas. Kedua gas tersebut dapat bereaksi dengan uap air yang ada di udara membentuk H_2SO_4 (asam sulfat) dan HNO_3 (asam nitrat) dan akan jatuh bersama air hujan menyebabkan terjadinya hujan asam, yang menyebabkan kerusakan lingkungan.

Dalam upaya memperhatikan kebersihan dan dampak terhadap lingkungan maka diharapkan gas SO_x dan NO_x yang dilepas ke udara tidak akan melebihi Batas Mutu Emisi (BME) yang diperkenankan. Untuk

memenuhi BME dilakukan pengolahan gas buang dengan berbagai proses pengolahan diantaranya pengolahan secara konvensional FGD (*Flue Gas Desulfurisation*), SCR (*Selective Catalytic Reduction*), FBC (*Fluidized bed Combustion*) dan teknologi pengolahan gas buang menggunakan iradiasi elektron yang berbasis Mesin Berkas Elektron (MBE).

Pengolahan gas buang yang berbasis MBE ini sudah dilakukan penelitian diberbagai Negara, tetapi di Indonesia baru mulai dilakukan.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN GAS BUANG SECARA KONVENSIONAL

Ada beberapa teknologi yang telah dikembangkan untuk mengurangi emisi SO_2 dan NO_x diantaranya yaitu

a. Teknologi FGD (*Flue Gas Desulfuritation*).

Suatu metoda untuk memisahkan polutan SO_x dalam gas buang dengan menggunakan penyerap batu kapur atau $Ca(OH)_2$. Gas buang dari cerobong dimasukkan ke dalam fasilitas FGD dan disemprotkan udara sehingga SO_2 dalam gas buang teroksidasi menjadi SO_3 . Selanjutnya gas buang didinginkan dengan air, sehingga SO_3 bereaksi dengan air (H_2O) membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat selanjutnya direaksikan dengan $Ca(OH)_2$ sehingga diperoleh hasil pemisahan berupa gypsum. Gas buang yang keluar dari sistim FGD sudah terbebas dari oksida sulfur. Hasil samping proses FGD adalah gypsum sintetis karena mempunyai senyawa kimia yang sama dengan gypsum alam. Proses ini membutuhkan lahan yang besar.

Selain dapat mengurangi sumber polutan penyebab hujan asam, gypsum yang dihasilkan melalui proses FGD ternyata juga memiliki nilai ekonomi karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, misal untuk bahan bangunan. Sebagai bahan bangunan, gypsum tampil

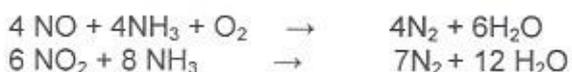
dalam bentuk papan gypsum (*gypsum board*) dinding penyekat atau pemisah ruangan (*partition board*) dan pelapis dinding (*wall board*). Amerika Serikat merupakan Negara perintis dalam memproduksi gypsum sintetis ini. Pabrik *wall board* dari gypsum sintetis yang pertama di AS didirikan oleh Standard Gypsum LLC mulai Nopember tahun 1997 lalu. Lokasi pabriknya berdekatan dengan stasiun pembangkit listrik Tennessee Valley Authority (TVA) di Cumberland yang berkapasitas 2600 Mega Watt. Produksi gypsum sintetis merupakan suatu terobosan yang mampu mengubah bahan buangan yang mencemari lingkungan menjadi suatu produk baru yang bernilai ekonomi. Sebagai bahan wallboard, gypsum sintetis yang diproduksi secara benar ternyata memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan gypsum yang diperoleh dari penambangan. Gypsum hasil proses FGD ini memiliki ukuran butiran yang seragam. Mengingat dampak positifnya cukup besar, tidak mustahil suatu saat nanti, setiap PLTU batu bara akan dilengkapi dengan pabrik gypsum sintetis.⁽²⁾

b. Teknologi SCR (Selective Catalytic Reduction)

Suatu metode untuk mengurangi polutan NO_x.

Prinsip dari metode ini yaitu menggunakan reduksi katalitik selektif dengan penambahan urea (NH₂)₂CO atau amoniak (NH₃). Bahan ini diinjeksikan kedalam aliran gas buang dan NO_x akan berubah menjadi N₂ dan uap air.

Reaksi kimia yang terjadi seperti berikut.



Efisiensi sistim SCR ini dalam mengurangi polutan NO_x sampai sebesar 90 – 95%. Dan menghasilkan nitrogen dan uap air.

Metode konvensional ini cukup rumit dan memerlukan biaya investasi yang cukup besar karena menggunakan katalis logam

berat yang mahal. Katalis ini mudah terkontaminasi sehingga harus sering dilakukan penggantian. Disamping itu metode konvensional ini mempunyai masalah penyimpanan produk akhir dan pembuangan limbah cair.⁽³⁾

c. Sea Water exhaust gas Scrubber untuk mengurangi polutan SO_x.

Prinsip utama metode ini adalah mendinginkan gas buang sampai pada titik embun dari gas buang tersebut dan mengakibatkan terjadinya kondensasi SO_x. Saat terjadinya pendinginan akibat kontak gas buang dengan air laut, dimana air laut dengan PH 8,1 terjadi proses netralisasi dan pengenceran gas buang. Sistim ini awalnya banyak digunakan sebagai sistim untuk desulphurisasi dalam industri, namun saat ini banyak digunakan di kapal. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa, polutan SO_x menurun dari 497 ppm menjadi 48 ppm dengan ph water scrubber menurun dari 8,01 menjadi 2,95 dari sifat basa menjadi sifat asam.⁽⁴⁾

d. Teknologi FBC (Fluidized bed Combustion).

FBC merupakan suatu penerapan teknologi maju yang efisien untuk mengurangi emisi SO_x dan NO_x. Pada suhu pembakaran 800 °C emisi NO_x dapat dikurangi hingga 33 %. Karena suhu pembakarannya tinggi, maka emisi gas NO_x juga tinggi⁽⁴⁾, sehingga untuk dilepas ke udara pada suhu tinggi perlu penanganan tersendiri.

TEKNOLOGI PENGOLAHAN DENGAN MESIN BERKAS ELEKTRON (MBE)

Metode pengolahan lain yang menggunakan pengolahan yang berteknologi tinggi dan kini mulai banyak dipertimbangkan untuk mengurangi terjadinya hujan asam adalah Mesin Berkas Elektron (MBE) dengan teknik irradiasi electron atau electron beam machine.

Metode pengolahan ini mampu memproses polutan SO_x dan NO_x secara bersama-sama. Produk samping dari metode ini diharapkan didapatkan bahan pembuat pupuk.⁽⁵⁾

Proses pengolahan meliputi beberapa tahapan proses yaitu :

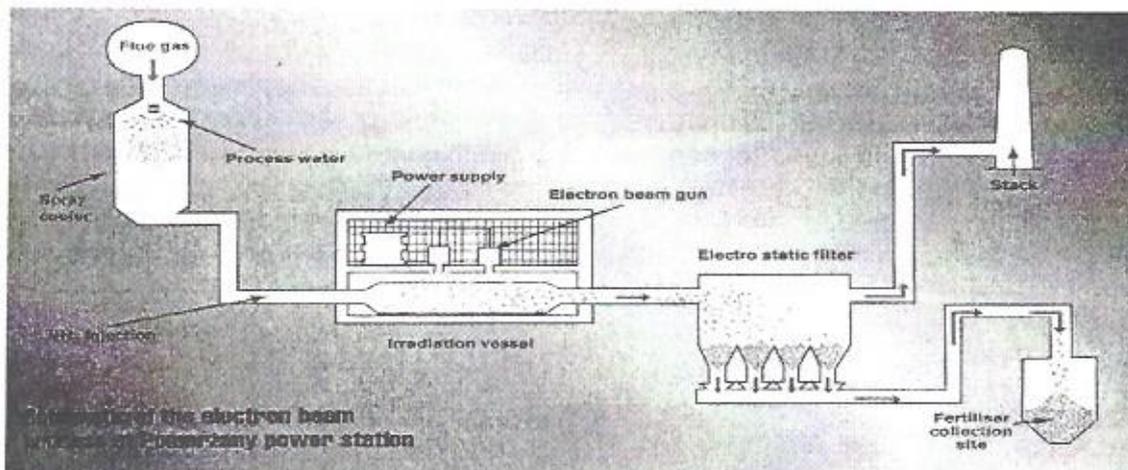
1. Gas buang didinginkan dan dilembapkan pada kondisi tertentu dengan menyebarkan air.
2. Gas buang ditambahkan ammonia.
3. Gas buang diiradiasi didalam bejana proses menggunakan mesin berkas electron.
4. Produk samping yang didapat dikumpulkan

Proses pengolahan gas buang dengan MBE

Radiasi elektron yang dipancarkan oleh MBE bereaksi dengan molekul-molekul gas buang, membentuk pasangan ion dan radikal bebas

Dalam gas campuran, fraksi energi yang diserap tiap komponen sebanding dengan tekanan partial dari masing-masing komponen gas.

Radikal bebas $OH\cdot$, $O_2H\cdot$, $N\cdot$, $O\cdot$, $H\cdot$ yang bereaksi dengan SO_2 dan NO_x membentuk asam nitrat dan asam sulfat. Kedua asam ini dipertemukan dengan ammonia membentuk aerosol berupa ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Selain menghasilkan ammonium nitrat sebagian NO_x akan diubah menjadi N_2 dan N_2O yang dikonfirmasi dalam eksperimen sebagai N_{15} . Reaksi pembentukan ion radikal sampai pembentukan pupuk berlangsung sangat cepat dalam orde 0,1 – 1 detik. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam desain ruang proses agar tempat jatuhnya pupuk dapat diperkirakan. Dengan pertimbangan kriteria kondisi proses, maka disain pengolah gas buang harus dirancang dengan mengambil kriteria yang secara teknis mudah dilaksanakan.



Gambar 1. Proses pengolahan gas buang dengan MBE

PEMBAHASAN.

Dalam upaya untuk memenuhi Baku Mutu Emisi untuk batas yang diizinkan emisi SO₂ / NO_x maka gas buang dari hasil pembakaran batu bara untuk PLTU harus dilakukan pengolahan sebelum dilepas ke udara. Karena masalah lingkungan akan berdampak pada semua makhluk hidup maka, masalah ini harus menjadi kepedulian bersama baik institusi riset maupun industri. Sesuai dengan Keputusan Menteri LH No 13/MEN LH/3/1995, baku mutu lingkungan sesuai dengan Tabel 1⁽⁶⁾.

Tabel 1. Baku Mutu lingkungan

Batas maks emisi	Tahun 1995 (mg/m ³)	Tahun 2000 (mg/m ³)
SO ₂	1500	750
NO _x	1700	850
Total partikel	300	150

Pada proses pengolahan gas buang secara konvensional diperlukan lahan yang luas untuk pengolahan dan biaya pengolahan relatif mahal.

Sedangkan teknologi pengolahan dengan menggunakan MBE lahan yang diperlukan relatif lebih kecil disamping memiliki kemampuan pengolahan untuk 2 macam gas buang SO₂ dan NO_x secara simultan.

Proses MBE yang menggunakan teknologi irradiasi gas buang akan menghasilkan radikal-radikal aktif yang bereaksi dengan SO₂ dan NO_x membentuk asam sulfat dan asam nitrat.

Dengan penambahan NH₃ maka asam sulfat dan asam nitrat akan berubah menjadi ammonium sulfat (NH₄)₂SO₄ dan ammonium sulfat nitrat (NH₄)₂SO₄.2NH₄NO₂.

Kedua senyawa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk sulfat dan pupuk nitrogen.

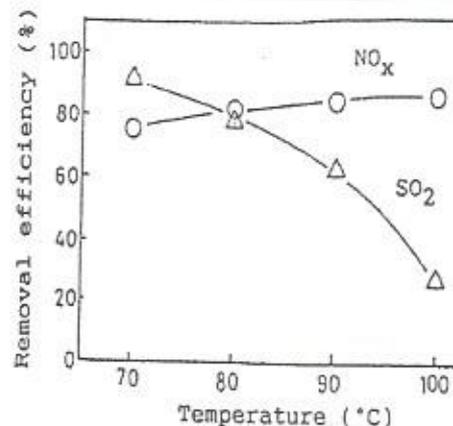
Wujud fisiknya pun berubah yaitu dari gas menjadi kristal/partikel

Dari hasil beberapa penelitian yang pernah dilakukan diberbagai Negara, maka faktor-

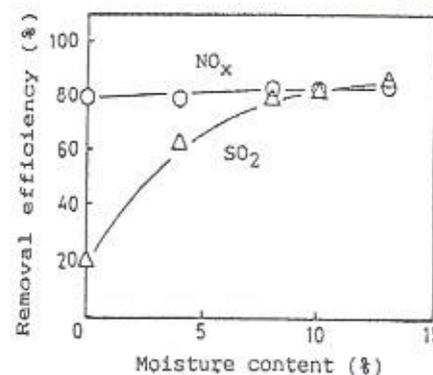
faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses irradiasi gas buang ditentukan oleh lima parameter pokok yaitu : kelembaban dan temperatur, dosis irradiasi, injeksi NH₃, jumlah stage dalam irradiasi.⁽⁷⁾

Kelembaban dan temperatur

Gas buang sebelum proses irradiasi perlu dilakukan pengkondisian kelembaban dan temperatur. Gas buang keluar dari cerobong PLTU mempunyai temperatur sekitar 135 °C – 145 °C sedangkan persyaratan masuk irradiator MBE diharapkan 65° C dengan kelembaban ± 12 % , Kondisi ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Hasimoto dkk ⁽⁷⁾ untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimum. Sesuai dengan Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Hubungan antara temperatur dan efisiensi

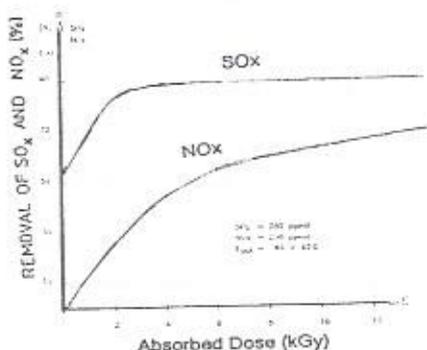


Gambar 3. Hubungan antara kelembaban dan efisiensi .

Gambar ini memperlihatkan bahwa semakin tinggi temperatur, efisiensi pengolahan SO_2 semakin rendah, dan efisiensi pengolahan NO_x semakin tinggi. Titik optimum terjadi pada temperature sekitar $65^\circ C$. Sedangkan pengaruh efisiensi untuk mengubah NO_x besarnya kelembaban tidak berpengaruh. Tetapi untuk mengubah SO_2 kelembaban sangat berpengaruh, yaitu dengan kelembaban yang rendah maka efisiensi kecil tapi pada kelembaban yang lebih tinggi efisiensi akan naik. Efisiensi optimum pada kelembaban antara 10 – 15 %.

Dosis irradiasi

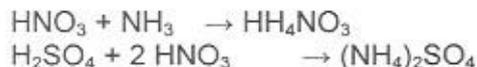
Dosis irradiasi sangat berpengaruh untuk menentukan efisiensi pengolahan. Untuk pengolahan SO_2 dosis 4 kGy pada temperature cukup rendah efisiensi bisa mencapai 80 %. Untuk pengolahan NO_x , semakin tinggi dosis radiasi, semakin tinggi efisiensi NO_x . Dosis irradiasi dibawah 4 kGy efisiensi nol. Tetapi untuk dosis diatas 8 kGy dapat menghasilkan efisiensi pengolahan NO_x diatas 80 %, tetapi biaya irradiasi sangat mahal. Sehingga untuk mengolah SO_2 dan NO_x yang bersamaan digunakan dosis antara 5 kGy – 10 kGy. Sesuai dengan gambar (4)



Gambar 4. Hubungan antara dosis dan efisiensi

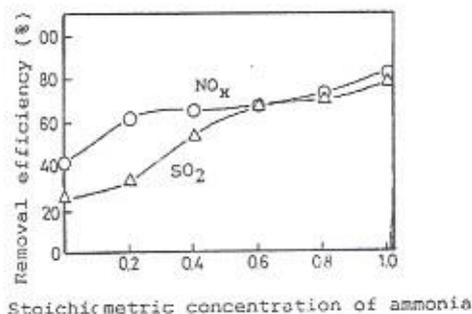
Injeksi NH_3

Sistim injeksi berfungsi untuk memasukkan gas amoniak pada sistim aliran gas buang. Amoniak berfungsi menangkap HNO_3 dan H_2SO_4 hasil reaksi SO_2 dan NO_x dengan radikal bebas sebagai berikut :



Berdasarkan penelitian pemakaian gas amoniak lebih efektif pada HNO_3 dibanding H_2SO_4 , namun semakin tinggi konsentrasi amoniak ternyata probabilitas penangkapan H_2SO_4 dan HNO_3 hampir sama. Oleh karenanya dalam pengikatan konsentrasi amoniak dengan injeksi dibatasi pada kondisi stoichiometri dan reaksi antar amoniak dengan asam sulfat atau asam nitrat.

Agar efisiensi pengolahan SO_2 dan NO_x mendekati 80 % maka konsentrasi NH_3 harus diatas 1 % dari konsentrasi stoichiometri. Namun bila konsentrasi NH_3 terlampau tinggi, karena tidak semua SO_2 menjadi H_2SO_4 dan NO_x menjadi HNO_3 (tergantung efisiensi pembentukan asam), maka bisa terjadi kelebihan NH_3 . Hal ini tidak diharapkan karena NH_3 akan lolos dan akan ikut gas buang yang dilepas ke udara sehingga akan menambah pencemaran. Sesuai dengan gambar (5)

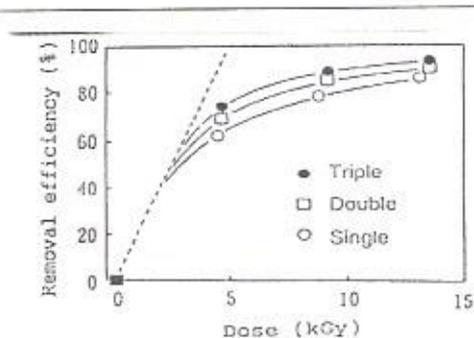


Gambar 5. Pengaruh NH_3 terhadap efisiensi

Irradiasi multi stage.

Efisiensi pengolahan SO_2 dan NO_x dapat ditingkatkan dengan memperpanjang waktu irradiasi yaitu memperbanyak tahap proses atau multi stage irradiasi. Hal ini karena pada dosis terlalu rendah, masih tersisa cukup banyak SO_2 dan NO_x yang belum terirradiasi.

Namun untuk stage yang lebih dari dua hanya efektif terhadap efisiensi pengolahan dari NO_x , karena pada efisiensi pengolahan SO_2 setelah state kedua SO_2 sudah sangat besar. Pendekatan ini telah digunakan pada berbagai sistem pengolahan gas buang dengan MBE, dimana sebagian besar hanya menggunakan dua stage, dalam mengatasi kekurangan dosis. Namun untuk meningkatkan efisiensi pengolahan NO_x , perlu digunakan sampai tiga stage, karena setelah stage kedua sisa NO_x yang baru terolah masih banyak.



Gambar 6. Pengaruh irradiasi multistage terhadap efisiensi.

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh A.G. Chemileski dkk. terhadap kelima batasan diatas, kondisi optimal dapat dipilih untuk temperature operasi sebesar 70°C , kelembaban 12 % injeksi ammonia mendekati kondisi stochiometri dan jumlah tahapan irradiasi dua stage untuk gas buang bahan bakar batu bara yang lebih banyak mengeluarkan SO_2 atau tiga stage untuk yang lebih banyak mengeluarkan NO_x . Pemilihan nilai parameter yang lebih rendah secara teknis kurang maksimal. Sebaliknya pemilihan parameter yang lebih tinggi akan didapatkan hasil yang kurang efektif.

KESIMPULAN.

Teknologi pengolahan gas buang hasil pembakaran batu bara secara konvensional

menggunakan FGD, SCR, Sea water dan FBC untuk reduksi emisi SO_2 dan NO_x tidak digunakan karena kurang efisien dan kurang ekonomis. Sedangkan apabila digunakan proses MBE bisa digunakan dengan lahan yang terbatas dan secara ekonomi pengolahannya relatif lebih murah dibandingkan secara konvensional. Pengolahan dengan proses MBE terjadi secara serentak, dan hasil samping berupa pupuk yang bernilai ekonomis, proses terjadi dalam keadaan kering tidak ada limbah. Apabila menggunakan parameter yang optimal maka akan didapatkan hasil yang maksimal

DAFTAR PUSTAKA.

1. Riyanto Manosin "Energi batubara" BTE vol 8/18/Oktober - Desember/1999.
2. Mukhlis Akhadi " Menuju PLTU ramah lingkungan". Http://www.energi.lipi.go id " 8/27/2008.
3. Tri Retno Diah dkk "Penggunaan Berkas Elektron dalam pengendalian polusi gas buang" Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasinya. Vol.1 No 2 Desember 1999.
4. Agung Sudrajat "Mengenal Teknologi Pengurangan Pencemaran udara NO_x dan SO_x ", Inovasi Online, vol 7/XVIII/Juni 2006.
5. A.G.CHMIELEWSKI et all. "Pilot Plant for electron beam SO_2 dan NO_x removal from combustion flue gases", Warsawa, 1991.
6. Studi kelayakan instalasi pengolahan gas buang dengan Mesin Berkas Elektron UBP Suralaya,2002.
7. S.HASHIMOTO et all. "Faktor effecting removal of NO_x and SO_2 " JAERI - RESEARCH, 96 - 053.