

## SISTIM MONITORING PENGOLAHAN GAS BUANG SO<sub>x</sub> DAN NO<sub>x</sub> DENGAN AKSELERATOR ELEKTRON

Arjoni Amir, Sutomo Budihardjo, M. Munawir Z, Sanda dan Kristiyanti  
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) - BATAN

### ABSTRAK

**SISTIM MONITORING PENGOLAHAN GAS BUANG SO<sub>x</sub> DAN NO<sub>x</sub> DENGAN AKSELERATOR ELEKTRON.** Pengolahan gas buang sisa hasil pembakaran di industri telah banyak dilakukan oleh beberapa negara karena menurunkan tingkat polusi udara, bermanfaat bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup. Metode baru untuk menurunkan kadar beracun dalam gas buang sisa hasil pembakaran adalah dengan menggunakan irradiasi mesin berkas elektron (*electron beam machine*) yang merupakan sebuah proses pembersih-kering yang mengolah gas buang SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan NO hasil pembakaran secara simultan. Proses ini bekerja dengan prinsip radiasi elektron dimana irradiasi electron pada gas buang menghasilkan radikal aktif yang bereaksi dengan SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> membentuk asam sulfat dan asam nitrat. Penambahan gas amoniak pada kedua asam tersebut akan mengakibatkan terbentuknya ammonium sulfate, ammonium nitrate dan pada akhirnya terbentuk ammonium sulfat nitrate. Gas buang sisa hasil pembakaran melalui setiap komponen proses harus diukur (*monitoring*), dianalisis apakah masih sesuai dengan spesifikasi, *reliable*, akurat agar diperoleh hasil yang optimal. Dari informasi yang tersedia terdapat beberapa produk peralatan yang telah dipakai pada sistim monitoring dan analisis seperti peralatan penganalisis gas buang.

(kata kunci: *monitoring, analysis, flue gas*)

### ABSTRACT

**MONITORING SYSTEMS AT PROCESSING OF FLUE GASES SO<sub>x</sub> AND NO<sub>x</sub> WITH ELECTRON ACCELERATOR.** Flue gas processing of the rest of combustion result in industries has been conducted in some states because of degrading air pollution level, be of benefit to health of human being and environment. New method is used to degrade poisonous rate in flue gas of the rest of combustion result using electron beam machine as a process of cleaning - scrubbing processing SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> of combustion result by simultan. This process works based on irradiation at flue gas to yield active radicals which react with SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> form sulfate acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and nitrate acid (HNO<sub>3</sub>) The addition of NH<sub>3</sub> gas hence will result ammonium sulfate, ammonium nitrate and ammonium sulfate nitrate. Flue gas of the rest of combustion result through each process component has to be measured (*monitoring*), analyzed whether it is still as according to specification, reliability and accuration, so that to be obtained by optimal result. The available information shows there are some equipment products which have been used for monitoring and analysis system like equipment of analyzer for flue gas.

(key-words : *monitoring, analysis, flue gas*)

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri seperti industri kimia, industri logam dasar di Indonesia sangat pesat sehingga penggunaan batubara dalam industri tersebut makin meningkat. Salah satu dampak negatif dari penggunaan batu bara tersebut adalah timbulnya pencemaran bahan beracun dari gas buang sisa hasil pembakaran yang dapat merusak kualitas lingkungan<sup>[1]</sup>. Gas buang sisa hasil pembakaran batubara di industri tersebut mengandung SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang lepas ke

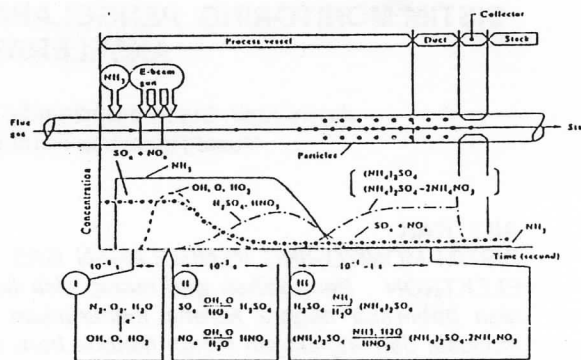
udara sehingga menimbulkan polusi udara seperti hujan asam dan pada batas tertentu merusak kesehatan manusia. Gas buang sisa hasil pembakaran tersebut perlu dimonitoring dan dianalisis sebelum dilepas ke udara.

Saat ini salah satu metode yang baru untuk mengolah gas buang sisa hasil pembakaran adalah dengan menggunakan mesin berkas elektron / akselerator elektron (*electron beam machine*) yang berfungsi sebagai proses pembersih-kering<sup>[2]</sup> gas buang sehingga dapat mengurangi jumlah SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>

dari sisa hasil pembakaran dan mengubah komponen yang bersifat racun dalam aliran gas menjadi pupuk.

Irradiasi elektron pada gas buang akan menghasilkan radikal-radikal aktif yang bereaksi dengan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  membentuk asam sulfat dan asam nitrat seperti terlihat dalam gambar 1. Dengan menambah amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang diinjeksikan dalam lingkungan asam tersebut akan mengubah asam sulfat dan asam nitrat menjadi ammonium sulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) dan ammonium nitrate ( $(\text{NH}_3)\text{NO}_3$ ) dan akhirnya membentuk ammonium sulfat nitrat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Agar proses tersebut terjadi secara optimal maka pengaruh parameter seperti temperatur, tingkat dosis radiasi, jumlah  $\text{NH}_3$  dan kondisi kelembaban (uap air) dalam ruang tersebut harus memenuhi kondisi stoichiometri termokimia yang mendukung kondisi ini agar tidak terjadi kelebihan atau kekurangan senyawa yang diperlukan dalam proses kimia tersebut selain temperature operasi dan dosis radiasi. Untuk mendapatkan kondisi tersebut diperlukan monitoring (*monitoring*) terhadap parameter-parameter komponen reaksi dan temperatur, dengan proses monitoring dan pengendalian (*control*) akan diperoleh kebutuhan akan komponen-komponen senyawa yang diperlukan agar selalu sesuai dengan yang diharapkan.

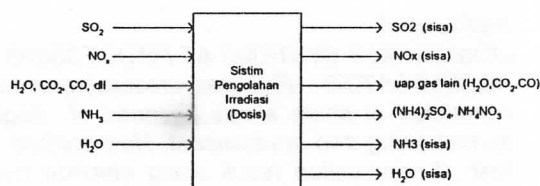
Proses pengukuran dan pengendalian parameter-parameter ini dapat dilakukan pada titik-titik kritis dalam sistim pengolahan gas buang dengan berkas electron. Pada tulisan ini dijelaskan suatu sistim monitoring dan pengendalian gas buang  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  dengan akselerator elektron dengan pemilihan peralatan ukur yang sesuai untuk analisis gas dan kendali proses.



Gambar 1.  
Model reaksi pengolah gas buang [6,7]

## 2. PROSES MONITORING

Secara sederhana konsep sistim monitoring (*monitoring system*) dan analisis dapat dijelaskan seperti Gambar 2.



Gambar 2.  
Sistim monitoring dan pengendalian

$\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  merupakan data masukan yang tidak bisa ditotal (natural) sebagai bawaan dari flue gas yang digunakan, sedangkan  $\text{NH}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  merupakan data masukan yang diatur agar sesuai dengan requirement.

Dari aspek monitoring dan pengendalian seperti tersebut pada Gambar 2 dalam mengolah gas buang dengan menggunakan berkas elektron terdapat tiga posisi yang perlu diperhatikan yaitu,

- Sebelum proses,
- Pada saat proses,
- Sesudah proses,

Dalam proses pengendalian ini harus diperoleh kondisi sisa  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NH}_3$  sekecil mungkin dan perbandingan sisa

SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> terhadap jumlah SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> masukan lebih rendah atau sama dengan efisiensi yang diharapkan. Dengan mengatur dosis radiasi kondisi temperatur dan injeksi H<sub>2</sub>O dan NH<sub>3</sub> tersebut akan dapat dicapai, untuk itu diperlukan kemampuan monitoring yang baik terhadap dosis, uap air (kelembaban), ammoniak, temperature dan posisi-posisi daerah input (preproses), proses (inproses) dan output (post proses).

#### a. Sebelum proses

Pada daerah ini perlu dilakukan pengukuran komposisi dan aliran gas buang sebagai bagian masukan dari proses pengolahan gas buang. Pertama monitoring dilakukan pada pipa gas hasil pembakaran setelah melalui ESP (*Electrostatic Precipitator*) yang dapat menginformasikan konsentrasi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan kadar abu sebagai informasi kondisi awal (masukan) dari gas buang hasil pembakaran, biasanya selain ada senyawa-senyawa lain seperti H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> dari hasil pembakaran yang keluar dari *boiler* terdiri dari NO dan NO<sub>2</sub> dengan komposisi NO ~ 95 % didalam NO, berarti NO dominan didalam NO<sub>x</sub>. Parameter yang perlu diukur sebagai kondisi masukan adalah kadar SO<sub>2</sub>, perbandingan kadar NO / NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, kelembaban, beban abu terbang, temperatur, tekanan negative dan debit gas buang. Pengukuran kondisi awal ini diperlukan agar dapat ditentukan besarnya,

1. efisiensi pengolah SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>,
2. dosis radiasi gas buang yang diperlukan,
3. jumlah uap air yang ditambahkan kedalam pendingin / *humidifier*,
4. Jumlah ammoniak (NH<sub>3</sub>) yang harus ditambahkan pada gas buang sebelum masuk kedalam bejana proses (*process vessel*).

Faktor utama yang menyulitkan pengukuran komposisi gas buang pada daerah masukan adalah pengukuran kandungan uap air yang besarnya hanya 5 % vol, beban abu terbang, konsentrasi

CO<sub>2</sub>, CO dan O<sub>2</sub>. Peralatan analisis gas buang yang dipakai pada posisi ini harus sesuai.

Kedua, monitoring dan pengendalian dilakukan pada bagian masukan (*inlet*) sistim pendingin gas (*spray cooler*) vertikal. Proses didalam pendingin ini digunakan untuk menurunkan temperatur gas buang sekaligus untuk menaikkan kelembaban. Tehnik yang digunakan adalah gas buang lewat melalui bagian atas tengah (*inlet*) sebuah kolom pendingin vertikal yang bagian dalam atas terdapat penyemprot air (H<sub>2</sub>O) atau *spray cooler* mengarah kebawah kolom. Dalam kolom ini air ditambahkan sehingga temperatur gas buang turun dan kelembaban gas buang naik sampai level 10-14 % vol [6]. Kelembaban gas ini harus diukur dan dikendalikan saat keluar dari kolom (*outlet*). Peningkatan kelembaban gas buang akan melengkapi data analisis gas pada bagian keluaran kolom. Sebelum gas buang masuk ke bejana proses (*process vessel*) akan diinjeksikan sejumlah gas ammoniak (NH<sub>3</sub>) yang jumlahnya dikendalikan dengan peralatan dosimeter ammoniak dan selalu mendekati kondisi stoichiometri.

#### b. Pada saat proses

Didalam bejana proses (*process vessel*) parameter yang perlu diukur adalah dosis radiasi (K Gy) yang dihasilkan oleh elektron energi tinggi dan keberadaan sejumlah gas ammoniak yang hampir mendekati kondisi stoichiometri. Disamping itu terdapat perubahan yang sangat penting dalam komposisi gas buang yang terjadi sebagai hasil proses fisika kimia yang mengiringi proses radiasi oleh elektron. Perubahan tersebut adalah berupa aliran gas yang meninggalkan bejana proses yang terdiri dari gas multi komponen dalam sistim tiga fase.

Pertama fase gas yang diwujudkan dalam bentuk penurunan kadar SO<sub>2</sub>, NO dan kadar NO<sub>2</sub> (naik sedikit) sebagai gas sisa, serta sisa gas NH<sub>3</sub> dan kandungan uap air yang tidak ikut bereaksi serta produk samping N<sub>2</sub>O sedangkan gas lain seperti CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> tidak berubah

konsentrasinya karena tidak mengalami reaksi. Bila sisa  $\text{NH}_3$  dan kandungan air terlampau banyak maka penambahan uap air dan ammoniak harus dikurangi. Kedua, fase cair yaitu terdiri atas asam sulfat dan asam nitrat. Fase ketiga adalah fase padat berupa hasil samping dari hasil proses yaitu suatu partikulat dari ammonium sulfat, ammonium nitrat. Bahan partikulat tersebut berupa partikel *higroskopis* dengan diameter antara 0.4-1.0  $\mu\text{m}$ .

Besarnya perubahan komposisi gas buang tergantung pada dosis iradiasi, kondisi stoichiometri ammoniak dan kelembaban gas dalam bejana proses. Dalam banyak kasus diperlukan pengukuran secara bersamaan kadar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  dan  $\text{NO}_x$ . Faktor yang sangat dominan pada posisi ini adalah kesulitan pengukuran komposisi gas seperti pengukuran kadar ammoniak, kelembaban ~ 12 % vol, ukuran *submicrometer particulate hygroscopic* dari hasil akhir dan aerosol. Pengukuran komposisi gas pada posisi ini sangat sulit sehingga diperlukan antisipasi selama operasi instalasi, komposisi gas buang diukur secara periodik sebagai perbandingan dengan pengukuran setelah hasil samping ESP yakni abu sisa dan gas-gas lain. Pengukuran pada keluaran bejana proses dilakukan apabila terjadi situasi kegagalan operasi dan dalam rangka pemeriksaan optimalisasi unjuk kerja.

### c. Sesudah proses

Partikulat hasil pengolahan gas buang dipisahkan dengan menggunakan filter atau ESP sehingga hampir 95 % dari partikulat terpisah, sedangkan parameter-parameter gas lainnya tidak berubah sehingga pada posisi ini dapat ditentukan efisiensi pengolahan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$  sesudah proses (sisa) dan kondisi awal yang dinyatakan dalam persamaan (1) dan (2),

$$\eta_{\text{SO}_2} = \left\{ 1 - \frac{\text{konsentrasi } \text{SO}_2 \text{ sesudah}}{\text{konsentrasi } \text{SO}_2 \text{ sebelum}} \right\} \times 100\%$$

(1)

$$\eta_{\text{NO}_x} = \left\{ 1 - \frac{\text{konsentrasi } \text{NO}_x \text{ sesudah}}{\text{konsentrasi } \text{NO}_x \text{ sebelum}} \right\} \times 100\%$$

(2)

Dari perhitungan nilai efisiensi dapat ditentukan dampak ekologi. Proses pengukuran ini harus dilakukan secara kontinyu yang meliputi pengukuran kadar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}/\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$ , kelembaban, bahan partikulat, temperatur dan volume gas (debit).

### 3. Faktor-faktor Yang Perlu Diperhatikan

Faktor-faktor yang bisa menyempurnakan proses pengolahan gas buang dengan mesin berkas elektron (MBE) adalah rendahnya temperatur ( $60^\circ\text{C}$ - $90^\circ\text{C}$ ) dan tingginya kelembaban (10-14 % vol) yang akan sangat berpengaruh terhadap hasil keluaran dari bejana proses yang terlihat pada sistim filtrasi (ESP, *bag filter* atau *gravel bed filter*), oleh karena itu pengukuran komposisi gas buang sangat penting.

Pengukuran dengan sistim sampling pada peralatan analisis gas, bisa terjadi kondensasi uap air dan gas asam pada temperatur tersebut selain itu terdapat tiga komponen gas yang bersifat mudah larut dalam air (*water-soluble*) yaitu gas  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  yang ketiganya terdapat dalam bejana proses. Karena itu kadar gas harus direduksi selama perjalanan dari posisi awal sampling ke ruang sampling dimana terdapat peralatan analisis gas. Reduksi gas harus disesuaikan dengan panjang pipa sampling gas. Pelarutan air akan berkurang dengan naiknya temperatur. Untuk menjaga pengaruh ini temperatur contoh gas dipertahankan diatas titik embun asam (*acid dew point*) selama proses sampling.

Kehadiran  $\text{NH}_3$  yang tidak bereaksi (yang keluar dari bejana proses) akan menimbulkan masalah baru. Jumlah  $\text{NH}_3$  ini akan terbaca di daerah keluaran. Sisa kadar  $\text{NH}_3$  ini bisa mengganggu dan dapat diukur dengan dua cara yaitu :

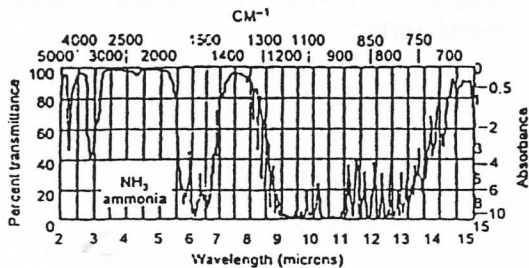


1.  $\text{NH}_3$  siap bereaksi dengan  $\text{SO}_2$  dan air. Efisiensi reaksi termal ini berkurang dengan naiknya temperatur gas. Diatas temperatur  $120^\circ \text{C}$  faktor ini diabaikan [3].

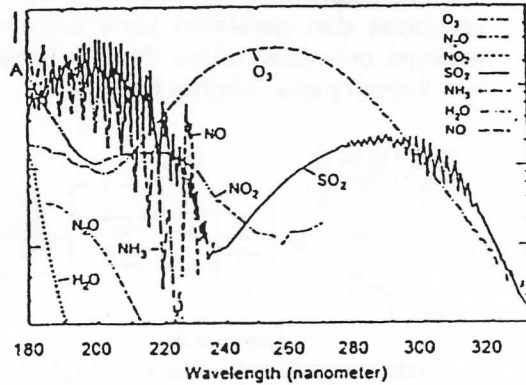
2. Spektrum serapan spesifik dari gas  $\text{NH}_3$  berada dalam daerah spektrum ultraviolet dan infrared [4] seperti terlihat pada Gambar 3, 4 dan 5.

Spektrum  $\text{NH}_3$  ini akan menutupi spektrum komponen gas lain yang akan diukur. Oleh karena itu perlu digunakan teknik pengukuran dengan memilih peralatan analisis gas buang yang sesuai. Sebagai contoh korelasi filter gas atau teknik membandingkan panjang gelombang seperti teknik koinsiden dan anti koinsiden pada spektrometer gamma.

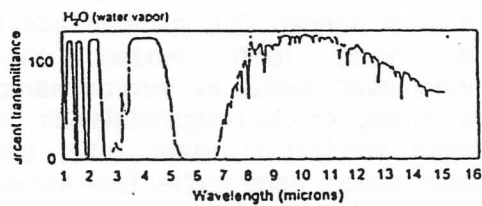
Berdasarkan informasi, saat ini terdapat peralatan penganalisis gas (*gas analyzers*) untuk mengukur gas ammoniak yang bereaksi dengan contoh gas tanpa mengubah kadar komponen lain. Sistem ini dapat dipakai untuk sistem monitoring. Partikel atau senyawa yang meninggalkan bejana proses terdiri atas partikel-partikel hasil akhir yang bersifat *hygroscopic* dan berukuran *submicrometer*. Partikel ini bisa menggumpal (*clog*) dan mengerak (*incrust*) didalam pipa aliran gas sampel dan ruang sampel penganalisis gas. Untuk memisahkannya dimasukan seperangkat filter pada ujung awal pipa sampling. Filter ini harus punya ukuran lobang yang banyak dan kondisinya harus dipertahankan diatas titik embun asam.



Gambar 3.  
Spektrum serapan spesifik ammoniak didalam daerah ultraviolet [6].



Gambar 4.  
Spektrum  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{NO}$  [6].

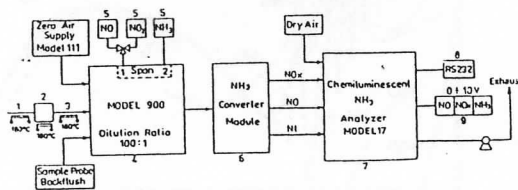


Gambar 5.  
Spektrum serapan spesifik uap air didalam daerah ultraviolet [6].

#### 4. Perangkat Pengukur Kadar $\text{NO}/\text{NO}_x$ / $\text{NH}_3$ :

Pengukur  $\text{NO}/\text{NO}_x/\text{NH}_3$  berbasis chemiluminisensi dilengkapi dengan sistem mikroprosesor untuk mendapatkan sensitifitas, spesifisitas dan reproduksibilitas yang tinggi, batas deteksi minimum 1 ppb, ketelitian pengukuran 0.5 % dari skala penuh dan linieritas 1 % dari skala penuh. Alat yang tersedia ini menggunakan pendekatan tiga kanal untuk menyediakan sinyal keluaran analog untuk  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$  dan  $\text{NH}_3$ . Instrumen mempunyai konfigurasi 2 modul terpisah yaitu modul konversi dan modul penganalisis gas untuk memungkinkan konversi gas ammoniak yang bersifat spesifik. Peralatan penganalisis ini mempunyai sembilan daerah pengukuran. tapi daerah maksimum hanya mengukur 5 ppm. Dari bejana proses kadar  $\text{NH}_3$  bisa mencapai 100 ppm, untuk pengukuran kadar  $\text{NH}_3$  tinggi, gas sampel harus diencerkan sebelum dimasukan ke modul konversi. Proses ini memerlukan dua peralatan yang masing-masing berfungsi

sebagai pengencer sampel gas berikut pemanas dan peralatan yang berfungsi sebagai penyuplai udara dengan kondisi nol, seperti pada Gambar 6 [6].



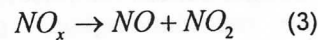
Gambar 6.

Sistim pengukuran kadar NO/NO<sub>x</sub>/NH<sub>3</sub> saat keluar dari bejana proses [6].

Sampel gas yang mengandung gas ammonia yang tidak bereaksi siap bereaksi dengan SO<sub>2</sub> pada temperatur gas yang lebih rendah. Untuk menghindari reaksi ini selama sampel gas menuju ke alat penganalisis gas, bisa terjadi kondensasi asam sulfat pada sistim seperti pada probe, filter keramik maupun pipa sampling maka temperatur dijaga tetap 180° C dimana temperatur ini lebih tinggi daripada temperatur titik embun asam. Sampel gas juga mengandung partikel hygroscopic hasil akhir dengan ukuran submicrometer. Dengan kondisi nol (zero) udara disuplai melalui sebuah pemanas, filter awal dan probe untuk membersihkan permukaannya.

Pada gambar 6 (kotak ke 4) gas sampel masuk ke bagian pemanas dan filter kemudian dikocok dengan udara kering yang bersih (zero air). Sampel yang dikocok dipompa ke alat penganalisis untuk dianalisis. Didalam sistim ini dipilih perbandingan pengenceran 100:1. Pada gambar 6 alat penganalisis gas NH<sub>3</sub> (kotak ke 7) terdiri dari dua proses konversi yaitu konversi *stainless-steel* (*stainless-steel converter*) dengan temperatur tetap 825° C yang digunakan untuk merubah ammonia NH<sub>3</sub> dan NO<sub>2</sub> menjadi NO.

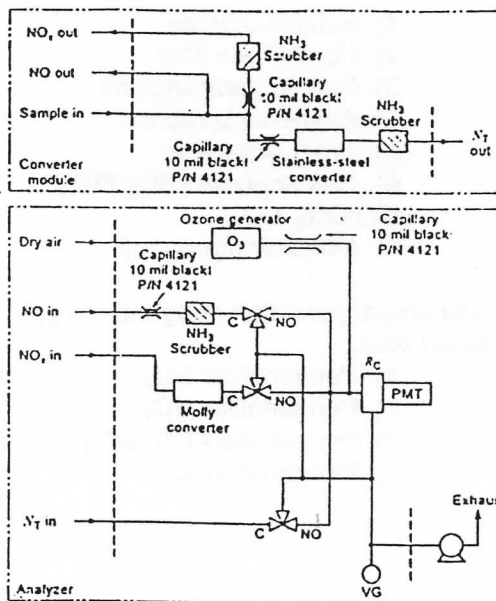
Berikutnya peralatan konversi molybdenum (*molybdenum converter*) adalah dengan temperatur tetap dijaga 325° C untuk merubah NO<sub>2</sub> menjadi NO. Gas NO secara langsung dianalisis didalam ruang chemiluminisensi. Analisis sampel gas buang dilakukan dengan prosedur sebagai berikut, sampel gas yang masuk dibagi dalam tiga bagian yang sama di bagian masukan penganalisis (*inlet*), bagian pertama untuk menganalisis kadar NO di ruang chemiluminisensi, bagian kedua melalui ruang konversi molybdenum dan yang chemiluminisensi. Diruang ini diukur kadar NO<sub>x</sub> dengan persamaan (3)



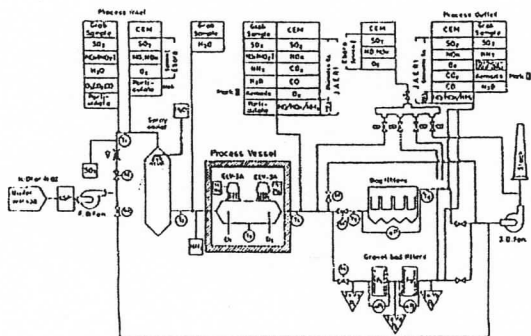
Bagian ketiga, sampel melewati ruang proses konversi stainless-steel dan ruang chemiluminisensi dan kemudian digunakan untuk menentukan

$$N_t = NH_3 + NO_x \quad (4)$$

Dengan bantuan microprocessor dihitung kadar masing-masing NO, NO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> dari ketiga sinyal pengukuran tersebut. Peralatan penganalisis gas mempunyai sinyal keluaran analog untuk NO, NO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> juga mempunyai sinyal keluaran digital untuk NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>t</sub>, NH<sub>3</sub> dan N<sub>t</sub>. Untuk kalibrasi sistim ini dipakai empat buah standar gas yaitu *zero gas* (nitrogen murni 99.999 %), NO dalam nitrogen, NO<sub>2</sub> dalam nitrogen, NH<sub>3</sub> dalam nitrogen. Gambar 7 blok diagram modul konversi dan penganalisis sebagai berikut, dan Gambar 8 adalah blok diagram sistim monitoring secara keseluruhan.



Gambar 7. Blok diagram modul konversi dan penganalisis gas [6].



Gambar 8.  
Sistem monitoring pada plant pengolahan gas buang [6]

## 5. KESIMPULAN

- Sistem monitoring pengolahan gas buang Sox dan Nox dengan akselerator electron memerlukan peralatan monitoring dan analisis pada posisi sebagai berikut : sebelum proses, saat proses dan setelah proses.
- Pengukuran komposisi gas buang harus reliabel dan akurat apabila seluruh persyaratan proses dipenuhi.

## SARAN

Sistim peralatan monitoring (*monitoring*) dan penganalisis gas buang ini sangat kompleks dan spesifik sekali sehingga perlu beberapa alternatif tehnik dalam pemakaiannya baik dalam kualitas dan kuantitas.

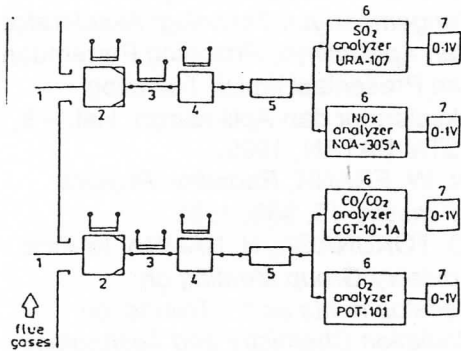
## DAFTAR PUSTAKA

1. M. IYOS R. SUBKI, *Program Pengembangan Teknologi Akselerator Dan Aplikasinya*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Hal.1- 8, P3TM-BATAN, 1999.
2. N. W. FRANK, *Radiation Physics Chemistry* 45, 989, 1995.
3. O. TOKUNAGA, H. NAMBA, In *Proc. Advisory Group Meeting on Developments and Trends on Radiation Chemistry and Technology*, organized by the IAEA, Tokyo, April 4- 7, 1989, Chapter 3.
4. R. H. PERSON, A. N. FLETCHER, and E. ST. CLAIR CANTZ, *Anal. Chem.* 28, 1218-1239, 1956.
5. J. LICKI, A. G. CHMIELEWSKI, G. ZAKRZEWSKA-TRZNADEL, and N. W. FRANK, *Radiation Physics Chemistry* 40, 331, 1992.
6. J. LICKI, A.G. CHMIELEWSKI, E.ILLER, O. TOKUNAGA, *Analytical Methods and Monitoring System For Electron Beam Flue Gas Treatment*, Environmental Applications of ionizing Radiation, John Wiley & Sons. Inc, 1998.
7. A. G. CHMIELEWSKI, E.ILLER and M. ROMANOWSKI, *Pilot Plant For Electron Beam SO2 and NOx Removal From Combustion Flue Gases*, INCT-2125/VI, Warsawa, 1991.
8. A. G. CHMIELEWSKI, Z. ZIMEK, P.P. PANTA, *Electron Beam System And Dose Distribution In The Process Vessel In A Pilot Plat For Flue Gases Treatment*, INCT- 2117/ICHtJ, Warsawa, 1991.

## LAMPIRAN

### Sistim peralatan penganalisis gas [6] :

Dari informasi yang tersedia perihal peralatan analisis gas, peralatan tersebut bisa digunakan sebagai peralatan ukur analisis dengan keterangan sebagai berikut,



Gambar 9.

Blok diagram sistim pengukuran kadar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}/\text{CO}_2$  dan sistim penganalisis gas [6].

- 1). *Sampling probe.*
- 2). *Heated gas filter.*
- 3). *Heated sampling line.*
- 4). *Ammonia scrubber.*
- 5). *Drain separator.*
- 6). *Gas analyzer ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}/\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ).*
- 7). *Indicator (recorder).*

Ada empat peralatan penganalisis gas terdiri atas,

- 1). Penganalisis  $\text{SO}_2$ .
- 2). Penganalisis  $\text{NO}_x$ .
- 3). Penganalisis  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ .
- 4). Penganalisis  $\text{O}_2$ .