

SISTEM SEDIAAN DAN INJEKSI AMONIAK UNTUK PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON

Budi Setiawan dan Muhadi AW.

PTAPB – BATAN YOGYAKARTA

ABSTRAK

SISTEM SEDIAAN DAN INJEKSI AMONIAK UNTUK PENGOLAHAN GAS BUANG PLTU BATUBARA MENGGUNAKAN MESIN BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan prarancangan sistem dengan mempertimbangkan kebutuhan gas amoniak sebesar 24,78 kg/jam untuk kebutuhan 1 bulan serta tekanan sistem reaksi 1 atm. Dari kebutuhan tersebut dirancang sebuah tangki gas berdiri vertikal dengan tekanan 236 psi, volume tanki 1574,1867 ft³, dengan diameter 8 ft dan panjang 30 ft. Bahan konstruksi dari jenis Low alloy Steel SA203 Grade B, dengan perbandingan bentuk X : Y = 2 : 1 Ellipsoidal Dished Head, tebal 1 in. Sistem injeksi searah dengan arus utama gas buang terletak, yang diatur dengan valve, sebelum masuk reaktor mesin berkas elektron..

ABSTRACT

AMMONIAC SUPPLY AND INJECTION SYSTEM FOR FLUE GAS TREATMENT IN COAL POWERED STEAM ELECTRICITY GENERATOR USING ELECTRON BEAM MACHINE. System design had been conducted with the considering ammoniac gas requirement 24.78 kg/hour for 1 month requirement and 1 atm in reaction system pressure. Based on the requirement, we designed a 236 psi vertical standing gas tank. The volume of the tank is 1574.1867 ft³, with diameter 8 ft and length 30 ft. The construction material is Grade B Low alloy Steel SA203, shaped X : Y = 2 : 1 Ellipsoidal Dished Head, 1 inch thick. Injection system co current with main emission gas current is located before entering electron beam machine reactor, its controlled by valve.

PENDAHULUAN

Pemakaian batubara dalam kegiatan industri sangat banyak ditemukan, terutama batubara yang digunakan sebagai bahan bakar. Pada suatu PLTU yang memasok kebutuhan energi listrik bagi industri-industri lain kebanyakan menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Indonesia memiliki cadangan batubara 36,5 milyar ton atau sebanyak 3,1 % dari seluruh cadangan batubara dunia. Cadangan batubara tersebut 67,9 % terdapat di Sumatra, 31,6 % terdapat di Kalimantan dan sisanya terdapat di Jawa, Sulawesi dan Papua^[1]. Dari sekian banyak cadangan batubara di Indonesia ternyata yang kualitasnya memenuhi standar baku mutu emisi (BME) 2000 kurang dari 10 %. Sebagian besar cadangan batubara Indonesia kualitasnya tidak memenuhi standar BME 2000.

Pada pembakaran batubara selain dihasilkan gas buangan (CO, NOx, dan SOx) juga banyak dihasilkan partikel-partikel terdispersi ke udara sebagai bahan pencemar. Partikel-partikel tersebut antara lain : karbon dalam bentuk abu atau fly ash (

C), debu silika, debu alumina dan oksida-oksida besi. Gas-gas tersebut sangat berbahaya terhadap lingkungan, seperti gas NO yang mencemari udara tetapi secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan gas NO₂ mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya coklat, demikian juga dengan oksida belerang. Udara yang mengandung gas NO dalam batas normal relatif aman dan tak berbahaya, tetapi bila gas NO berada dalam konsentrasi tinggi akan menyebabkan sesak nafas. Sebagian besar pencemaran udara oleh gas belerang oksida (SO_x) berasal dari pembakaran bahan-bahan fosil, terutama batubara. Ada dua macam gas belerang oksida (SO_x) yaitu : SO₂ dan SO₃. dalam hal ini perubahan akan menghasilkan gas SO₂ yang lebih banyak dari pada gas SO₃. walaupun gas SO₂ lebih dominan akan tetapi pertemuannya dengan udara yang mengandung oksigen akan menghasilkan SO₃.

Akibat dari pembakaran batubara yang berlebihan akan menghasilkan emisi gas buang (flue gas) yang mengandung SO₂ dan NO_x dengan kadar

yang cukup tinggi, hal ini merupakan sumber polusi udara yang cukup besar. Reaksi oksidasi terhadap gas buang dengan oksigen di udara akan menghasilkan asam sulfat dan asam nitrat yang menyebabkan terjadinya hujan asam yang sangat berbahaya bagi lingkungan, apa lagi dengan meningkatnya penggunaan batubara berkualitas rendah menyebabkan tingkat pencemaran udara yang makin memprihatinkan. Berbagai teknologi dan proses telah dikembangkan untuk mengurangi emisi SO₂ dan NO_x, diantaranya adalah FGD (*Flue Gas Desulphurisation*), SCR (*Selective Catalytic Reduction*) dan EB-FGT (*Electron Beam Flue Gas Treatment*) menggunakan MBE (Mesin Bekas Electron).

Penerapan teknologi EB-FGT untuk memecahkan permasalahan gas buang dapat dijelaskan dalam beberapa proses sebagai berikut :

- Pendinginan gas buang. Pendinginan dilakukan dengan mengkontakkan gas buang dengan air, dimana air disamping sebagai pendingin juga berfungsi sebagai sumber terbentuknya radikal OH^o,
- Injeksi amoniak. Injeksi atau penambahan amoniak dan adanya air berfungsi untuk mengikat asam sulfat dan asam nitrat yang terbentuk membentuk amonium sulfat dan amonium nitrat,
- Reaksi dalam reaktor. Di dalam reaktor gas buang khususnya SO₂, SO₃, NO_x akan bereaksi dengan radikal bebas yang terbentuk karena air yang dikenai berkas elektron, sehingga terbentuk garam-garam amonium sulfat dan amonium nitrat,
- Pemisahan garam-garam dari gas buang yang tersisa pada Elektro Statik Presipitator (ESP).

Dengan dilakukannya prarancangan sistem sediaan dan injeksi amoniak ini diharapkan dapat digunakan sebagai bagian dari bahan rancangan sistem pengolahan gas buang secara keseluruhan, sehingga nantinya dapat diaktualisasikan dalam sebuah dokumen Basic Engineering Design Package. Pada pra rancangan sistem sediaan gas amoniak dihitung untuk keperluan pengolahan gas buang sebanyak 20.000 Nm³/jam, yang memerlukan gas amoniak sebanyak 24,78 kg/jam^[2], dan disediakan untuk keperluan proses selama 1 bulan.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Sistem sediaan adalah sistem yang mampu menyediakan aliran gas amoniak sebanyak 24,78 kg/jam selama 1 bulan, atau $24,78 \times 24 \times 30 =$

17841,600 kg. Dari jumlah yang dibutuhkan kemudian dilakukan penyusunan pertimbangan rancangan sistem sbb :

1. Amonia bisa disimpan menurut 2 keadaan standar, yakni tekanan 1 atm (dengan suhu - 33.5°C) atau suhu lingkungan (dengan tekanan tinggi).
2. Pada prakteknya, di semua pabrik yang menggunakan amonia, pilihan pertama (standar tekanan) lebih disukai, yaitu dengan sistem pendingin (refrigerasi).
3. Untuk kapasitas kecil (seperti pada tangki ini), penggunaan sistem refrigerasi bisa jadi tidak feasible (terlalu mahal) dibandingkan harga alat.
4. Biaya untuk 'menjaga' tekanan lebih murah daripada untuk 'menjaga' suhu.
5. Kelemahan yang ada : tangki menjadi lebih tebal sehingga biaya konstruksi mahal.
6. Untuk tekanan 16 atm dipilih tangki silinder dengan head bentuk elipsoidal.
7. Dipilih bentuk vertikal karena hemat tempat.

Jenis^[3] : Vertical Tank, Elliptical Dished Heads

Bahan : Iron steel - Low alloy Steel SA203 Grade B

Dari pertimbangan di atas disusun langkah kerja sbb:

1. Ditentukan tekanan sistem dalam tangki
2. Ditentukan volume tangki
3. Dimensi Tangki
4. Tebal pelat
5. Head design
6. Dihitung dudukan atau *Lug - support of horizontal vessel - uninsulated vessel*
7. Ditentukan *Nozzle and Manhole*
8. Ditentukan peralatan pendukung

Untuk sistem injeksi, didisain berdasar kebutuhan dan kondisi sistem sebelum memasuki reaktor.

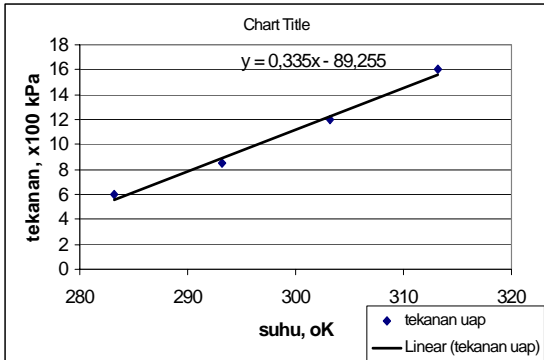
Rincian dan detail dari system dimuat dalam Lampiran yang menunjukkan ukuran, perkiraan biaya dan kebutuhan sebenarnya system.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data kebutuhan diketahui bahwa amoniak 99.99 % normal boiling point = -33,5 °C. Sedang suhu sistem 25 °C, (faktor keamanan T = 35 °C), kemudian dicari data tekanan cair jenuh seperti pada Tabel 1. dan Gambar 1.^[4]

Tabel 1. Data tekanan uap jenuh NH₃.

Suhu, °K	Suhu, °C	Tekanan, ×100 kPa
283,15	10	6
293,15	20	8,5
303,15	30	12
313,15	40	16



Gambar 1. Kurva linier tekanan dan suhu.

Dari persamaan garis dapat dihitung, pada suhu 35 °C atau 308,15 °K, tekanan adalah 13,975 × 100 kPa, dengan faktor keamanan 1,1, maka tekanan adalah 15,373 × 100 kPa, diambil 16 x 100 kPa atau 16 atm atau 235,2 psi, diambil tekanan 236 psi.

Perhitungan Volume :

- Kebutuhan amoniak = 24,78 kg/jam
- Kapastias = 30 hari
- Jumlah harus ditampung = 24,78 × 24 × 30 = 17.841,600 kg
- Densitas = 0,618 kg/L
- Volume NH₃ cair = 17.841,600 × 0,618 = 29968,903 L = 28,8699 m³
- Jumlah tangki 1 buah
- Volume tangki = 29968,903 L = 7627,451 galon = 181,610 bbl = 1020,138 ft³

Dimensi Tangki :

Untuk tangki dengan elliptical dished head berlaku^[3]:

$$V = \pi \frac{D^2}{4} \times L + \pi \frac{D^3}{12}$$

Asumsi : Tebal Plate kurang dari 2 in, maka L/D = 6

$$V = \pi \frac{D^2}{4} \times 6D + \pi \frac{D^3}{12}$$

Volume tangki = (V cairan + ruang kosong) × over design =

$$(V + V \times 0,2) \times 1,1 = 1346,582 \text{ ft}^3 = 239,724 \text{ bbl}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12V}{19\pi}}$$

$$D = 6,4701 \text{ ft} \quad L = 38,8205 \text{ ft}$$

Diambil ukuran standar dari Appendix E, Brownel & Young^[3]:

$$D = 8 \text{ ft} = 2,4384 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ ft} = 9,1440 \text{ m}$$

Jadi $V = 1574,1867 \text{ ft}^3$

Tebal Plate

Longitudinal stress

$$t = \left(P \times \frac{d}{4} \times E \times f \right) + c$$

$$P = \text{internal pressure} = r \times (L-1)/144 = 244,5428 \text{ psi}$$

$$d = \text{inside diameter} = 96 \text{ in}$$

$$f = \text{allowable working pressure} = 17500 \text{ psig}$$

(untuk Plate Steel SA240 Grade B)

$$E = \text{efek sambungan} = 85\%$$

$$c = \text{corrosion allowance} = 0,125 \text{ in}$$

Maka $t = 0,5196 \text{ in}$

Tebal standar = 9/16 in

Circumferential stress

$$t = P \times \frac{d}{2E f} + c$$

$$t = 0,9141 \text{ in}$$

Tebal standar = 15/16 in

Menurut PVH^[3], tebal shell :

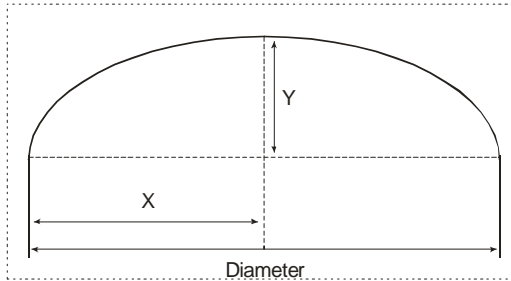
$$t = P \times \frac{R}{E \cdot f - 0,6P} + c$$

$$t = 0,92187 \text{ in}$$

Tebal standar = 15/16 in

Maka diambil tebal standar = 15/16 in atau 1 in

Heads Design



Gambar 2. Ellipsoidal dished head.

Head Design mengikuti pola Ellipsoidal Dished Head seperti pada Gambar 2.

Jenis X : Y = 2 : 1 Ellipsoidal Dished Head

Material Low alloy Steel SA203 Grade B

F = 17500 psi

Menurut PVH^[5], tebal shell

$$t = P \frac{D}{(2E f - 0,2 P)} + c = 0,91541$$

Tebal standar = 15/16 in

Maka diambil tebal standar = 15/16 in atau 1 in

Lug-support of horizontal vessel - uninsulated vessel

Menghitung berat alat (data PVH)^[5] :

shell 1013 lb/ft, panjang 30 ft	berat = 30390 lb
head ellips 3394 lb	berat = 6788 lb (top & bottom)
berat vessel	= 37178 lb = 16864 kg
massa bahan	= 17841,6000 kg
massa total	= 34705,4302 kg = 34,70543017 ton

angka aman (kali 1,1)	= 38,17597319 ton
diambil	= 39 ton
	= 85979,4 lb
Diambil jumlah lug	= 4 buah
Q tiap lug	= 21494,85 lb
Angka aman (kali 1,1)	= 23644,335 lb
Dipilih untuk kriteria	= 36000 lb

Nozzle and Manhole

Standar PVH^[5]:

untuk ID > 36 in, minimum 15 in manhole atau 2 - 6 in pipe size nozzle

diambil 24 in manhole

6 in pipe size nozzle (3 buah; 1 untuk *intake* (atas), 1 untuk *outtake* (atas), 1 untuk *blowdown* (dasar))

Instrumentasi Kendali

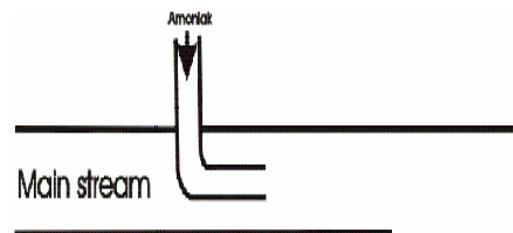
Sistem sediaan gas amoniak (tangki) harus dilengkapi dengan :

- katup pengaman (*vent*)
- level indikator
- pressure indikator
- pressure gas valve
- flow meter

Sistem Injeksi

Gas amoniak disimpan dalam bentuk cair dengan tekanan tinggi agar terjadi pengurangan volume. Pada bagian atas tangki terjadi uap jenuh NH₃ yang akan mengalir ke sistem aliran gas buang pada tekanan 1 atm secara kontinyu.

Kecepatan aliran diatur dengan valve yang secara otomatis akan mengatur kecepatan alir gas NH₃ sesuai kebutuhan (d disesuaikan aliran gas buang)



Gambar 3. Posisi sistem injeksi.

Posisi sistem injeksi diletakkan sebelum masuk reaktor, dengan harapan gas akan tercampur sempurna ketika memasuki reaktor. Pada Gambar 3 sistem injeksi gas amoniak dibuat searah dengan arus gas buang, hal ini akan sangat mendukung pemerataan reaksi.

KESIMPULAN

1. Sistem sediaan berupa tanki vertikal bertekanan 236 psi dengan volume tanki 1574,1867 ft³ (D = 8 ft, L = 30 ft). Volume NH₃ cair sebanyak 28,8699 m³.
2. Bahan dari Jenis *Low alloy Steel* SA203 Grade B, bentuk X : Y = 2 : 1 Ellipsoidal Dished Head, tebal 1 in.
3. Sistem injeksi dibuat searah dengan arus utama gas buang, dengan keluaran sebelum reaktor mesin berkas elektron. Kecepatan gas diatur dengan menggunakan *valve*.

DAFTAR ACUAN

- [1] SUGIYONO, AGUS, *Teknologi Dan Kulivasi Grafikasi Batubara Pertambangan*, Pertamina –KNI-WEC, Lokakarya Energi, 1996.
- [2] TIM PENYUSUN DOKUMEN, *Basic Engineering Design Package (BEDP) Sistem Pengolahan Gas Buang PLTU Batubara Menggunakan MBE*, Revisi : 0, PTAPB – Batan, Yogyakarta.
- [3] BROWNELL, L. E. AND YOUNG, E. H., *Process Equipment Design : Vessel Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1959.
- [4] COULSON, J. M. AND RICHARDSON, J. F., *Chemical Engineering : An Introduction to Chemical Engineering Design*, Vol. 6, Pergamon Press, New York, 1983.
- [5] MEGYESY, E. F., *Pressure Vessel Handbook*, 11th ed., Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc., Tulsa, 1972.

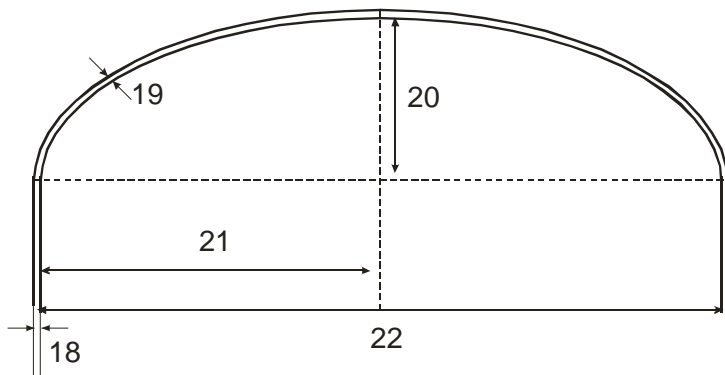
LAMPIRAN

1. Estimasi Harga

Informasi harga dari www.matche.com untuk tahun 2007, harga Pressure Vessel dengan massa 37178 lb adalah US\$ 271700

2. Gambar Detil Komponen

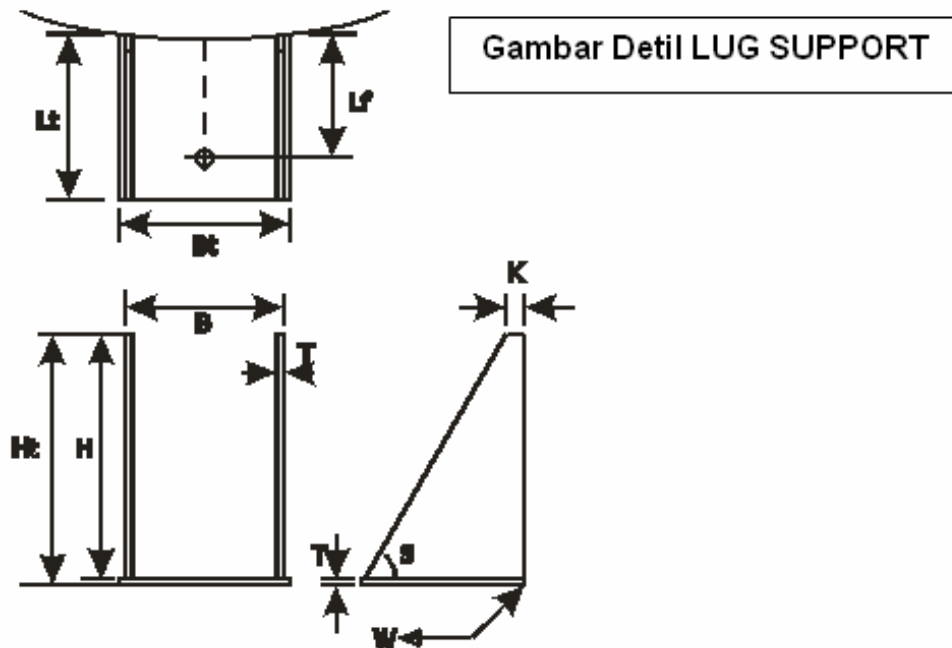
Gambar Head Design



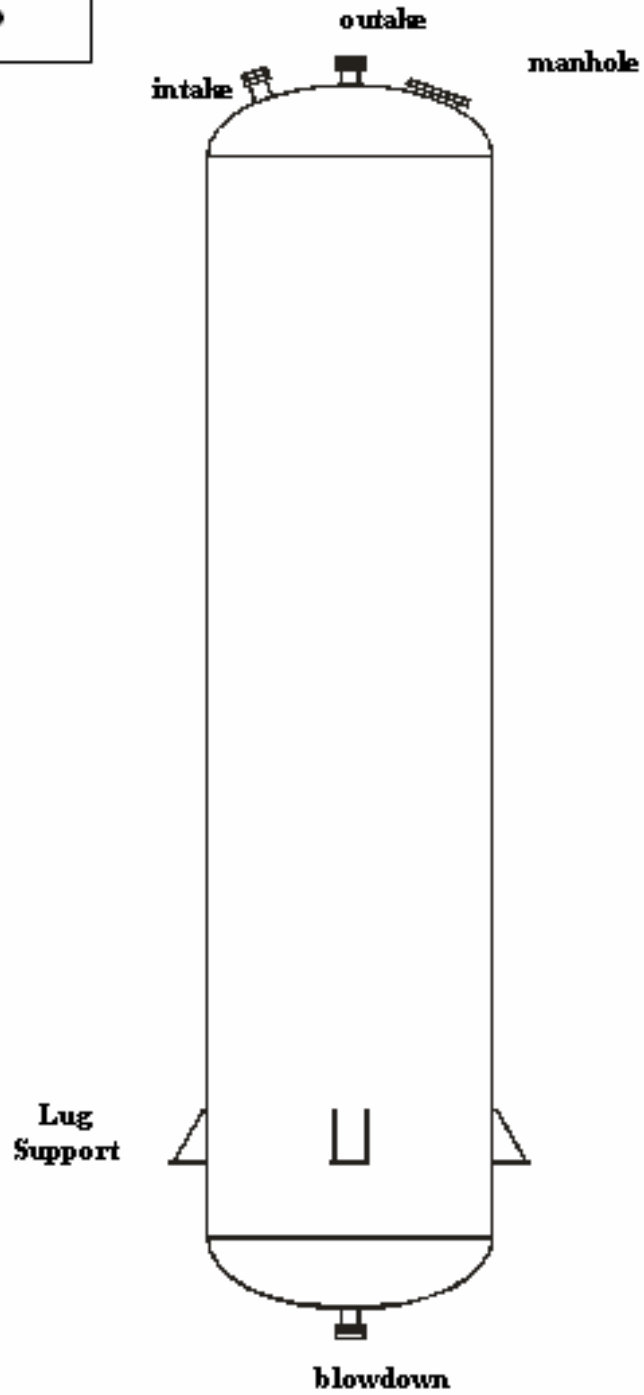
More detail on head & shell		
18	1	in
19	1	in
20	2	ft
21	4	ft
22	8	ft

Gambar LUG SUPPORT

Dimensi lug (unisolated vessel) :				
Lt =	12	in	1,000	ft
B =	11,5	in	0,958	ft
Bt =	12,5	in	1,042	ft
H =	22	in	1,833	ft
Ht =	22,5	in	1,875	ft
K =	1,25	in	0,104	ft
Lf =	9	in	0,750	ft
T =	0,5	in	0,042	ft
W =	0,1875	in	0,016	ft
S =	60	degrees		
berat =	80	lb		
Material bahan =	SA 285 C			



**Gambar Tangki
Lengkap**



TANYA JAWAB**Rill Isaris**

- *Removal gas SO₂ dan NO_x dengan umpan gas NH₃ dapat menghasilkan bahan kimia (NH₄)₂SO₄ dan NH₄NO₃ berturut-turut. Apakah efisiensi removal tersebut selain tergantung panjang pipa/vessel untuk proses, dosis radiasi dan temperature, juga tergantung pada konsentrasi gas NH₃ yang diumpankan? Apakah angka 24,78 kg/j merupakan besaran yang mereferensi kepada kapasitas flow gas 20.000 Nm³/j?*

- *Pemilihan bahan alloy steel SA 2003 apakah sudah dari bagian analisis bahan?*

Muhadi AW

- Secara umum tidak, tetapi karena perbandingan kecepatan alir akan menentukan rasio mol kebutuhan reaksi maka konsentrasi perlu ditentukan. Ya, angka 24,78 kg/j merupakan kebutuhan untuk flow gas 20.000 Nm³/j.
- Ya, dilihat dari kekuatannya mampu menahan tekanan yang di tentukan.