

LAMPIRAN A
REAKTOR

REAKTOR

Fungsi : Tempat terjadinya reaksi asam nitrat dengan amonia menjadi Ammonium Nitrat

Alat : Reaktor gelembung berupa kolom kosong dengan distributor gas berupa "*Perforated Plate*"

Asumsi :

- a. Operasi berjalan kontinyu.
- b. Reaktor gelembung cocok untuk reaksi gas – cair, dengan jumlah gas yang relative sedikit yang direaksikan dengan cairan yang jumlahnya besar.
- c. Di dalam reaktor gelembung, terjadi reaksi mixed flow yang ditambah dengan pengaduk

Kondisi operasi,:

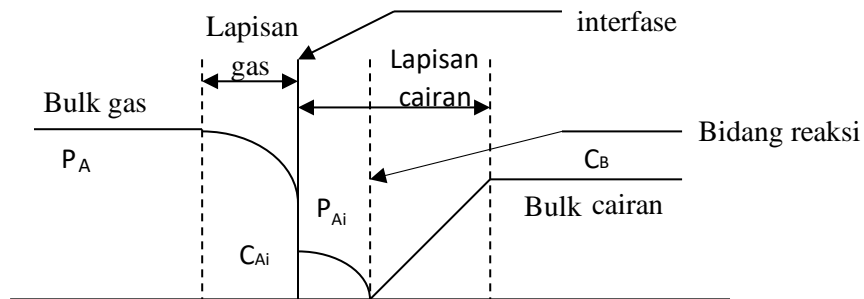
- a. Tekanan dalam reactor : 4 atmosfer
- b. Suhu dalam reaktor : 150 °C
- c. Konversi : 80 %

Pada tahun 1923 G.N Lewis, mengajukan empat kriteria untuk reaksi asam basa:

1. Reaksi asam dan basa adalah reaksi yang cepat

2. Suatu asam kuat atau basa kuat dapat mengganti asam yang lebih lemah atau basa yang lebih lemah dan suatu senyawa
3. Indicator dapat digunakan untuk menentukan titik ekuivalensi reaksi asam-basa
4. Asam dan basa dapat berfungsi sebagai katalis yang penting

Seperti halnya reaksi netralisasi yang lain, reaksi antara HNO_3 dan NH_3 berlangsung sangat cepat. Pembentukan fase lain dalam suatu reaksi kimia biasa mempengaruhi kecepatan reaksi. Dalam kasus dimana terjadi padatan, fenomena pembentukan inti kristal, agregasi, dan aglomerasi menentukan ukuran dan struktur partikel padatan.



Gambar 1. Mekanisme reaksi reaktan gas - cair di film cairan

Mekanisme Reaksi :

Gas A berdifusi masuk ke bidang batas (interface gas-cair) melalui lapisan gas dan terus berdifusi masuk ke lapisan cairan. Karena kecepatan reaksi kimia berjalan cukup cepat maka reaksi terjadi di liquid-film, sehingga tidak ada A yang berdifusi masuk ke dalam larutan dan bereaksi dengan B di fase larutan (tidak ada A yang masuk ke main body of liquid untuk bereaksi).

(Levenspiel, 1972)

Dimana :

P_A = Konsentrasi bahan didalam fase gas yang dinyatakan dengan tekanan

P_{Ai} = Konsentrasi bahan di dalam interface yang dinyatakan dengan tekanan

C_{Ai} = Konsentrasi gas pada bidang batas gas-cair yang setimbang dengan konsentrasi gas.

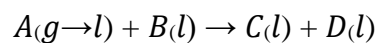
C_B = Konsentrasi bahan Asam Fostat didalam larutan

Kesetimbangan pada interface dinyatakan dengan henry law's :

$$P_{Ai} = H_A \cdot C_{Ai}$$

Dimana :

H_A = Koefisien Henry. Pa m³/mol



1. Zat A tidak dapat langsung bereaksi dengan zat B, zat A mengubah dahulu ke dalam fase cairan agar dapat bereaksi dengan zat B
2. Reaksi terjadi pada kondisi A cair dan B cair sehingga terbentuk

Proses pembentukan ammonium sulfat merupakan reaksi netralisasi yang terjadi antara gas ammonia dan Asam nitrat cair. Reaksi yang terjadi adalah:



Langkah – langkah perancangan :

1. Menentukan konstanta kecepatan reaksi

Kecepatan reaksi :

$$k = 0,092040 \text{ m}^3/\text{mol.s}$$

2. Menentukan kecepatan laju volumetrik

umpan masuk ke reaktor

Input Reaktor

Komponen	Arus Masuk			
	Arus 1		Arus 2	
	F	N	F	N
NH3	8058	474	0	0
HNO3	0	0	29820	304
H2O	40,49	2,25	19880,252	1104,458
NH4NO3	0	0	0	0
TOTAL	57800			

Output reaktor

Komponen	Arus Keluar			
	Arus 3		Arus 4	
	F	N	F	N
NH3	1612	94,8	0	0
HNO3	0	0	5964	60,9
H2O	8,099	0,450	19913	1106,3
NH4NO3	0	0	30303	229,6
TOTAL	57800			

3. Menentukan Konstanta Henry untuk Reaktan Gas

Dengan pendekatan Harga H_a untuk gas NH3 dalam air pada $T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$

Nilai H untuk suhu 150°C = 651,5955 m³.Pa/mol

4. Menentukan diffusivitas gas

$$D_{Al} = \frac{117,3 \cdot 10^{-18} (\varphi \cdot BM)^{0,5} \cdot T}{\mu_c \cdot v_c^{0,6}}$$

(Treyball, 1984)

Dimana :

Faktor Asosiasi NH3 (θ_L)	= 1
Berat Molekul campuran (B_m)	= 2052,1035 kg/kmol
Suhu operasi	= 423 K
Volume molekular NH3	= 0,0256 m ³ /kmol
Diffusivitas gas ke cairan (DAL)	= 3,9327E-08 m ² /det

6. Menentukan koefisien transfer massa fase cair (KL)

$$k_L = 0,42^3 \sqrt{\frac{\mu_1 g}{\rho_l}} \sqrt{\frac{D_{aL} \rho_l}{\mu_1}} \quad (\text{Froment, hal 725})$$

Dimana:

DAL (Difusivitas gas melalui cairan)	= 3,9327E-08 m ² /det
ρ_l (Densitas Cairan)	= 0,0005 kg/m ³
μ_L (Viskositas Solvent)	= 0,5154 kg/m.s
g (Gravitasi bumi)	= 980 cm/s ²
KL (Koefisien Transfer Massa)	= 0,002008 m/s

7. Menentukan bilangan hatta

$$Ha = \frac{\sqrt{D_{al} \cdot k \cdot C_a}}{kL} \quad (\text{Levenspiel, 1976})$$

Dimana:

DAL (Difusifitas gas melalui cairan)	= 3,9327E-0m ² /det
k	= 0,092040 m ³ /kmol.s
KL (Koefisien Transfer Massa)	= 0,002008 m/s
Ha	= 0,04866

8. Penentuan Volume Reaktor

$$\frac{F}{P_t} (P_{B \text{ in}} - P_{B \text{ out}}) = L(C_{A \text{ in}} - C_{A \text{ out}}) + L C_{B \text{ out}} = 0$$

(Froment, 1979)

Dimana :

F	= 35420,9225 m ³ /jam
L	= 35,9500 m ³ /jam
PB in	= 4 atm
PB out	= 4 Atm
Ca in	= 13,1856kmol/m ³
Ca out	= 6,2371 kmol/m ³

$$\frac{F}{P_t} P_{B \text{ in}} - \frac{F}{P_t} P_{B \text{ out}} - N_B|_{y=0} A_v V(1 - \varepsilon) = 0$$

(Froment,1979)

Dimana :

$$(-r_a) = 0,016874$$

$$C_{bi} = 1,4495 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_B = 0,11248 \text{ kmol/m}^3$$

$$A_v = 2441,1314 \text{ m}^{-1}$$

$$H_g = 0,6611$$

$$N_B|_{y=0} = \frac{K_L \gamma}{\sinh(\gamma)} (C_{Bi} \cosh(\gamma) - C_B) \quad (\text{Froment,1979})$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{k \cdot Da}}{k_L}$$

Dimana :

$$y = 1,9585 \text{ E-}05$$

$$N_B|_{y=0} = 2,6849 \text{ E-}03$$

$$N_B|_{y=L} A_v V(1 - \varepsilon) = (1 - A_v y_L) V(1 - \varepsilon) (-r_A) + L C_{B \text{ out}}$$

$$N_B|_{y=L} = \frac{K_L \gamma}{\sinh(\gamma)} (C_{Bi} - C_{Bi} \cosh(\gamma))$$

$$y_L = \frac{Da}{k_L}$$

(Froment,1979)

Dimana :

$$yL = 1,9585E-05$$

$$NBly = L = -5,5824E-13$$

$$V = 58,62 \text{ m}^3$$

Didapatkan volumenya sebesar 58,62 m³

Dirancang untuk tingkat keamanan desain reactor = 20% (sebagai over desain) menjadi 120 % **V desain = 70,34 m³**

9. Penentuan Diameter dan Tinggi Reaktor

Mencari diameter dan tinggi reactor berdasarkan volume over desain reactor berupa vessel yang terdiri dari silinder dengan tutup dan dasar berbentuk torispherical bentuk reactor dipilih silinder tegak dengan

$$D : H = 1:2$$

Maka Diameter Reaktor

$$V \text{ Silinder} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H$$

$$D_r = 6,11 \text{ m}$$

$$H_s = 12,22 \text{ m}$$

Luas penampang reaktor :

$$\begin{aligned} A_r &= \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 29,3105 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

10. Menghitung Kecepatan Superfisial Gas (U_{sg})

$$U_{sg} = \frac{F_v}{3600 \cdot A}$$

$$= 0,3357 \text{ m/s}$$

11. Menghitung Diameter Pengaduk

Ds antara 1/3 - 2/5 kali diameter reaktor, dipilih Ds 1/3D

$$D_s = 2,0368 \text{ m}$$

12. Menghitung Tinggi Pengaduk Terhadap Cairan (Hs)

$$H_s = \frac{1}{2} H_L$$
$$= 6,1105 \text{ m}$$

13. Menghitung Kecepatan Pengaduk Karakteristik

$$N_0^* = 2 \sqrt[4]{\frac{\sigma_L g}{\rho_L} \frac{d_r}{d_s^2} \left(\frac{H_L - H_s}{H_L} \right)^{1/2}}$$

(Froment,1979)

$$= 0,7524 \text{ putaran/s}$$

14. Menentukan Kecepatan Pengadukan Minimum

$$N_{\min} = \left[\frac{F_v \cdot g \cdot \left(\frac{D}{D_s} \right)^{3,3}}{16 D_s^4} \right]^{1/3}$$

(Froment,1979)

$$= 2,3600 \text{ putaran/s}$$

15. Menentukan Diameter Gelembung

$$d_B = \sqrt{\frac{E_{OB} \cdot \sigma_L}{g(\rho_L - \rho_g)}}$$

(Froment,1979)

$$= 0,00163 \text{ m}$$

$$= 1,6250 \text{ mm}$$

16. Menentukan Hold up Gas (Hg)

$$\varepsilon = 0.31 \left(\frac{u_{sG}}{\sqrt{\frac{4\sigma_L g}{\rho_L}}} \right)^{2/3} + 0.45 \frac{(N - N_o^*)d_s^2}{d_r \sqrt{g d_r}}$$

(Froment,1979)

Dimana :

$$N = 2,3600 \text{ putaran/s}$$

$$N_o^* = 0,75 \text{ putaran/s}$$

$$D_s = 2,0368 \text{ m}$$

$$D_r = 6,11 \text{ m}$$

$$H_l = 12,2210 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma_l = 0,02656 \text{ kg/s}^2$$

$$\rho_l = 1053,6511 \text{ kg/m}^3$$

$$U_{sg} = 0,3357 \text{ m/s}$$

$$H_g = 0,6611$$

17. Mekanikal desain

Tebal dinding reaktor

Untuk bentuk cylinder (cylindrical) maka persamaan yang dipakai:

$$t_s = \frac{P.R}{S.E.-0.6P} + C \quad (\text{rase \& barrow, tabel 12.2, P202})$$

Dimana :

$$\text{Tebal dinding minimum (ts)} = 0,1875$$

$$\text{Tekanan desain} = 74,8891 \text{ psi}$$

$$\text{Jari-jari dalam reaktor (R)} = 120,2855 \text{ m}$$

$$\text{Efisiensi sambungan (E)} = 0,8$$

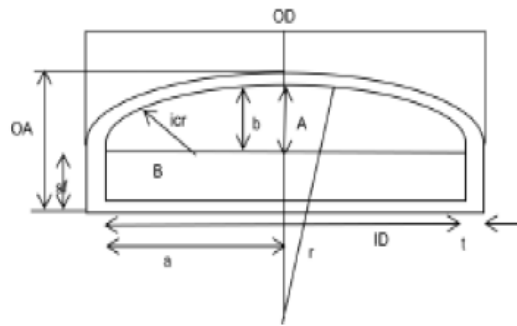
$$\text{Faktor korosif (umumnya dipkai 1/8") = 0,125 inch}$$

Bahan yang dipakai adalah stainless stell SA-316 karena bahan korosif digunakan untuk proses bertekanan tinggi dan dapat digunakan untuk diameter tangka yang besar yang mempunyai nilai: Max allowable stress (s) = 18750 psi

Dipilih tebal dinding 3/16 inch

Tebal Head Reaktor

Jenis = triospherical dishead head/tebal dinding dihitung dengan persamaan:



Keterangan:

ID = diameter dalam head

OD = diameter luar head

t = tebal shell

r = jari-jari dish

b = tinggi head

Perhitungan Tebal Head menggunakan Persaman

$$t_H = \frac{0.885.P.r}{S.E - 0.1P} + C$$

Dimana :

Tebal head reaktor (Th) = inch

Tekanan desain (P) = 4 atm

Radius of disk = OD (r) = 1,7537 m

Maximum allowed stress (s) = 18750 psig

Efisiensi sambungan (E) = 0,8

Factor korosif (C) = 0,125 inch

Dipilih Th (tebal head reaktor) 3/16 inch

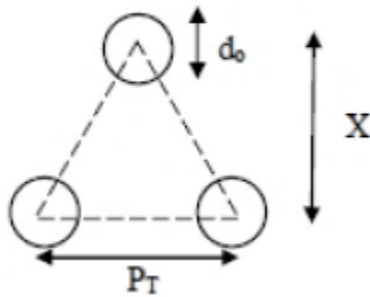
Menghitung Tinggi Total Reaktor

Dimana:

ID	= 481,1421 in
OD	= 481,1421 in
Sf	= 3
a	= 240,5710 in
Ab	= 231,1960 in
Bc	= 235,6250in
Ac	= 45,47 in
B	= 104,5307 in
OA	= 199,5299 in
Tinggi reaktor total	= 202,7174 in
	= 22,5190 m

18. Menghitung Spesifikasi Sparger

Sparger yang digunakan berupa perforated plate dengan susunan triangular pitch



a) Diameter Orifice

Diameter Orifice pada umumnya 0,004 – 0,95 (Willey,1974)

Di pilih Diameter Orifice = 0,25 cm

b) Kecepatan Gelembung Keluar Orifice (V_t)

$$V_t = \sqrt{\frac{2\sigma}{D_b \cdot \rho_L}} + \sqrt{\frac{g \cdot D_b}{2}} \quad (\text{Treyball, 1980})$$

Dimana:

D_b	= 0,0016 m
ρ_L	= 1053,6511 kg/m ³
σ	= 0,0226 kg/m.s
G	= 98 m/s ²
V_t	= 0,4584 m/s

c) Kecepatan Volumetrik Gas

$$W_o = \frac{Re \cdot \pi \cdot d_o \cdot \mu_g}{4}$$

Dimana

Re	= 50000 (Treybal, 1985)
DO	= 0,0025 m
μ_g	= 1,8 x 10 ⁻⁵ kg/m.s (Perry, 1999)
W_o	= 1,8E-05 Kg/s
W_g	= 13,8057 kg/s

Jumlah Lubang sparger = 7816 Lubang

d) Pitch

$Pt \text{ min}$	= 0,5 (Ludwig, 1964)
------------------	----------------------

$$\text{Luas Plate tiap lubang} = 0,00002165 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas Sparger} = 0,1692 \text{ m}^2$$

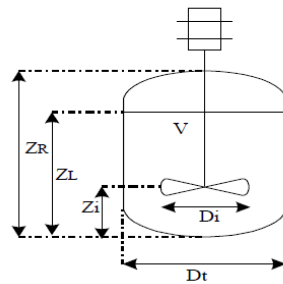
$$\text{Diameter Sparger} = 0,4643 \text{ m}$$

e) Waktu Tinggal Cairan

$$T \text{ cairan} = 1,9567 \text{ jam}$$

19. Menghitung Spesifikasi Pengaduk

Reaktor ini menggunakan pengaduk *Propeller* dengan *marine type impeller* yang biasanya menggunakan 3 *blade propeller* dengan alasan pengaduk ini sangat cocok untuk viskositas yang rendah



Dimana:

$$\text{Volume Reaktor} = 58,62 \text{ m}^3$$

$$\text{Viskositas} = 0,5154 \text{ cp}$$

$$D_t = 3,811 \text{ m}$$

$$D_t / D_i = 3$$

$$Z_L / D_i = 2,7-3,9$$

$$Z_i / D_i = 0,75$$

Untuk Dimensi pengaduk

$$Dt / Di = 3$$

$$Zl / Di = 2,7$$

$$Zi / Di = 0,75$$

Maka di peroleh

$$Di = 4,0737\text{m}$$

$$Zi = 3,055 \text{ m}$$

$$Zl = 10,3132 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = 1$$

Power Pengaduk

$$P = \frac{N_p \rho N^3 Di^5}{g_c}$$
$$= 15 \text{ Hp}$$

20. Menghitung dimensi pendingin reaktor (Coil)

a. Menghitung ΔT LMTD

$$\text{Tekanan Operasi} = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psia}$$

$$\text{Suhu Bahan Masuk} = 30^\circ\text{C} = 85,4 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu Bahan Keluar} = 150^\circ\text{C} = 302 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu pendingin Masuk} = 32^\circ\text{C} = 89,6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu Pendingin Keluar} = 50^\circ\text{C} = 122 \text{ }^\circ\text{F}$$

Fluida panas	Fluida dingin	ΔT
85,4	122	36,6
302	89,6	212,2

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{36,6 - 212,2}{\ln \frac{36,6}{212,6}}$$

$$= 99,976 \text{ } ^\circ\text{F}$$

b. Menghitung luas transfer panas

Untuk fluida pendingin UD : 40-100 Btu/ft².oF.jam (Tabel 8. Kern, 1965 : 840) diambil harga UD = 100 Btu/ft².oF.jam

$$Q = \text{kJ/jam}$$

$$= 5461500,966 \text{ Btu/jam}$$

Menghitung luas tranfer panas (A) :

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T}$$

$$= \frac{34624179,47}{75 \times 99,976}$$

$$= 2624,441706 \text{ ft}^2$$

c. Menghitung luas selubung reaktor :

$$A = \pi D L$$

$$= 4617,668201 \text{ ft}^2$$

Luas transfer panas reaktor lebih besar dibandingkan dengan selubung reaktor sehingga digunakan coil pendingin. Coil pendingin berfungsi sebagai pendingin untuk menjaga kestabilan suhu dalam reaktor karena reaksi bersifat eksotermis.

d. Menghitung Lay Out Koil

Dipilih Ukuran = 2,5 in

Dipilih ukuran pipa ukuran standart : (Tabel 11, hal 844, Kern 1950)

D nominal = 2,5 in

OD = 2,88 in = 0,2399 ft

ID = 2,469 in = 0,2057 ft

Schedule = 40

At = 4,79 in = 0,03326 ft²

Ao = 0,753 ft²/ft

Diameter Helix = 5,76 m

Jarak antar Lilitan = 0,480 ft

e. Menghitung koefisien perpindahan panas dalam coil :

$$h_c = \frac{0,87.k}{Dt} \left[\frac{L^2 N \rho}{\mu} \right]^{2/3} \left[\frac{C_p \mu}{k} \right]^{1/3} \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14}$$

$$\left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^{0,14} = 1$$

Dimana:

Dt = 40,0952ft

Cp = 1,7658 btu/lb.F

L	= 10,02 ft
N	= 8496,0347rph
p	= 66,77 lb/ft ³
μ	= 1,25 lb/ft.jam
Hc	= 213,8348btu/jam/ft ² ..F

f. Menghitung Uc dan Ud

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot hc}{h_{io} + hc}$$

$$U_d = \frac{\frac{1}{R_d} \cdot U_c}{\frac{1}{R_d} + U_c}$$

Dimana:

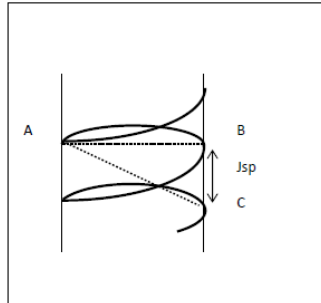
Hi	= 370,6664 btu/jam.ft ² .F
Hio	= 317,7692 btu/jam.ft ² .F
Uc	= 127,82 btu/jam.ft ² .F
Ud	= 67,4607 btu/jam.ft ² .F

g. Menghitung Panjang Koil

$$L_c = \frac{A}{a''} :$$

$$= 2078,0362$$

h. Menghitung Jumlah lengkungan koil dan tinggi tumpukan koil



$$AB = DC$$

$$BC = J_{sp}$$

$$AC = \sqrt{(AB)^2 + (BC)^2}$$
$$= \sqrt{(DC)^2 + (J_{sp})^2}$$

Dimana:

$$\text{Keliling Busur AB} = 50,3595 \text{ ft}$$

$$\text{Keliling Busur AC} = 50,3621 \text{ ft}$$

$$N = 34$$

$$\text{Tinggi Tumpukan Koil} = 3,62 \text{ m}$$

$$\text{Volume coil} = 8,7292 \text{ ft}^3$$

$$\text{Tinggi Cairan} = 10,99 \text{ m}$$

Tinggi tumpukan koil < tinggi cairan dalam shell, maka koil tercelup dalam cairan

19. Menghitung Pressure Drop

$$\Delta P_T = \frac{f \times v^2 \times L}{5,22 \times 10^{10} \times ID \times s \times \theta t}$$

$$= 7,5909 \text{ psi}$$

**20. Menghitung Pipa Pemasukan dan
Pengeluaran**

$$d, \text{ optimum} = 293 G^{0.53} \rho^{-0.37}$$

a) Perancangan pipa umpan masuk cair ke reaktor

$$G = 37878,7879 \text{ kg/jam}$$

$$= 10,53 \text{ kg/s}$$

$$P = 1053,6511 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dioptimum} = 77,76 \text{ mm}$$

$$= 3,0574 \text{ in}$$

Dari Tabel 11, Kern

$$\text{NPS} = 3 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 3,068 \text{ in}$$

$$A = 7,38 \text{ in}^2$$

b) Perancangan pipa umpan masuk gas ke reaktor

$$G = 27979,1566 \text{ kg/jam}$$

$$= 7,77 \text{ kg/s}$$

$$P = 0,789 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dioptimum} = 947,8661 \text{ mm}$$

$$= 37,3176 \text{ in}$$

Dari Tabel 11, Kern

$$\text{NPS} = 24 \text{ in}$$

$$\textit{Schedule} = 24$$

$$\text{OD} = 24 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 2325,25 \text{ in}$$

$$\text{A} = 6,283 \text{ in}^2$$