Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Rancang Alat Reaktor pada Proses Pembuatan Amonium Nitrat Kapasitas Produksi 150.000 Ton/Tahun

Abdur Rahman Hadrami[1], SP. Abrina Anggraini[2], Zuhdi Ma'sum[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Kimia,Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
abdurrahman@gmail.com

Diterima (Juli, 2021), direvisi (Agustus, 2021), diterbitkan (September, 2021)

Abstrak

Amonium Nitrat merupakan bahan baku pembuatan pupuk kimia yang sangat dibutuhkan dalam sektor pertanian. Sayangnya. produksi amonium nitrat dalam negeri masih belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga impor menjadi solusi pemenuhan kebutuhan tersebut. Sampai saat ini ada empat metode umum yang umumnya digunakan untuk memproduksi amonium nitrat, di antaranya ada metode *vacuum crystallization*. Pada proses pembuatan amonium nitrat dengan kapasitas produksi 150.000 ton/tahun, Reaktor berperan sebagai tempat mereaksikan bahan baku berupa amonia dan dengan asam nitrat. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis dengan tekanan operasi 4,4 atm dan suhu 60 ^{o}C. Reaktor yang digunakan bertipe *mixed flow reactor* berupa silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standart dished.*

Abstract

Ammonium Nitrate is a raw material for the manufacture of chemical fertilizers that are needed in the agricultural sector. Sadly. Domestic production of ammonium nitrate is still not able to meet domestic needs, so imports are the solution to meet these needs. Until now there are four general methods that are generally used to produce ammonium nitrate, among which there is the vacuum crystallization method. In the process of making ammonium nitrate with a production capacity of 150,000 tons/year, the reactor acts as a place for reacting raw materials in the form of ammonia and nitric acid. The reaction that occurs is exothermic with an operating pressure of 4.4 atm and a temperature of 60 ^{o}C. The reactor used is a mixed flow reactor in the form of an upright cylinder with a standard dished top lid.

Keyword : Ammonium Nitrate; Vacuum Crystallization; Rotary Dryer

1. PENDAHULUAN

Industri kimia semakin memegang peranan penting dalam kehidupan. Hal ini disebabkan hampir sebagian besar kebutuhan manusia bergantung pada olahan industri kimia, mulai dari perlengkapan mandi, optimalisasi pertanian, bahkan sampai pertahanan negara. Oleh karena itu, hampir setiap negara di dunia –tak terkecuali Indonesia –banyak memberikan perhatian pada pengembangan industri kimia, mengingat industri ini banyak mempunyai keterkaitan dengan pengembangan industri lainnya.

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Amonium nitrat merupakan salah satu produk yang sangat dibutuhkan, mengingat manfaatnya yang besar baik dalam industri pertanian maupun pertahanan negara. Sebagai gambaran, pada tahun 1980 amonium nitrat telah diproduksi oleh 55 pabrik dengan produk dalam bentuk padat dan 77 pabrik memproduksi dalam bentuk larutan. Jumlah pabrik ini juga bertambah seiring dengan meningkatnya kebutuhan.

Sayangnya, produksi amonium nitrat dalam negeri masih belum dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, hal ini disebabkan pabrik penghasil amonium nitrat saat ini tidak mampu memenuhi kebutuhan amonium nitrat yang terus meningkat setiap tahunnya sehingga impor menjadi satu-satunya solusi yang bisa dilakukan.

Penambahan industri baru tentu menjadi solusi yang bersifat substitutif selain melakukan impor. Oleh karena itu, keefisienan peralatan industri menjadi sangat penting di dalamnya. Penggunaan alat pada industri, khususnya industri yang menuntut tingkat kemurnian produk, harus dilakukan seefisien mungkin. Amonium nitrat merupakan salah satu produk yang dituntut memiliki tingkat kemurnian yang baik, dalam hal ini kadar air di dalamnya harus mencapai tingkat yang serendah mungkin. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan peralatan yang digunakan, salah satunya adalah reaktor.

2. MATERI DAN METODE

Pada pembuatan amonium nitrat, rekator merupakan alat utama yang digunakan. Sebab, pada alat ini terjadi reaksi percampuran antara amonia dan asam nitrat yang merupakan bahan baku pembuatan amonium nitrat.

Alat ini didesain dengan memperhatikan kondisi operasi berupa tekanan dan suhu operasi tertentu sehingga digunakanlah bahan konstruksi berupa *High-Alloy Steel, SA-240 Grade M Type 316*.

Perancangan alat Reaktor ini memiliki beberapa langkah perhitungan, yaitu:

Menentukan Volume Reaktor

a. Menentukan Rate Volumetrik (v_0)
b. Menentukan Konstanta Laju Reaksi (k)
c. Menghitung Volume Reaktor (V)

Menentukan Dimensi Vessel

a. Diameter Vessel (d_i)

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

b. Menghitung Volume Liquid dalam Silinder (V_{ls})
c. Menghitung Tinggi Liquid dalam Silinder (L_{ls})
d. Menghitung Tekanan Desain (P_i)
e. Menghitung Tebal Silinder (t_S)
f. Menghitung Tinggi Silinder (L_S) dengan Menggunakan d_o dan d_i Baru

Menentukan Dimensi Tutup

a. Menghitung Tebal dan Tinggi Tutup Atas (Standard Dished; t_{ha} dan h_a)
b. Menentukan Tebal dan Tinggi Tutup Bawah (t_{hb} dan h_b)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nama alat : Reaktor (R-110)
Fungsi : Tempat terjadinya reaksi antara NH_3 dan HNO_3 dengan proses kristalisasi
Tipe : Mixed Flow Reactor
: Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk standart dished

Menentukan Volume Reaktor

a. Menentukan Rate Volumetrik (v_0)

Bahan masuk = 47747,9740 Kg/jam
= 105265,1834 lb/jam
$\rho_{Campuran}$ = 56,8591 lb/ft^3
Rate volumetrik = 1851,3338 ft^3/jam

b. Menentukan Konstanta Laju Reaksi (k)

Asumsi reaksi orde 2 dan non-elementer,

Dari Octave Levenspiel 2nd ed, halaman 47 pers 13b didapat:

$-r_A = C_{A0}(dX_A)/dt = kC_AC_B$

Karena $C_{A0}X_A = C_{B0}X_B$ maka:

$-r_A = C_{A0}(dX_A)/dt = [kC_{A0}(C_{A0} - X_A)][C_{B0}(C_{B0} - X_A)]$

Di mana $M = C_{B0}/C_{AO}$ sehingga:

$-r_A = C_{A0}(dX_A)/dt = kC_{A0}^2(1-X_A)(M-X_A)$

$$\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)(M-X_A)} = C_{A0}k\int_0^r dt$$

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Dengan diintegrasikan didapat

$\ln (M - X_A)/(M(1 - X_A)) = C_{A0} (M - 1)kt$

Menghitung C_{A0} dan C_{B0}

Dari Octave Levenspiel 2nd ed, halaman 110 didapat:

$F_{A0} = V_0 \times C_{A0}$

Di mana:

F_{A0} = mol reaktan yang masuk per-waktu, kmol/jam

V_0 = rate volumetrik, ft^3/jam

C_{A0} = konsentrasi reaktan A mula-mula, kmol/ft^3

Sehingga:

$F_{A0} = V_0 \times C_{A0}$

Konversi = 99% (Keyes ed 4, hal 97)

C_{A0} = 0,1228 kmol/ft^3 C_A = 0,00123 kmol/ft^3
C_{B0} = 0,7557 kmol/ft^3 C_B = 0,63412 kmol/ft^3

$M = C_{B0}/C_{A0}$

M = 0,7557/0,1228

M = 6,1543

$\ln ((M - X_A)/(M(1 - X_A)) = C_{A0} (M - 1)kt$

ln ((6,1543-0,99)/(6,1543(1-0,99))=0,1228(6,1543-1)0,3k

k = 23,3308 ft^3/kmol jam

Sehingga

$-r_A = kC_{A0}^2 (1 - X_A) (M - X_A)$

$-r_A$ = 23,331 x (0,1228)2 x (1 – 0,99) x (6,1543 – 0,99)

$-r_A$ = 0,0182

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

c. Menghitung Volume Reaktor (V)

$V/v_0 = (C_{A0}X_A)/-r_A$

$V = v_0\ (C_{A0}X_A)/-r_A$

V =1851,3338 x (0,1228 x 0,99)/0,0182

V = 12388,43421 ft^3

Diasumsikan:

V_{rk} = 20% x Volume Total

$V_{Pengaduk}$ = 5% x Volume Total

$V_{Total\ Reaktor}$ = $V_{Liquid} + (V_{rk} + V_{Pengaduk})$

$V_{Total\ Reaktor}$ = 12388,4342 + 25% $V_{Total\ Reaktor}$

0,75 $V_{Total\ Reaktor}$ = 12388,4342

$V_{Total\ Reaktor}$ = 16517,9123 ft^3

V_{rk} = 3303,5825 ft^3

$V_{Pengaduk}$ = 825,8956 ft^3

Menentukan Dimensi Vessel

a. Diameter Vessel (d_i)

Diasumsikan:

$L_S = 1,5\ d_i$

$V_{Total} = V_{Tutup\ Bawah} + V_{Silinder} + V_{Tutup\ Atas}$

$$V_{Total} = \frac{\pi d_i^3}{24\ tan 1/2\ \alpha} + \frac{\pi d_i^2 L_S}{4} + 0{,}0847 d_i^3$$

$$16517{,}91 = \frac{3{,}14\ x\ d_i^3}{24\ x \tan 60} + \frac{3{,}14\ x\ d_i^2\ x\ 1{,}5 d_i}{4} + 0{,}0847 d_i^3$$

$16517{,}91 = 1{,}3377 d_i^3$

$d_i^3 = 12347{,}6561$

$d_i = 23{,}1133$ ft

$d_i = 277{,}3593$ in

b. Menghitung Volume Liquid dalam Silinder (V_{ls})

$V_{ls} = V_{Liquid} + V_{Tutup\ Bawah}$

$$= 12388{,}4342 - \frac{\pi d_i^3}{24\ tan 1/2\alpha}$$

= 7340,6807 ft^3

c. Menghitung Tinggi Liquid dalam Silinder (L_{ls})

$$L_{ls} = \frac{V_{ls}}{(\frac{\pi}{4}) d_i^2}$$

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

$$L_{ls} = \frac{7340{,}6807}{419{,}3655}$$

L_{ls} = 17,5403 ft (210,0511 in)

d. Menghitung Tekanan Desain (P_i)

P_i = P_{atm} + $P_{Hidrostatik}$

Berdasarkan Brownell, Pers, 3,17):

$$P_{Hidrostatik} = \frac{\rho(HL - 1)}{144}$$

Di mana:

ρ = densitas campuran (lb/ft^3)

H = tinggi liquid dalam silinder (ft)

$$P_{Hidrostatik} = \frac{56{,}8591\ x\ (17{,}5043 - 1)}{144}$$

$P_{Hidrostatik}$ = 6,5168 psia

1 atm = 14,7 psia

$P_{Operasi}$ = 4,4 atm = 64,68 psia

P_{Desain} (P_i) = $P_{Operasi}$ + $P_{Hidrostatik}$

= 64,68 + 6,5168

= 71,1968 psia

= 56,4968 psig

e. Menghitung Tebal Silinder (t_S)

$$t_s = \frac{P_i d_i}{2(fE - 0{,}6P_i)} + C$$

$$t_s = \frac{54{,}64968\ x\ 277{,}3593}{2(18750x0{,}8 - 0{,}6x56{,}4968)} + 0{,}0625$$

$t_S = \frac{9{,}3762}{16} \approx \frac{8}{16}$ = ½ in

Standardisasi d_o:

d_o = d_i + $2t_S$

= 277,3593 + 2(1/2)

= 278,3593 in

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

Berdasarkan table 5,7 halaman 90 Brownell,

Standardisasi do = 278,3593 in ≈ 228 in

d_i = d_o - $2t_S$

= 228 – 2(1/2)

= 227 in (18,9167 ft)

f. Menghitung Tinggi Silinder (L_S) dengan Menggunakan d_o dan d_i Baru

$$V_{Total} = \frac{\pi d_i^3}{24\ tan 1/2\ \alpha} + \frac{\pi d_i^2 L_S}{4} + 0{,}0847 d_i^3$$

$$16517{,}91 = \frac{3{,}14\ x\ 6769{,}1453}{24 \tan 60} + \frac{3{,}14}{4}\ x\ 357{,}84 L_S + 573{,}3466$$

L_S = 54,9412 ft

= 659,2948 in

= 16,7461 m

Menentukan Dimensi Tutup

a. Menghitung Tebal dan Tinggi Tutup Atas (Standard Dished; t_{ha} dan h_a)

Diketahui:

r = 180 in

icr = 13 ¾ in

sf = 3 ½ in

Berdasarkan tabel 5,7 halaman 90 Brownell,

Tebal Tutup Atas (t_{ha}) berdasarkan persamaan 13,12 Brownell 1959:

$$t_{ha} = \frac{0{,}885 P_i d_i}{2(fE - 0{,}1 P_i)} + C$$

$$t_{ha} = \frac{0{,}885\ x\ 56{,}4968\ x\ 227}{2(18750\ x\ 0{,}8 - 0{,}1\ x\ 56{,}4968)} + 0{,}0625$$

t_{ha} = 0,4410 x 16/16

= 7,0556/16 ≈ 8/16 = ½ in

Tinggi Tutup Atas (h_a):

h_a = $0{,}169 d_i$

= 0,169 x 18,9167 ft

= 3,1969 ft (38,3630 in)

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)

b. Menentukan Tebal dan Tinggi Tutup Bawah (t_{hb} dan h_b)

$$t_{hb} = \frac{P_i d_i}{2(fE - 0{,}6P_i)cos1/2\alpha} + C$$

$$t_{hb} = \frac{56{,}4968\ x\ 227}{2(18750\ x\ 0{,}8 - 0{,}6\ x\ 56{,}4968)cos60} + 0{,}0625$$

t_{hb} = 0,4905 x 16/16

= 7,8476/16 ≈ 8/16 = ½ in

Tinggi Tutup Bawah (h_b):

$$h_b = \frac{1/2d}{tan1/2\alpha}$$

$$h_b = \frac{\frac{1}{2}x\ 18{,}9167\ ft}{\tan 60}$$

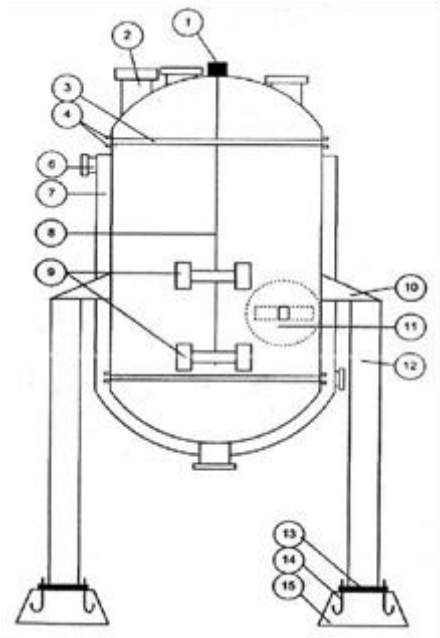
h_b = 5,4608 ft (65,5293 in)

Resume Hasil Desain alat Rotary Dryer

Bahan konstruksi berupa High-alloy steel, SA-240 Grade M Type 316

- Do (diameter luar) = 228 in
- Di (diameter dalam) = 227 in
- ts (tebal silinder) = 0,5 in
- Ls (tinggi silinder) = 659,2948 in
- tha (tebal tutup atas) = 0,5 in
- ha (tinggi tutup atas) = 38,363 in
- thb (tebal tutup bawah) = 0,5 in
- hb (tinggi tutup bawah) = 65,5292 in
- Tinggi reaktor = 766,687 in
- Jumlah = 1 buah

Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 4 Tahun 2021, page A5.1-A5.10. Fakultas Teknik Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang, Indonesia. 14 Agustus 2021
Tersedia online di https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin
ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)



Gambar 1. Desain Reaktor

Keterangan:

1) Motor penggerak
2) Nozzle
3) Gasket
4) Flange
5) Baut
6) Nozzle pendingin
7) Jaket
8) Poros
9) Pengaduk
10) Bracket
11) Manhole
12) Kolom penahan
13) Base plate
14) Anchor bolt
15) Pondasi
16) Bearing Housing
17) Flight
18) Pondasi

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan didapat Reaktor dengan konstruksi menggunakan bahan high-alloy steel, SA-240 Grade M Type 316 dengan diameter dan panjang vessel masing-masing 228 in dan 766,687 in serta tinngi tutup atas 38,363 in.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] *Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. 2020*. www.bps.go.id, diakses tanggal 1 Maret 2020

[2] Brownell E. Lloyd, *" Process Equipment Design",* John Willey and Sons Inc, New Delhi, India, 1959.

[3] Coulson and Richardson's, *"Particle Technology and Separation Processes"*, Vol 2 3th edition, Linacre House Jordan Hill, London, England, 1978.

[4] Geankoplis, Christie, *"Transport Processes and Unit Operations"*, 3rd Edition, Prentice Hall Inc. New Delhi, India, 1997.

[5] George T. Austin *"Shreve's Chemical Process Industries"*, 5td Edition. 1997.

[6] Hesse, H.C. and Rushton, J.H., *"Process Equipment Design"*, D. Van Nostrand Co, New Jersey, 1981.

[7] Kern D.Q, *"Process Heat Transfer"*, 2nd Edition, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1988.

[8] Keyes, *"Industrial Chemicals"*, 2th edition, John Wiley and Sons Inc, New York, 1975.

[9] Kusnarjo, *"DesainAlatPemindahPanas"*, Surabaya, 2010

[10] Kusnarjo**,** *"EkonomiTeknik"*, Surabaya, 2010

[11] Kusnarjo**,** *"UtilitasPabrik Kimia"*, Surabaya, 2012

[12] Perry, Robert H, *"Perry's Chemical Engineering Handbook"*, 8th Edition, McGraw Hill Company, New York, USA, 2008.

[13] Perry, Robert H, *"Perry's Chemical Engineering Handbook"*, 7th Edition, McGraw Hill Company, New York, USA, 2008.

[14] Peter S. and Timmerhaus, *"Plant Design and Economic for Chemical Engineering"*, 4th edition, McGraw-Hill, Singapore, 1991.

[15] Smith, J.M, and Van Ness H.C**,** *"Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics"*, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.

[16] Ulrich D. Gael, *"A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic"*, John Willey and Sons Inc, New York, USA, 1984.

[17] Ullman. '*Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry'*, 7th Edition, Wiley-VCH,2015.

[18] Mott Corporation, "*Sparging/Gas-Iiquid Contacting Design Guide & Part Selection*". 84 Spring Lane, Farmington, CT 06032-3159. ISO 9001:2008 CERTIFIED.