



PEREKAYASAAN TANGKI PENGENAPUNTUK MEMISAHKAN (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ DARI CAIRAN NH₄F

Abdul Jami¹, Hafni Lissa Nuri²

^{1,2} Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK.

PEREKAYASAAN TANGKI PENGENAP UNTUK MEMISAHKAN (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ DARI CAIRAN NH₄F. Tangki pengenal dirancang untuk proses pemisahan slurry AUK dari cairan yang mengandung NH₄F. Dari hasil perhitungan perancangan disimpulkan bahwa: tangki pengenal dengan tipe continuous clarifier berbentuk tabung selinder vertikal dengan diameter 0.40 m, tinggi fluida total dalam tangki 3.18 m dan tinggi tangki 3.5 m. Karena diameter tangki 0.40 m dan dibawah diameter kritis (0.427 m) untuk slurry AUK, maka desain tangki cukup aman secara geometri. Dengan laju pengenal 0.0008824 m/s diatas laju linier overflow yaitu 0.0004665 m/s, maka secara teoritis tidak ada partikel padatan yang terbawa oleh aliran overflow dan proses pemisahan berjalan dengan baik.

Kata kunci: Diameter kritis, AUK, Pengeapan, Laju pengeapan

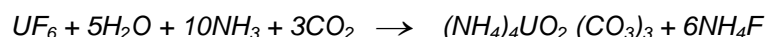
ABSTRACT.

A DESIGN OF SETTLING TANK FOR SEPARATION OF (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ FROM NH₄F LIQUID. A settling tank has been designed for AUC (Ammonium Uranyl Carbonate) separation process from liquid containing of NH₄F. From design calculation results are concluded that: the settling tank type is continuous clarifier of vertical cylindris with size of diameter 0.40 m, hight of fluid 3.18 m, hight of tank 3.5 m. Because the diameter of tank 0.40 m is lower than its critical diameter (0.427 m) for slurry of AUC, the design of tank is safe geometrically. The settling velocity is 0.0008824 m/s, above the rate of linear overflow that is 0.0004665 m/s, theoretically there is no solid particles carried away by the stream overflow and the separation process goes well.

Key words: Critical diameter, AUC, Settling, Settling velocity

1. PENDAHULUAN

Serbuk UO₂ diperkaya antara 3 - 5% dipakai dalam pembuatan bahan bakar nuklir tipe PWR (Pressure Water Reactor), diproduksi melalui berbagai jalur salah satunya melalui jalur ammonium uranyl karbonat (AUK) dengan persamaan reaksi sebagai berikut ^[1]:



Produk utama reaksi tersebut adalah (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ dalam bentuk slurry yang masih bercampur dengan cairan NH₄F dan sebagian besar sisa umpan H₂O. Selanjutnya slurry (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ harus terbebas dari senyawa lain agar dapat dikonversi menjadi UO₂ melalui proses kalsinasi dan reduksi. Untuk itu slurry (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃ harus dipisahkan dari cairan ini terutama NH₄F. Karena volume cairan yang harus dipisahkan terlalu besar, maka proses pemisahan ini dilakukan dengan cara diempakan secara gravitasi. Dan alat yang digunakan adalah tangki pengenal atau settling tank.

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk menentukan dimensi dan model tangki yang akan digunakan dalam proses pengeapan. Untuk fluida dengan slurry (NH₄)₄UO₂(CO₃)₃, maka

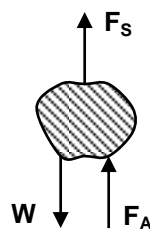


dimensi tangki penganap terutama diameter harus dibawah diameter kritis yang dipersyaratkan yaitu dibawah 42.7 cm^[2] dan diinginkan tidak ada partikel padatan yang terbawa oleh aliran *overflow* .

2. TEORI

Proses penganapan atau *settling* yang akan memisahkan partikel dari cairan terjadi dalam tangki penganap mengikuti mekanisme mekanika fluida^[2] .

Laju *settling* partikel diperlukan untuk mengetahui laju alir *overflow* maupun *underflow* dan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan luas permukaan tangki . Besarnya laju *settling* atau penganapan suatu partikel dipengaruhi oleh tiga gaya yaitu gaya berat benda (W) , gaya archimedes(F_A) , dan gaya stokes (F_S).^{[3],[4]}



Gambar 1. Gaya-gaya Pada Benda Dalam Fluida

Gaya berat partikel diberikan oleh persamaan (1).

$$W = m.g \quad (1)$$

Gaya Archimedes diberikan oleh persamaan (2).

$$\begin{aligned} F_A &= \rho_L V g \\ &= m .g. \frac{\rho_L}{\rho_P} \end{aligned} \quad (2)$$

Gaya Stokes diberikan oleh persamaan (3).

$$F_S = 3\pi D_p \mu v \quad (3)$$

Dari ketiga persamaan (1 - 3) didapat hubungan persamaan gaya sebagai berikut:

$$(W - F_A - F_S) = m \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

Substitusi dari ke tiga persamaan tersebut memberikan persamaan baru yaitu:

$$m \frac{dv}{dt} = (1 - \frac{\rho_L}{\rho_P}) g - 3\pi D_p \mu v \quad (5)$$

Pada keadaan tunak laju terminal atau *free settling* tercapai jika nilai $\frac{dv}{dt} = 0$

Sehingga persamaan menjadi:



$$v = \frac{(1 - \frac{\rho_L}{\rho_p})m g}{3\pi D_p \mu} \quad (6)$$

Untuk partikel ukuran sangat kecil didekati sebagai butiran berbentuk bola sehingga massa partikel^[3].

$$m = \rho_p \pi \frac{D_p^3}{6} \quad (7)$$

Substitusi persamaan (7) ke persamaan (6) akan didapat persamaan baru yaitu laju *free settling* yang diberikan oleh persamaan (8).

$$v = \frac{(1 - \frac{\rho_L}{\rho_p}) \frac{\rho_p \pi D_p^3}{6} g}{3\pi D_p \mu}$$

$$v_s = \frac{(\rho_p - \rho_L) D_p^2 g}{18\mu} \quad (8)$$

dengan

- v_s = laju *free settling* (m/s)
- ρ_p = massa jenis partikel (kg/m³)
- ρ_L = massa jenis cairan (kg/m³)
- D_p = diameter partikel (m)
- μ = viskositas cairan (kg/m.s)
- $\mu = \mu_0 (1 + 2,5 \varphi)$ Estimasi Einstein
- φ = fraksi volume

Dimensi tangki pengenap terutama diameter tangki besarnya tergantung pada diameter kritis yang diijinkan untuk *slurry AUK* yaitu harus dibawah 42.7 cm. Tinggi tangki tergantung pada laju *overflow* (v_L) dan *settling time* (t)^{[5],[6]}

$$A_T = \frac{Q_L}{V_s} \quad (9)$$

$$V_L = \frac{Q_s}{A_T} \quad (10)$$

$$t = \frac{D_T}{V_L} \quad (11)$$

$$H_s = V_s \times t \quad (12)$$

dengan

- D_T = diameter tangki
- H_s = tinggi *zona settling*
- Q_s = laju volume *underflow*
- Q_L = laju volume *overflow*
- A_T = luas penampang lintang tangki pengenap



3. CARA PEREKAYASAAN

Tangki pengenal yang digunakan dalam proses pemisahan berbentuk tabung vertikal dengan tipe *Continuous Clarifier*. Dalam perancangan tangki pengenal yang dilakukan adalah menentukan ukuran luas penampang lintang tangki yang cukup sehingga tidak ada partikel padatan yang terbawa dalam aliran *overflow* dengan mengacu pada diameter kritis tangki untuk *slurry* AUK. Besarnya aliran massa *overflow* dan *underflow* dilakukan dengan cara diasumsikan sampai didapatkan ukuran diameter tangki dibawah diameter kritisnya yaitu dibawah 42.7 cm .

Dari beberapa perhitungan dengan cara *trial and error* didapatkan luas penampang lintang tangki yang aman terjadi pada aliran *overflow* 75% dari aliran cairan input yang mengandung NH_4F .

Perhitungan untuk mendapatkan dimensi tangki meliputi: laju pengenal , luas permukaan *zona settling* , diameter tangki , *settling time* , tinggi fluida dan tinggi tangki. Cara dan tahapan perhitungan sebagai berikut:

3.1 MENENTUKAN LAJU PENGENAPAN

Untuk menentukan laju pengenal, terlebih dahulu kita lakukan perhitungan awal untuk mendapatkan data fisik aliran umpan , *overflow* dan *underflow* seperti tampak pada tabel (1-3) di bawah.

Tabel 1. Neraca Massa Aliran Umpan

Komponen	Laju Massa Kg/jam		
	Input	Overflow	Underflow
AUK	177.140	0	177.140
H ₂ O	458.227	343.670	114.557
NH ₄ F	75.353	56.515	18.838
	710.720	400.185	310.535

Tabel 2. Densitas Aliran Umpan

Komponen	Laju Massa	ρ	Q	Fraksi Volume Cairan	
	kg/jam	kg/m ³	m ³ /jam	ϕ_i	
AUK	177.140	2260.000	0.0784	ϕ_i	
H ₂ O	458.227	995.647	0.4602	0.4602	0.8605
NH ₄ F	75.353	1009.000	0.0746	0.0746	0.1395
	710.72		0.6132	0.5348	

Aliran Umpan

$$Q = 0.5983 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\rho_{\text{cair}} = 997.72 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 3. Densitas Aliran Overflow

Komponen	(kg/jam)	ρ (kg/m ³)	Volume m ³ /jam	Fraksi	$x_i \cdot \rho$ (kg/m ³)
				x_i	
AUK	0	2260	0	0	0
H ₂ O	343.670	995.647	0.3452	0.8604	856.655
NH ₄ F	56.515	1009.000	0.0560	0.1396	140.856
	400.185		0.4012		997.511



Aliaran Total Overflow

$$Q_L = 0.4012 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\rho_L = 997.511 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 4 Densitas Aliran Underflow

Komponen	(kg/jam)	ρ (kg/m ³)	Volume m ³ /jam	Fraksi	$x_i \cdot \rho$
				x_i	(kg/m ³)
AUK	177.14	2260	0.0784	0.3695	835.139
H ₂ O	114.557	995.647	0.1151	0.5424	540.087
NH ₄ F	18.838	1009.000	0.0187	0.0880	88.8131
	310.535		0.2121		1464.04

Aliran Total Underflow

$$Q_S = 0.2121 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\rho_S = 1464.04 \text{ kg/m}^3$$

Data fisik partikel AUK

$$D_p = 29.4 \times 10^{-6} \text{ m diameter partikel}$$

$$g = 9.810 \text{ m/s}^2 \text{ percepatan gravitasi}$$

$$\rho_p = 2260 \text{ kg/m}^3 \text{ massa jenis partikel}$$

Data fisik cairan

$$\rho_L = 997.72 \text{ kg/m}^3 \text{ massa jenis cairan umpan}$$

$$\phi_i = 0.1395 \text{ fraksi volume cairan}$$

$$\mu_{\text{air}} = 0.4665 \text{ cps}$$

$$\mu_L = \frac{0.4665(1 + 0.5\phi_i)}{(1 - \phi_i)^2}$$

$$= \frac{0.4665(1 + 0.5 \times 0.1395)}{(1 - 0.1395)^2}$$

$$= 0.674 \text{ cps}$$

$$= 0.000674 \text{ kg/m.s viskositas cairan}$$

Dengan menggunakan persamaan 8 dan data fisik partikel AUK dan cairan didapat kecepatan terminal atau *free settling* sebagai berikut:

$$v_s = \frac{(\rho_p - \rho_L) D_p^2 g}{18\mu}$$

$$v_s = 0.0008824 \text{ m/s}$$

3.2 MENENTUKAN DIAMETER TANGKI

Untuk menentukan diameter tangki terlebih dahulu harus menghitung luas permukaan *zona settling* dengan menggunakan persamaan 9 yaitu laju volume aliran *Over flow* (Q_L) dibagi dengan laju *free settling*.

Dengan laju volume aliran *overflow* dan laju *free settling* yaitu:

$$Q_L = 0.4012 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0.0001114 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$v_s = 0.0008824 \text{ m/s}$$

Didapat luas permukaan zona *settling* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_T &= \frac{Q_L}{V_s} \\ &= \frac{0.0001114}{0.0008824} \\ &= 0.1263 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dan diameter tangki didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D_T &= \sqrt{\frac{4 \cdot A_T}{\pi}} \\ D_T &= 0.40 \text{ m} \\ &= 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.3 MENENTUKAN TINGGI TANGKI

Tinggi tangki dalam perancangan adalah tinggi fluida dalam tangki ditambah dengan faktor desain (FD). Untuk menentukan tinggi fluida dalam tangki dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Menentukan laju volume aliran *overflow*

$$\begin{aligned} A_T &= 0.1263 \text{ m}^2 \\ Q_S &= 0.2121 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0.000059 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Dengan kedua data tersebut laju linier *overflow* dihitung menggunakan persamaan 10.

$$\begin{aligned} V_L &= \frac{Q_S}{A_T} \\ V_L &= 0.0004665 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dan *settling time* dihitung dengan persamaan 11 didapat .

$$\begin{aligned} t &= \frac{D_T}{v_L} \\ t &= 858 \text{ detik} \\ &= 14.3 \text{ menit} \end{aligned}$$

Dari tinggi zona *settling* dapat dihitung menggunakan persamaan 12 .

$$\begin{aligned} H_S &= V_s \times t \\ H_S &= 0.76 \text{ m} \end{aligned}$$

Mengacu pada hasil *settling time* 14.3 menit , maka dapat direncanakan waktu tinggal fluida dalam tangki yaitu $t_s = 1 \text{ jam}$. Tinggi fluida dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_F &= \frac{(Q - Q_s)}{A_T} \cdot t_s \\ H_F &= \frac{(0.6132 - 0.2121)}{0.1263} \cdot 1 \\ &= 3.18 \text{ m} \end{aligned}$$



Tinggi fluida	H_F	=	3.18	m
Dengan faktor desain	F_D	=	10%	
Tinggi tangki	H_T	=	3.5	m

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan didapat hasil sebagai berikut :

Tangki penenap untuk proses pemisahan partikel AUK dari cairan NH_4F dengan waktu *settling* 14.3 menit dan waktu tinggal total 60 menit diperoleh spesifikasi alat sebagai berikut:

Diameter	=	0.4	m
Tinggi <i>settling zone</i>	=	0.76	m
Tinggi fluida dalam tangki	=	3.18	m
Tinggi total tangki	=	3.5	m

Mingat bahan cairan umpan umpan mengandung NH_4F yang bersifat korosif , maka pesawat penenap harus dibuat dari bahan yang tahan korosi khususny senyawa NH_4F , misalnya Nickel-chromium-iron SB-168.

Dalam perckayasaan tangki penenap yang digunakan untuk menampung bahan yang mengandung uranium harus mengikuti standar *critical mass* . Untuk *slurry Ammonium Uranyl Carbonate* diameter kritis sebesar 0.427 m. Karena diameter tangki penenap hasil perhitungan 0.4 m maka desain tangki penenap cukup aman secara geometri.

Laju penenapan sebesar 0.0008824 m/s lebih besar dari laju *overflow* 0.0004665 m/s , ini menunjukkan bahwa tidak ada partikel padatan yang terbawa oleh aliran *overflow* dan proses pemisahan berjalan dengan baik.

Agar fluida mempunyai waktu tinggal yang cukup, maka pipa aliran *underflow* dibuat model berbentuk U dengan tinggi 2.5 m seperti tampak pada gambar 2. Sehingga proses penenapan akan berjalan dengan baik,

Dengan data hasil perhitungan, maka dapat dibuat model pesawat penenap dengan aliran fluida seperti tampak pada gambar (2 dan 3) pada lampiran.

5. KESIMPULAN.

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

- Dimensi tangki penenap sebagai berikut:
Diameter tangki = 0.40 m
Tinggi tangki = 3.5 m
- Diameter tangki 0.40 m dibawah nilai diameter kritis yaitu 0.427 m , jadi desain tangki penenap cukup aman secara geometri.
- Laju penenap atau *free settling* lebih besar dari laju *overflow* , jadi secara teoritis tidak ada partikel padatan yang terbawa aliran *overflow*

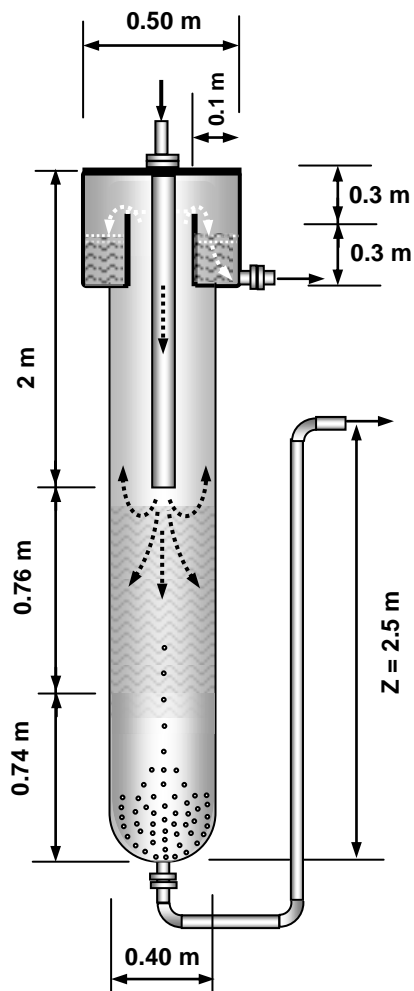
6. DAFTAR PUSTAKA

1. A.MELLAH, S.CHEGROUCHE, M.BARKAT, " The Precipitation Of Ammonium Uranyl Carbonate (AUC): Thermodynamic And Kinetic Investigations", Commissariat a l'Energie Atomique, Centre de Recherche Nucleaire de Draria, BP 3 16003, Draria, Aigiers, Algeria,2006
2. W. WEBER , Y. NAIOTO , ANNO, " Reference Values For Nuclear Criticality Safety " , NEA No. 5433,OECD 2006
3. ALAN S.FOUST, " Principles Of Unit Operations " , 2ed., John Wiley & Sons, Inc. New York,1980
4. LADISLAV SVAROVSKY, " Solid-Liquid Separation " , Fourth Edition, Butterwort - Heinemann, a Devision of Reed Publishing (USA) Inc. , 2000
5. STANLEY M. WALAS, " Chemical Process Equipment " , Butterwort-Heinimann, a Devision of Reed Publishing (USA) Inc. ,1990
6. TIMOTHY C. FRANK, " Perry's Chemical Engineers' Hand Book " ,8thEd., The McGraw-Hill Compenies,Inc. 2008

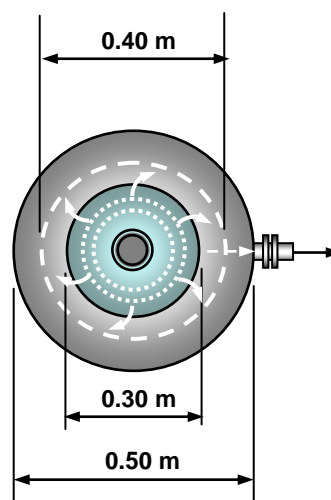


7. LAMPIRAN

GAMBAR TANGKI PENGENAP



Gambar 2. Tampak Samping



Gambar 3. Tampak Atas