

PEREKAYASAAN TANGKI PENGENDAP UNTUK MEMISAHKAN $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ DARI CAIRAN NH_4F

Abdul Jami, Hafni Lissa Nuri
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang – Banten

ABSTRAK

PEREKAYASAAN TANGKI PENGENDAP UNTUK MEMISAHKAN $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ DARI CAIRAN NH_4F . Tangki pengendap dirancang untuk proses pemisahan slurry AUK dari cairan yang mengandung NH_4F . Dari hasil perhitungan perancangan disimpulkan bahwa tangki pengendap 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 pengendapan 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

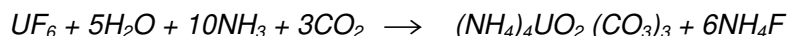
ABSTRACT

A DESIGN OF SETTLING TANK FOR SEPARATION OF $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ FROM NH_4F LIQUID. A Settling tank is designed for AUC (Ammonium Uranyl Carbonate) separation process from liquid containing of NH_4F . From the design calculation results is concluded that the settling tank type is continuous clarifier of vertical cylindris with size of diameter 0.40 m, height of fluid 3.18 m, height of tank 3.5 m. Because the diameter of tank 0.40 m is lower than 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 are carried away by the stream overflow and separation process goes well.

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

1. PENDAHULUAN

Serbuk UO_2 diperkaya antara 3% - 5% dipakai dalam pembuatan bahan bakar nuklir tipe PWR (Pressure Water Reactor), diproduksi melalui berbagai jalur salah satunya melalui jalur ammonium uranil karbonat (AUK) dengan persamaan reaksi sebagai berikut ^[1]:



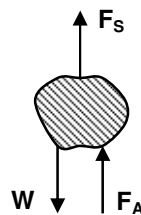
Produk utama reaksi tersebut adalah $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ dalam bentuk slurry yang masih bercampur dengan cairan NH_4F dan sebagian besar sisa umpan H_2O . Selanjutnya slurry $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ harus terbebas dari senyawa lain agar dapat dikonversi menjadi UO_2 melalui proses kalsinasi dan reduksi. Untuk itu slurry $(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$ harus dipisahkan dari cairan ini terutama NH_4F . Karena volume cairan yang harus dipisahkan terlalu besar, maka proses pemisahan ini dilakukan dengan cara diendapkan secara gravitasi dan alat yang digunakan adalah tangki pengendap atau settling tank.

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk menentukan dimensi dan model tangki yang akan digunakan dalam proses pengendapan. Untuk fluida dengan *slurry* $(NH_4)_2CO_3$, maka dimensi tangki pengendap 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 pengendapan atau *settling* yang akan memisahkan partikel dari cairan terjadi dalam tangki pengendap mengikuti mekanisme mekanika fluida^[3].

Laju *settling* partikel diperlukan untuk mengetahui laju alir *overflow* maupun *underflow* dan digunakan sebagai acuan untuk perhitungan luas permukaan tangki. Besarnya laju *settling* atau pengendapan 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).

$$W = m \cdot g \dots\dots\dots(1)$$

Gaya Archimedes diberikan oleh persamaan (2).

$$F_A = \rho_L V g$$

$$= m \cdot g \cdot \frac{\rho_L}{\rho_P} \dots\dots\dots(2)$$

Gaya Stokes diberikan oleh persamaan (3).

$$F_S = 3\pi D_p v \dots\dots\dots(3)$$

Dari ketiga persamaan didapat hubungan persamaan gaya sebagai berikut:

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

Substitusi dari ke tiga persamaan tersebut memberikan persamaan baru yaitu:

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

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

Sehingga persamaan menjadi:

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

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

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

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

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

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

- 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 pengendap 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]

$$A_T = \frac{Q_L}{V_S} \dots\dots\dots(9)$$

$$V_L = \frac{Q_S}{A_T} \dots\dots\dots(10)$$

$$t = \frac{D_T}{v_L} \dots\dots\dots(11)$$

$$H_S = V_s \times t \dots\dots\dots(12)$$

- 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 pengendap

3. CARA PEREKAYASAAN

Tangki pengendap yang digunakan dalam proses pemisahan berbentuk tabung vertikal dengan tipe *Continuous Clarifier*. Dalam perancangan tangki pengendap 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 $42.7 \text{ cm}^{[2]}$.

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 pengendapan, luas permukaan *zona settling*, diameter tangki, *settling time*, tinggi fluida dan tinggi tangki.

3.1 Menentukan Laju Pengendapan

Untuk menentukan laju pengendapan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal untuk mendapatkan data fisik aliran umpan, *overflow* dan *underflow* seperti tampak pada tabel 1 sampai dengan tabel 4.

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		
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	$x_i \cdot \rho$ (kg/m ³)
				x_i	
AUK	177.140	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

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

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

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

Data fisik cairan

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

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

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

$$\mu_L = 0.4665(1 + 0.5\phi_i)/(1 - \phi_i)^2$$

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

$$= 0,674 \text{ cps}$$

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

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:

$$\begin{aligned} Q_L &= 0.4012 \quad \text{m}^3/\text{jam} \\ &= 0.0001114 \quad \text{m}^3/\text{s} \\ v_s &= 0.0008824 \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

Didapat luas permukaan *zona settling* sebagai berikut:

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

Dan diameter tangki didapat dengan persamaan sebagai berikut:

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

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*

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

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

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

Dan *settling time* dihitung dengan persamaan 11 didapat .

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

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

$$H_s = V_s \times t$$
$$H_s = 0.76 \text{ m}$$

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

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

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan didapat hasil sebagai berikut :

Tangki pengendap 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

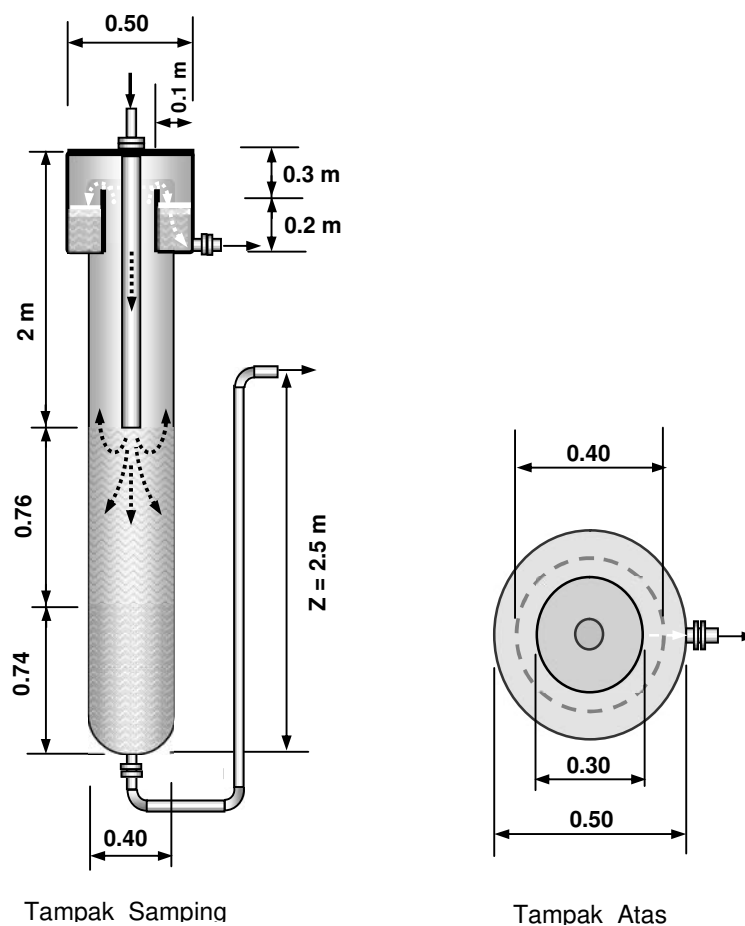
Meningkat bahan cairan umpan mengandung NH_4F yang bersifat korosif, maka pesawat pengendap harus dibuat dari bahan yang tahan korosi khususnya senyawa NH_4F , misalnya Nickel-chromium-iron SB-168.

Dalam perancangan tangki pengendap 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 pengendap hasil perhitungan 0.4 m maka desain tangki pengendap cukup aman secara geometri.

Laju pengendapan 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, sehingga proses pengendapan akan berjalan dengan baik, seperti tampak pada gambar 2.

Dengan data hasil perhitungan, maka dapat dibuat model tangki pengendap dengan aliran fluida seperti tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Tangki pengendapan

5. KESIMPULAN.

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

- Dimensi tangki pengendap 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 pengendap cukup aman secara geometri.
- Laju pengendapan 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, 2006, *The Precipitation Of Ammonium Uranyl Carbonate (AUC): Thermodynamic And Kinetic Investigation*, Commissariat a l'Energie Atomique, Centre de Recherche Nucleaire de Draria, BP 3 16003, Draria, Aigiers, Algeria.
- [2]. W. Weber , Y. Naioto , Anno, 2006, *Reference Values For Nuclear Criticality Safety*, NEA No. 5433,OECD.
- [3]. Alan S.Foust, 1980, *Principles Of Unit Operations*, 2ed., John Wiley & Sons, Inc. New York,
- [4]. Ladislav Svarovsky, 2000, *Solid-Liquid Separation*, Fourth Edition, Butterwort - Heinemann, a Devision of Reed Publishing (USA) Inc. ,
- [5]. Stanley M. Walas, 1990, *Chemical Process Equipment* , Butterwort-Heinimann, a Devision of Reed Publishing (USA) Inc.
- [6]. Timothy C. Frank, 2008, *Perry's Chemical Engineers' Hand Book*, 8thEd., The McGraw-Hill Compenies,Inc.