

RANCANGAN UNIT PENGOLAH LIMBAH RADIOAKTIF CAIR SECARA KIMIA P P T A - SERPONG

Zainus Salimin, Edo Walman, Puji Santoso,
Sugeng Purnomo, Sugito, Suwardiyono, Wintono

Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif

ABSTRAK

RANCANGAN UNIT PENGOLAH LIMBAH RADIOAKTIF CAIR SECARA KIMIA P P T A - SERPONG.
Telah dirancang unit pengolah limbah radioaktif cair secara kimia dari fabrikasi bahan bakar nuklir dan produksi radioisotop. Rancangan didasarkan pada karakteristik limbah cair dari proses konversi uranium fluorida menjadi ammonium uranil karbonat pada fabrikasi bahan bakar, yang mengandung ion fluorida yang bersifat korosif. Tahapan prosesnya meliputi pengendapan ion fluorida dengan kalsium hidroksida, sisa ion fluorida dalam beningan dikoagulasikan dengan tawas, dan akhirnya digunakan resin polimer WWS 116 untuk pengendapan ion fluorida yang masih tertinggal dalam beningan akhir. Unit proses hasil rancangan terdiri dari peralatan-peralatan utama antara lain 3 buah tangki penampung limbah cair mentah kapasitas masing-masing 1 m³, 5 buah tangki penampung bahan kimia kapasitas masing-masing 0,5 m³, 2 buah reaktor pengadukan kapasitas masing-masing 0,5 m³, 1 buah tangki penampung beningan kapasitas 1 m³, dan 1 buah tangki penampung endapan kapasitas 1 m³.

ABSTRACT

DESIGN OF CHEMICAL TREATMENT UNIT FOR RADIOACTIVE LIQUID WASTES IN SERPONG NUCLEAR FACILITIES. The chemical treatment unit for radioactive liquid wastes arising from nuclear fuel fabrication, radioisotopes production and radiometallurgy facility has been designed. The design of chemical processing unit is based on the characteristics of liquid wastes containing fluor from uranium fluoride conversion process to ammonium uranil carbonat on the fuel fabrication. The chemical treatment has the following process steps : coagulation-precipitation of fluoride ion by calcium hydroxide coagulant, separation of supernatant solution from sludge, coagulation of remaining fluoride on the supernatant solution by alum, separation of supernatant from sludge, and than precipitation of fluor on the supernatant by polimer resin WWS 116. The processing unit is composed of 3 storage tanks for raw liquid wastes (capacity 1 m³ per tank), 5 storage tanks for chemicals (capacity 0.5 m³ per tank), 2 mixing reactors (capacity 0.5 m³ per reactor), 1 storage tank for supernatant solution (capacity 1 m³), and 1 storage tank for sludge (capacity 1 m³).

PENDAHULUAN

Limbah kimia-radioaktif (LKR) cair PPTA-Serpong timbul dari fabrikasi elemen bakar nuklir, produksi radioisotop, pengolahan limbah dan dekontaminasi, dan berbagai penelitian.

Dari fabrikasi elemen bakar timbul antara lain:

- a. Limbah Kimia-Radioaktif korosif : Limbah ini terjadi ketika UF₆ dan/atau UO₂(NO₃)₂ dikonversikan menjadi Ammonium Uranil Karbonat (AUK). Limbah tersebut mengandung fluor 19.430 ppm dan uranium < 50 mg/l, laju pembentukannya 1000 l/th.
- b. Limbah radioaktif cair basa kuat dengan kadar garam menengah : Limbah ini terbentuk ketika gagal U yang mengandung Al dilarutkan dalam larutan NaOH untuk mengambil Al. Laju pembentukannya 250 l/th, kadar NaOH ± 20% berat dan kadar NaAlO₂ bervariasi.

- c. Limbah radioaktif cair asam kuat hampir tanpa garam : Limbah ini dihasilkan dari proses ekstraksi larutan nitrat gagal. Laju pembentukannya 400 l/th, mengandung HNO₃ 2-3 N, dan NH₄NO₃ dan Al(NO₃)₃ kadar rendah.
- d. Limbah radioaktif cair campuran : Sebagian besar limbah ini adalah larutan bekas pencucian gas buang, mengandung NH₄OH dan sedikit NH₄NO₃ yang terbentuk dari pelepasan gas NO_x serta sedikit NH₄F. Laju pembentukannya 2.750 l/th. Dalam limbah ini tercampur pula cairan pel, sisa dekontaminasi lantai, bocoran dan lain-lain yang telah dijernihkan dengan filtrasi dan dianalisis bahwa kadar U di dalamnya < 50 mg/l.

Dari produksi radioisotop timbul limbah cair uranium yang mengandung NH₄OH dari pembuatan target U-235 (aktivitas 10⁻⁶ Ci/m³, laju pembentukan 400 l/th), limbah cair dari produksi

Mo-99 yang mengandung Alpha-Benzoil Oksin (aktivitas 230 Ci/60 l, waktu luruh 60 hari, laju pembentukan 720 l/th), limbah cair yang mengandung HCl, HNO₃ dan H₂SO₄ (aktivitas 10⁻² Ci/m³, laju pembentukan 48 m³/th), dan limbah cair biologis dari kandang binatang (aktivitas 10⁻² Ci/m³, laju pembentukan 24 m³/th).

Dari pengolahan limbah dan dekontaminasi juga timbul limbah deterjen dari pencucian pakaian (aktivitas 10⁻⁵ Ci/m³ dan laju pembentukan 100 m³/th), limbah asam nitrat penghilang kerak (aktivitas 10⁻⁴ Ci/m³, laju pembentukan 2 m³/th), limbah asam dan basa pendekontaminasi (aktivitas 10⁻⁵ Ci/m³, laju pembentukan 2 m³/th) dan lain-lain.

Kegiatan penelitian juga menimbulkan limbah dengan kandungan bahan yang bervariasi, misalnya dari penelitian proses pengolahan limbah, dekontaminasi, keselamatan kerja radiasi dan lingkungan, metalurgi, dan lain-lain.

Limbah cair tersebut di atas umumnya bersifat korosif, tidak dapat diproses secara evaporasi. Limbah radioaktif cair yang dapat dievaporasi di PTPLR harus memenuhi kriteria : 10⁻⁶ < aktivitas ≤ 2 × 10⁻² Ci/m³, kadar ekstrak kering ≤ 5 g/l, kandungan khlorida ≤ 0,1 g/l, pH 6 - 7 dan tidak mengandung bahan organik dan/atau anorganik yang volatil, mudah meledak dan korosif terhadap SS 316 L.

Mengingat sifat korosif limbah, perlu dilakukan pengolahan limbah cair secara kimia untuk menetralkan dan/atau mengendapkan bahan korosif, radionuklida, dan bahan pengganggu yang lain. Suatu unit proses kimia pengolah limbah cair berkapasitas sesuai jumlah limbah yang ditimbulkan diperlukan, sehingga dilakukan perancangan "Unit Pengolah Limbah Radioaktif Cair Secara Kimia PPTA - Serpong".

DASAR-DASAR PERANCANGAN

Proses Pengolahan Secara Kimia yang Dipilih

Rancangan unit proses didasarkan pada karakteristik limbah yang paling korosif yaitu limbah fluor kadar 19,430 ppm.

Tujuan pengolahan limbah cair tersebut untuk menghilangkan sifat korosifnya dengan menurunkan serendah mungkin kadar ion fluorida, melalui rangkaian proses pengendapan fluorida sebagai kalsium fluorida, koagulasi dan penyerapan (sorpsi) sisa fluorida dengan tawas feri [Fe₂(SO₄)₃.(NH₄)₂SO₄.24H₂O] atau tawas

aluminium [Al₂(SO₄)₃.(NH₄)₂SO₄.24H₂O] dan flokulasi partikel koloidal dengan polimer *Waste Water Softener* (WWS 116).

Pada tahap pertama, pH limbah diatur hingga pH optimum 8 bagi pengendapan kalsium fluorida¹, selanjutnya ditambahkan kalsium hidroksida. Reaksi pengendapannya adalah:

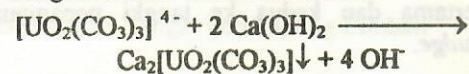


Pengendapan ion fluorida sebagai kalsium fluorida dibatasi oleh harga kelarutan endapan tersebut sebesar 16,6 mg/l³, masih terdapat sisa ion fluorida dalam limbah, kadarnya diturunkan lagi dengan penambahan tawas feri atau tawas aluminium karena inti floknya bersifat elektropositif sehingga dapat menarik ion-ion fluorida. Pembentukan flok pada tahap inipun memutuskan kondisi yang tepat sehingga pH harus kembali diatur pada harga optimumnya, yaitu pH 10 - 11.

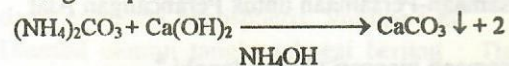
Partikel-partikel koloidal dari feri atau aluminium dengan mantel ion fluorida dapat lebih cepat terhimpun dengan penambahan flokulan berupa bahan polimer/kopolimer organik. Flokulan polimer WWS 116 yang digunakan, yaitu suatu kopolimer akrilamida yang merupakan flokulan kationik. Dengan penambahan ini, partikel-partikel koloidal akan dihimpun dan dinetralsisir muatannya membentuk flok-flok yang besar untuk kemudian mengendap.

Sesuai komposisi limbah, dalam rangkaian proses tersebut terjadi pula reaksi :

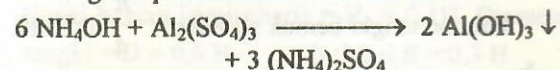
- Pengendapan ion kompleks uranil karbonat sebagai kalsium uranil karbonat :



- Pengendapan kalsium karbonat :



- Pengendapan aluminium hidroksida :

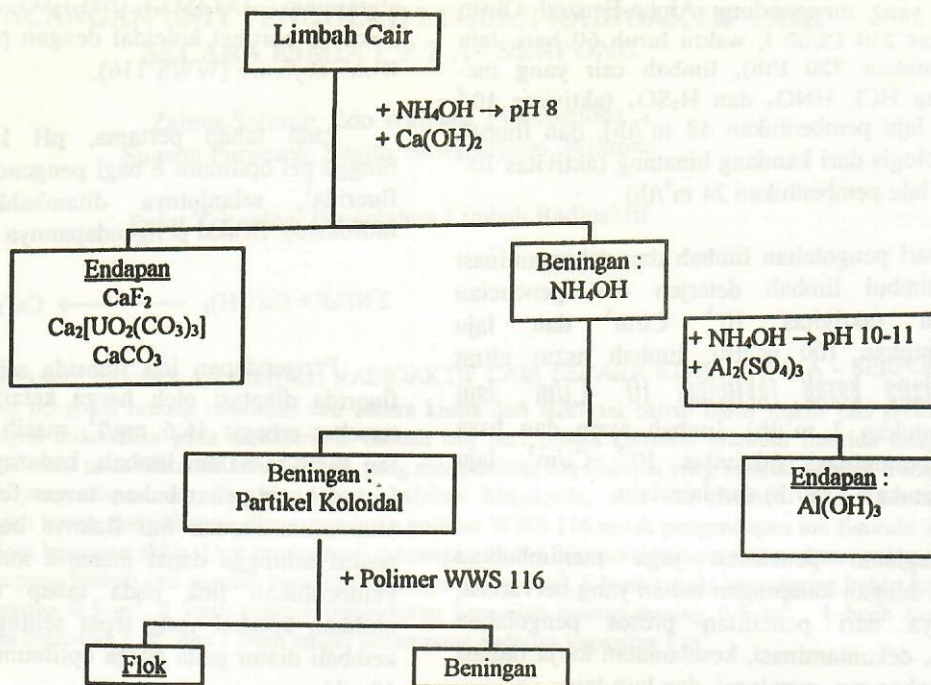


Skema pemisahannya adalah sebagai berikut tertera pada gambar 1.

Urut-Urutan Proses

Proses pengolahan LKR cair dilakukan melalui tahapan sebagai berikut (lihat Gambar 1):

1. Homogenisasi dan pengaturan pH limbah dalam reaktor pengadukan pertama.



Gambar 1. Skema pemisahan fluorida

2. Penambahan bahan pengenal kalsium hidroksida, dilanjutkan pengadukan
3. Pengeapan, dan pengaliran beningan ke reaktor pengadukan kedua.
4. Penambahan koagulan tawas feri amonium sulfat atau tawas aluminium sulfat dalam beningan dilanjutkan pengadukan, dan kemudian pengeapan dan pemisahan *sludge* dari beningan.
5. Penambahan flokulan polimer WWS 116 ke dalam beningan dilanjutkan pengadukan.
6. Pengeapan *sludge* kemudian pengaliran beningan ke tangki penampung beningan.
7. Pengaliran *sludge* dari reaktor pengadukan pertama dan kedua ke tangki penampung *sludge*.

Persamaan-Persamaan untuk Perancangan Alat

Persamaan mencari ukuran tangki⁶

- Volume tangki bentuk silinder = $\frac{\pi}{4} D^2 \times H$
(m^3) (1)

di mana D = diameter tangki (m), H = tinggi tangki (m)

- Volume bagian bentuk kerucut = $\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} D^2 \times t$
(2)

di mana D = diameter penampung, t = tinggi bagian *cone*

- Volume bagian hemispheris = $\frac{\pi}{6} H_h (3R^2 + H_h^2)$ dimana H_h = tinggi bagian hemispheris dan R = jari-jari tangki.

- Tebal tangki = $\frac{\rho(H-1)D}{24fE}$
(3)

di mana : ρ = densitas cairan dalam tangki ($\frac{lb}{ft^3}$), H = tinggi cairan dalam tangki (ft),

D = diameter tangki (ft), f = efisiensi sambungan pengelasan, E = *tensile-strength* dari

plat ($\frac{lb}{ft^2}$)

Persamaan mencari tenaga pengadukan

Tenaga pengadukan dicari dari rumus⁴ :

$$P = \frac{\phi(N_{Fr})^m n^3 (D_a)^5 \rho}{g_c}$$

dengan : ϕ = fungsi tenaga, n = kecepatan putaran impeller (rps), D_a = diameter impeller (dm), ρ = densitas fluida (g/cm^3), N_{Fr} = bilangan Froude = $\frac{n^2 D_a}{g}$, m = konstanta

Tabel 1. Jenis material dan kapasitas alat terpilih

No.	NAMA ALAT	Bahan	Kap.	Jml.	Ket.
1.	Tangki penampung limbah cair mentah	SS 316 L	1 m ³	3	untuk penampungan limbah cair dan peluruhan aktivitasnya untuk asam, basa, dan tiga jenis koagulan yang berbeda tempat reaksi pengendapan
2.	Tangki penampung bahan kimia	SS 316 L	0,5 m ³	5	
3.	Reaktor Pengadukan	SS 316 L	0,5 m ³	2	
4.	Tangki penampung sludge	SS 316 L	1 m ³	1	
5.	Tangki penampung beningan	SS 316 L	1 m ³	1	

$$= \frac{a - \log N_{Re}}{b}, \text{ a dan b adalah konstanta}$$

yang diberikan dalam Tabel 9-1[4], $N_{Re} =$

$$\text{Bilangan Reynold} = \frac{(D_a)^2 n \rho}{\mu}, \text{ dan } \mu = \text{viskositas}$$

fluida

Persamaan mencari daya pompa

Daya pompa dihitung melalui perhitungan neraca tenaga pada sistem aliran, persamaan yang biasa digunakan adalah persamaan Bernoulli^{2,6}:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - F_{12} - W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad (6)$$

dengan : P = tekanan. Angka-angka 1 dan 2 menunjukkan lokasi-lokasi 1 dan 2 pada sistem aliran, V = kecepatan linier, Z = elevasi (ketinggian), F = tenaga yang hilang karena friksi, W_p = tenaga pompa, g = percepatan gravitasi, ρ = densitas.

$$\text{Harga } F \text{ mempunyai persamaan : } F = \frac{fLV^2}{2gD} \quad (7)$$

dengan : D = diameter pipa, L = panjang pipa, f = faktor friksi dari pipa. Harga f dicari dari Gambar 5 yang berbasis bilangan Re dan berordinat harga f serta berparameter harga kekasaran pipa $\frac{\epsilon}{D}$.

Kekasaran pipa $\frac{\epsilon}{D}$ merupakan fungsi diameter dan jenis pipa, dilihat dari Gambar 3.

Dalam sistem aliran biasanya terdapat kran (valve), elbow, flange, dan jenis-jenis fitting yang lain, untuk perhitungan harga L total diberikan data panjang ekuivalen valve dan berbagai macam fitting seperti ditunjukkan Gambar 4. Dari persamaan (6) dapat dihitung harga - W_p .

PERHITUNGAN RANCANGAN ALAT

Penentuan Kapasitas Alat

Jumlah total limbah yang timbul per tahun adalah 130 m³. Dianggap dalam 1 tahun ada 260 hari kerja, maka setiap hari unit proses harus dapat mengolah 0,5 m³ limbah cair tersebut. Diambil kapasitas disain peralatan seperti pada Tabel 1 :

Penentuan Tata Letak Alat

Unit proses kimia pengolah limbah direncanakan ditempatkan di Gedung Dekontaminasi, pada daerah tangki penampung limbah. Berdasarkan keadaan ruangan yang ada, ditentukan tata letak seperti pada Gambar 2 dan 6.

Perhitungan Tangki Penampung Limbah

Diambil bentuk tangki silindris, bagian dasar dan atas bentuk hemispheris. Volume 1 m³ Diambil ukuran tangki sebagai berikut : Tinggi tangki = H, tinggi bagian silinder = $H_s = 0,8 H$, tinggi bagian hemispheris = $H_h = 0,1H$. Diameter tangki = D = 0,6 H → Jari-jari R = 0,3 H Permukaan cairan maksimum ditetapkan sampai bagian atas silinder
Volume tangki = volume silinder + volume bagian hemispheris

$$= \frac{\pi D^2}{4} H_s + \frac{\pi}{6} H_h \{3R^2 + H_h^2\}$$

$$= \frac{\pi(0,6H)^2}{4} (0,8H) + \frac{\pi}{6} (0,1H) \{3(0,3H)^2 + (0,1H)^2\}$$

$$= 0,22608 H^3 + 0,01465 H^3 \longrightarrow$$

$$1000 \text{ dm}^3 = 0,2407 H^3$$

$$H = 1610 \text{ mm}, H_s = 1290 \text{ mm}, H_h = 160 \text{ mm}, D = 970 \text{ mm}$$

Selanjutnya rancangan tangki penampung limbah dapat dilihat pada Gambar 7.

Perhitungan Tangki Penampung Bahan Kimia

Diambil bentuk tangki silindris dengan bagian atas dan bawah hemispheris, volume = 0,5 m³. Diambil ukuran tangki sebagai berikut : Tinggi total = H, tinggi bagian silindris = H_s = 0,8H, tinggi bagian hemispheris = H_h = 0,1H, diameter = D = 0,6H

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi D^2}{4} H_s + \frac{\pi}{6} H_h \{3R^2 + H_h^2\} \longrightarrow 500 \text{ dm}^3$$

$$= 0,2407 H^3$$

$$H = 12,756 \text{ dm} = 1275,6 \text{ mm} \longrightarrow$$

Dipakai tinggi tangki 1340 mm

$$H_s = 1020 \text{ mm}, D = 765 \text{ mm}, H_h = \frac{1340 - 1020}{2} = 160 \text{ mm}$$

Spesifikasi tangki penampung bahan kimia dapat dilihat pada Gambar 8.

Perhitungan Reaktor Pengadukan

Digunakan bentuk tangki silindris volume 0,5 m³ dengan bagian dasar konis.

Diambil ukuran tangki sebagai berikut : Diameter : D, tinggi silinder: H, tinggi bagian konis: t = 0,2 H, tinggi total: T = 1,2 H = 1,5 D, H

$$= \frac{5}{4} D$$

$$\text{Volume tangki:} = \frac{\pi D^2}{4} H + \frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{4} t$$

$$= \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{5}{4} D\right) + \frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{4} (0,2) \frac{5}{4} D \longrightarrow 0,5 \times$$

$$10^3 \text{ dm}^3 = \frac{1}{3} \pi D^3$$

$$D = 781,7 \text{ mm} = 2,56 \text{ ft}, H = 977,1 \text{ mm} = 3,21 \text{ ft}$$

$$\text{dan } t = 195,4 \text{ mm} = 0,64 \text{ ft.}$$

$$\text{Tebal tangki dihitung sebagai berikut : Tebal} = \frac{\rho(H-1)D}{24fE}$$

$$\text{di mana : } \rho = \text{densitas limbah} = 63,9125 \text{ lb/ft}^3, f = 0,85, E = 12.960.000 \text{ lb/ft}^2$$

$$\text{Tebal} = \frac{63,9125 \text{ lb/ft}^3 (3,21 - 1) \text{ft} (2,56) \text{ft}}{24(0,85)(12.960.000 \text{ lb/ft}^2)} = 1,37 \times 10^{-6} \text{ ft} = 4,17 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Diambil tebal tangki 2 mm. Skema tangki pengadukan dapat dilihat pada Gambar 9.

Jenis dan Dimensi Pengaduk

Dipilih jenis pengaduk propeller standar 3 blade dengan pertimbangan^{3,7}: volume reaktor pengadukan kecil (0,5 m³), viskositas limbah mentah rendah (1,04 cp.), pada penambahan larutan kimia tidak terjadi perubahan viskositas yang besar, reaksi koagulasi memerlukan pengadukan cepat (rpm tinggi).

Dipakai propeller yang berdiameter = 1/3 diameter tangki

$$D_a = 1/3 D = (1/3)(78,17 \text{ cm}) = 26 \text{ cm} = 0,85 \text{ ft}$$

Perhitungan Tenaga Pengadukan

Kecepatan putaran pengaduk ditetapkan :

- untuk tahap pengadukan cepat (*flash mixing*) n = 300 rpm (5,00 rps) - untuk tahap pengadukan lambat (*gentle mixing*) n = 50 rpm (0,83 rps)

Tenaga Pengadukan untuk Pengadukan Cepat :

Bilangan Reynold,

$$N_{Re} = \frac{(26 \text{ cm})^2 (5 \text{ s}^{-1}) (1,0247 \text{ g/cm}^3)}{(1,04 \cdot 10^{-2}) \text{ g/cm} \cdot \text{s}} = 333.027,50$$

Bilangan Froude, N_{Fr} =

$$\frac{n^2 D_a}{g} = \frac{(5 \text{ s}^{-1})^2 26 \text{ cm}}{980 \text{ cm/s}^2} = 0,6633$$

Dari Tabel 9-1^[4], diperoleh koefisien a = 1,7 dan b = 18., m =

$$\frac{a - \log N_{Re}}{b} = \frac{1,7 - \log(333.027,50)}{18} = -0,2124$$

Berdasarkan kurva B pada Grafik 9-15⁴, untuk N_{Re} = 333.027,50 diperoleh harga fungsi tenaga, ϕ = 0,56. Maka besarnya tenaga pengadukan yang dibutuhkan :

Tenaga Pengadukan, P=

$$\frac{0,56(0,6633)^{-0,2124} (5 \text{ s}^{-1})^3 (26 \text{ cm})^5 1,0247 \text{ g/cm}^3}{980 \text{ g cm s/g}_r} = 948.864,58 \text{ g}_r$$

$$= \frac{(948.864,58 \text{ g}_r \text{ cm/s})}{(10.206,16) \text{ Watt/g}_r \text{ cm s}^{-1}} = 92,97 \text{ Watt}$$

Untuk pengadukan lambat :

$$N_{Re} = \frac{(26 \text{ cm})^2 (0,83 \text{ s}^{-1})(1,0247 \text{ g/cm}^3)}{1,04 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm s}} = 55.282,56$$

$$N_{Fr} = \frac{(0,83 \text{ s}^{-1})^2 26 \text{ cm}}{980 \text{ cm/s}^2} = 0,0221$$

$$m = \frac{1,7 - \log 55.282,56}{18} = -0,1690$$

Untuk $N_{Re} = 55.282,56$ diperoleh harga fungsi tenaga, $\phi = 0,58$.

$$\text{Tenaga pengadukan, } P = \frac{0,58 (0,0221)^{0,58} (0,83 \text{ s}^{-1})^2 (26 \text{ cm})^5 (1,0247 \text{ g/cm}^3)}{980 \text{ g cm s/g}} = 7,944,84 \text{ g cm/s}$$

$$\frac{847.200,52 \text{ g}_f \text{ cm/s}}{10.206,16 \text{ Watt/g}_f \text{ cm s}^{-1}} = 0,78 \text{ Watt}$$

Jadi motor pengaduk yang dipergunakan mempunyai daya antara 0 - 100 Watt.

Perhitungan Tenaga Pompa Pengumpan Limbah

Posisi tangki limbah, pompa, reaktor pengadukan dan sistem pemipanya dirancang seperti Gambar 5, maka tenaga keluaran dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Panjang pipa} = (210 + 40 + 165 + 365 + 30 + 30) \text{ cm} = 820 \text{ cm}$$

Dari Gambar 4. Standar elbow $\phi 1'' \rightarrow L_{e1} = 2,7 \text{ ft}$, Globe valve $\phi 1'' \rightarrow L_{e2} = 28 \text{ ft}$, sehingga dapat dihitung panjang ekivalen total dari sistem pengumpanan limbah cair :

$$\begin{aligned} 5 \text{ standar elbow } \phi 1'' &= 5 \times 27 = 13,5 \text{ ft.} \\ 5 \text{ globe valve } \phi 1'' &= 5 \times 28 = 140,0 \text{ ft.} \\ \text{Jumlah} &: 153,5 \text{ ft (46,79 m)} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang total} = 8,20 + 46,79 = 54,99 \text{ m}$$

Persamaan Bernoulli :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - F_{12} - W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

P dan V pada titik 1 maupun 2 adalah sama. Bila titik 1 dianggap berada pada bidang referensi, maka: $-W_p = Z_2 + F_{12}$, Z_2 diperhitungkan dari ujung pipa limbah bagian penghisapan, sehingga :

$$V_{12} = Q (\pi/4)^{-1} D^{-2} = (0,00125 \text{ m}^3/\text{s}) / (\pi/4)^{-1} (0,0254 \text{ m})^{-2} = 2,47 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \rho D V \mu^{-1} = \frac{(1,0247 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3)(0,0254 \text{ m})(2,47 \text{ m/s})}{(1,04 \cdot 10^{-3}) \text{ kg/m s}} = 61.815,03$$

Dari Gambar 5 untuk $\epsilon/D = 0,0018$, $N_{Re} = 61.815$ diperoleh harga faktor gesekan, $f = 0,0255$.

$$F_{12} = f \frac{L_{12} V^2}{2 g D} = 0,0255 \frac{(54,99 \text{ m})(2,47 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)(0,0254 \text{ m})} = 17,18 \text{ m}$$

$$-W_p = 5,55 + 17,18 = 22,73 \text{ m}$$

HP pompa =

$$\frac{-W_p Q}{75 \text{ kg m/PS}} = \frac{(22,73)(0,0241 \text{ m}^3/\text{s})}{75 \text{ kg m/PS}} = 0,732 \text{ HP} = 29,17 \text{ Watt}$$

Maka untuk pengumpanan limbah cair ke reaktor dipergunakan pompa sentrifugal dengan daya keluaran $\pm 300 \text{ Watt}$.

Perhitungan Tenaga Pompa Beningan

Posisi tangki beningan, pompa, reaktor pengadukan dan sistem pemipanya ditempatkan seperti pada Gambar 2 dan 6. Beningan dari tangki penampungnya di pompa ke reaktor pengadukan atau dari reaktor pengadukan kedua menuju reaktor pengadukan pertama. Panjang pipa total (termasuk elbow, valve) = 55 m.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - F_{12} - W_p = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

P dan V di titik 1 maupun 2 adalah sama. Bila titik 1 dipakai sebagai bidang referensi, maka :

$$-W_p = Z_2 + F_{12} \rightarrow Z_2 = 555 \text{ cm}$$

Debit larutan ditetapkan $0,00125 \text{ m}^3/\text{s}$, diameter pipa $1'' (0,0254 \text{ m})$

$$V_{12} = (0,00125 \text{ m}^3/\text{s}) / (\pi/4)^{-1} (0,0254 \text{ m})^{-2} = 2,47 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \rho D V \mu^{-1} = \frac{(1,0247 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3)(0,0254 \text{ m})(2,47 \text{ m/s})}{(1,04 \cdot 10^{-3}) \text{ kg/m s}} = 61.815,03$$

$$F_{12} = f \frac{L_{12} V^2}{2 g D} = 0,0255 \frac{(55 \text{ m})(2,47 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)(0,0254 \text{ m})} = 17,2 \text{ m}$$

$$-W_p = 5,55 + 17,2 = 22,75 \text{ m}$$

HP pompa

=

$$\frac{-W_p Q}{75 \text{ kgm/HPs}} = \frac{(22,7\text{m})(1,024 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3)(0,0025\text{m/s})}{75 \text{ kgm/HPs}} = 0,4\text{P} = 22 \text{ Watt}$$

Digunakan pompa sentrifugal dengan daya keluaran ± 250 Watt.

Perhitungan Tangki Penampung *Sludge* (Lumpur Endapan)

Diambil tangki bentuk silinder, bagian dasar konis, bagian atas hemispheris, volume = 1 m^3

Diambil ukuran tangki: Diameter = D, tinggi silinder = $H = 5/3D$, tinggi cone = $t = 0,2 H$.

Volume tangki = volume silinder + volume cone

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi D^2}{4} H + \frac{1}{3} \frac{\pi D^2}{4} t \\ &= 1,3083 D^3 + 0,0523 D^3 \rightarrow 10^3 \text{ dm}^3 \\ &= 1,3606 D^3 \end{aligned}$$

Digunakan $D = 1.100 \text{ mm}$, $t = 300 \text{ mm}$.

Skema tangki penampung lumpur endapan dapat dilihat pada Gambar 10.

SIMPULAN

1. Untuk mengolah limbah kimia-radioaktif $130 \text{ m}^3/\text{th}$ yang timbul dari PPTA-Serpong diperlukan Unit Proses Kimia Pengolah Limbah.
2. Rancangan unit proses didasarkan pada karakteristik limbah yang paling korosif yaitu dari proses konversi uranium fluorida menjadi ammonium uranil karbonat pada fabrikasi bahan bakar MTR yang mengandung ion fluorida.
3. Unit proses dirancang untuk operasi pengendapan bertingkat, sesuai hasil penelitian untuk limbah fluor tahapannya meliputi pengendapan ion fluorida dengan kalsium hidroksida, sisa ion fluorida dalam beningan dikoagulasikan dengan tawas, dan sisa fluornya diendapkan lagi dengan resin polimer WWS 116.
4. Unit proses hasil rancangan terdiri dari peralatan-peralatan utama sebagai berikut : 2 buah tangki penampung limbah cair mentah kapasitas masing-masing 1 m^3 , 5 buah tangki penampung bahan kimia kapasitas masing-masing $0,5 \text{ m}^3$, 2 buah reaktor pengadukan kapasitas masing-masing $0,5 \text{ m}^3$, 1 buah tangki penampung beningan kapasitas 1 m^3 , dan 1 buah tangki penampung endapan dengan kapasitas 1 m^3 .

DAFTAR PUSTAKA

1. SALIMIN, Z., "Proses Kimia Pengolahan Limbah Korosif Radioaktif dari Fabrikasi Bahan Bakar Nuklir", Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY, Yogyakarta, 25-27 April 1995.
2. BROWN, G.G., "Unit Operation", 14th Ed., John Willey and Sons Inc., 1978.
3. FAIR G.M., et al., "Water and Wastewater Engineering Description", Volume 2, John Willey and Sons Inc., New York, 1968.
4. Mc. CABE W.L., "Unit Operation of Chemical Engineering", 3th Ed., Mc. Graw-Hill, Kogakusha Ltd.
5. IAEA, "Chemical Precipitation Processes for the Treatment of Aqueous Radioactive Waste", Technical Report Series No. 337, Vienna, 1992.
6. PERRY, R.H., "Chemical Engineers Handbook", 6th Ed., Mc. Graw-Hill International Edition, 1984.
7. COULSON, J.M., "Chemical Engineering", Vol. 1, 4th Ed., Pergamon Press Publishing Co., Oxford, 1990.
8. BROWNEL, L.E., "Process Equipment Design, Vessel Design", 1th Ed., John Willey and Sons, Inc., New York, 1959.

TANYA JAWAB

1. Marwoto

- Mohon dijelaskan cara memasukkan bahan kimia dari luar ke dalam tangki yang disebelah atas, apakah menggunakan pompa atau dengan gravitasi ?

Zainus Salimin

- Bahan kimia yang berupa cairan dimasukkan ke dalam tangki penampung dengan menggunakan penampung dan pompa *portable*. Bahan kimia padat dimasukkan langsung ke dalam tangki, kemudian dilakukan pelarutan.

2. Ghaib Widodo

- Kami informasikan kepada Saudara bahwa efluen dari IPEBRR sementara ini konsentrasinya telah diturunkan dari $<50 \text{ mgU/l}$ menjadi $<5 \text{ mgU/l}$.
- Mohon komentar Saudara mengenai perhitungan tentang kriticalitas, karena dalam perancangan tangki dan letak (isometri) tidak disinggung/dibicarakan.

- Mohon dijelaskan bagaimana hasil U yang telah dipungut, apakah akan dikembalikan ke IPEBRR.

Zainus Salimin

- Kami tidak meninjau kadar U, karena yang ingin ditanggulangi adalah aspek korosifitas. Namun demikian, kami bersyukur karena kadar U sekarang menurun menjadi <5 mg/l, sehingga kadar U dalam beningan menjadi semakin kecil.
- Faktor kritikalitas diabaikan tidak diperhitungkan, karena volume limbah yang kami miliki relatif kecil. Selain itu, limbah tersebut kemungkinan akan dicampur dengan limbah lain, yaitu limbah yang sejenis ditinjau secara kimia. Dengan demikian konsentrasi U yang terdapat di dalam limbah relatif kecil sekali
- Hasil U yang telah dipungut akan terkumpul dalam bentuk endapan dan selanjutnya akan dilakukan disolidifikasi.

3. Sucipta

- Mohon penjelasan Saudara mengenai bahan/material dari alat yang akan digunakan untuk mengantisipasi sifat korosif limbah, karena dalam rancangan pengolahan limbah terdapat kandungan F dan alat tersebut akan dioperasikan hampir setiap hari. Selain itu, kita ketahui pula bahwa F akan bersifat korosif. Dengan demikian perlu dipertimbangkan bahan/material yang akan digunakan untuk perancangan alat limbah.

Zainus Salimin

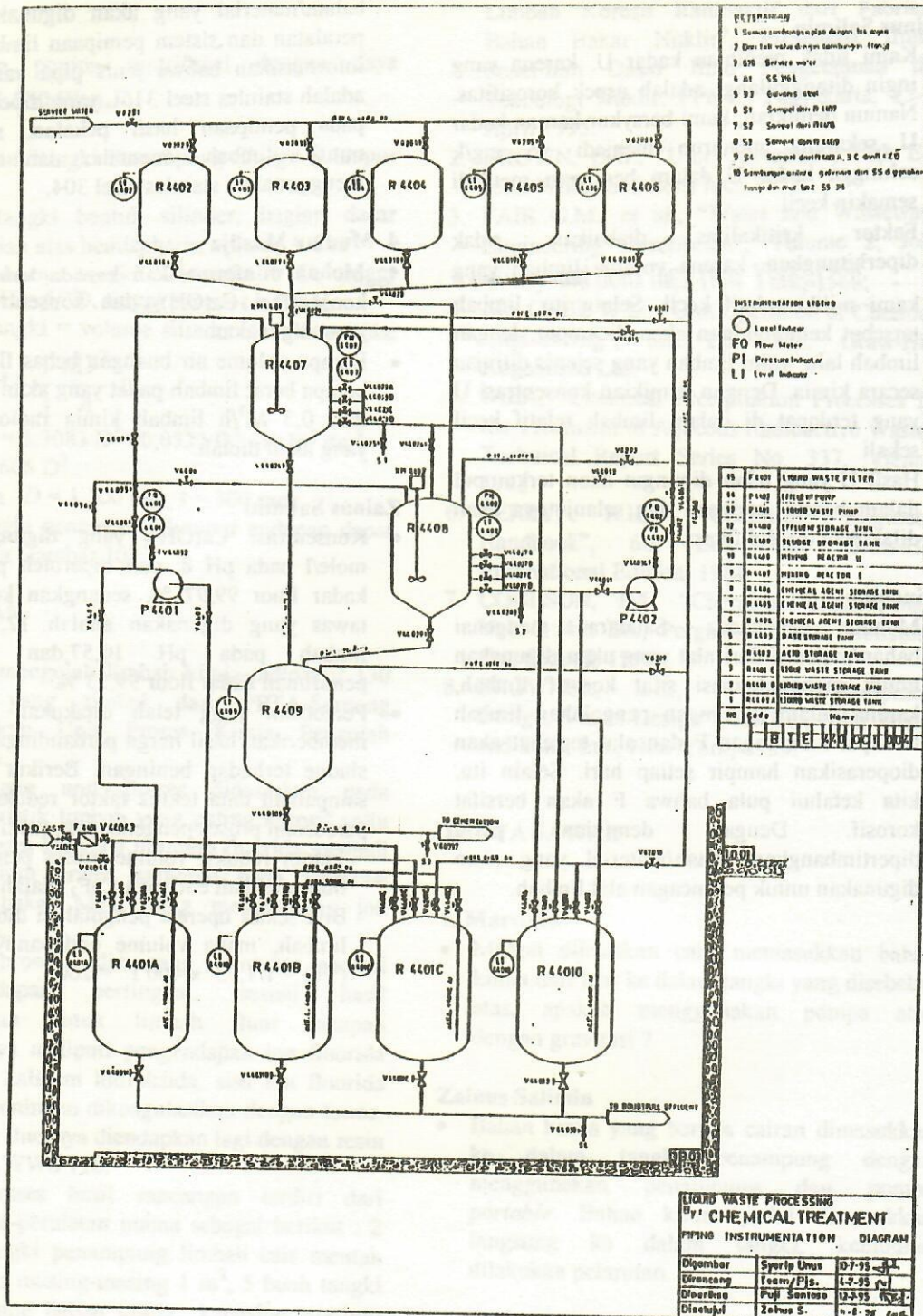
- Pada perancangan pengolahan limbah telah dipertimbangkan tentang penentuan kualitas bahan/material yang akan digunakan untuk peralatan dan sistem pemipaan limbah. Kami informasikan bahwa jenis pipa yang dipilih adalah stainless steel 316L yang diperuntukkan pada pemipaan hasil pekatan, sedangkan untuk limbah mentah dan beningan menggunakan stainless steel 304.

4. Mudiar Masdja

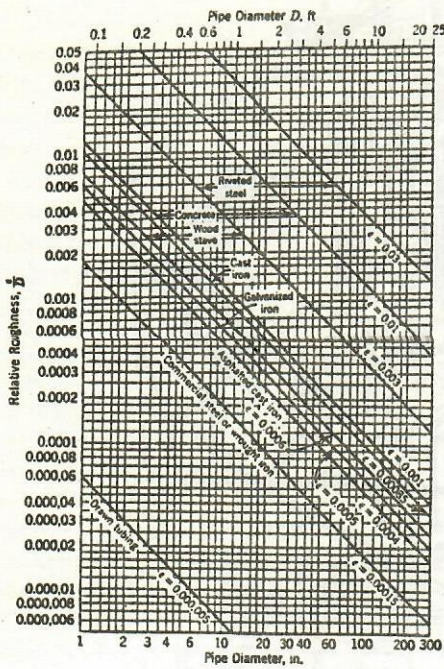
- Mohon diinformasikan kepada kami tentang konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan konsentrasi tawas yang digunakan.
- Berapa volume air buangan bebas florida dan berapa berat limbah padat yang akan diperoleh dari $0,5 \text{ M}^3/\text{h}$ limbah kimia radioaktif cair yang akan diolah.

Zainus Salimin

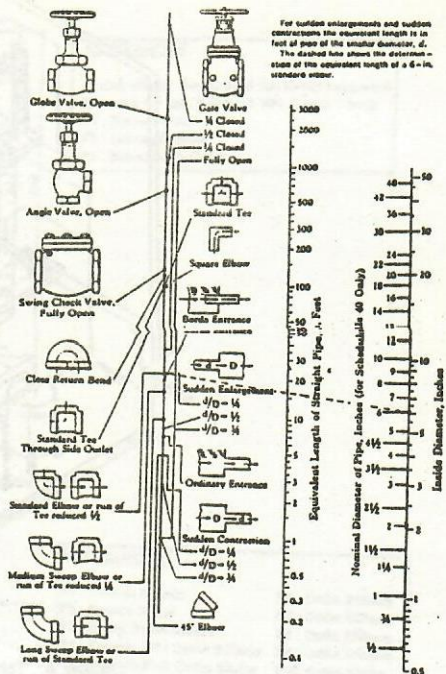
- Konsentrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang digunakan $1,3$ mole/l pada pH 8, dan diperoleh penurunan kadar fluor 99,97 %, sedangkan konsentrasi tawas yang digunakan adalah $12,5 \text{ g}/50\text{ml}$ limbah pada pH 10,57, dan diperoleh penurunan kadar flour 99,53 %.
- Percobaan yang telah dilakukan terdahulu memberikan hasil harga perbandingan volume sludge terhadap beningan. Berikut ini kami sampaikan data teknis faktor reduksi volume percobaan proses pengendapan, yaitu :
 - Faktor reduksi volume proses pengendapan flour menjadi endapan CaF_2 adalah $1,55$
 - Bila sekali operasi pengolahan diolah 400 l limbah, maka volume endapannya adalah $(V_e) = 1/1,55 \times 400 \text{ l} = 260 \text{ l}$.



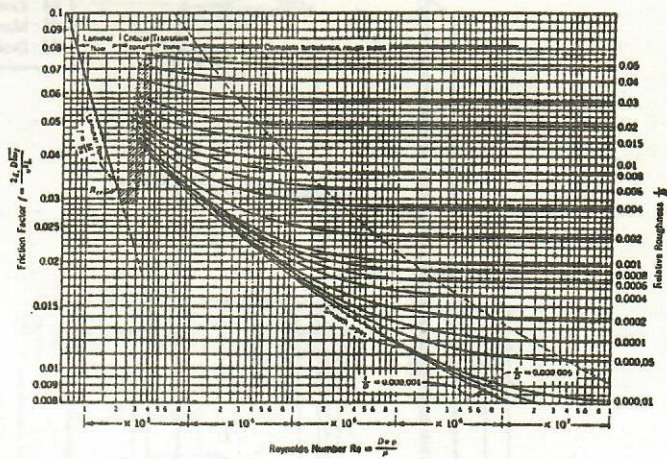
Gambar 2. Diagram proses kimia pengolahan limbah kimia-radioaktif cair



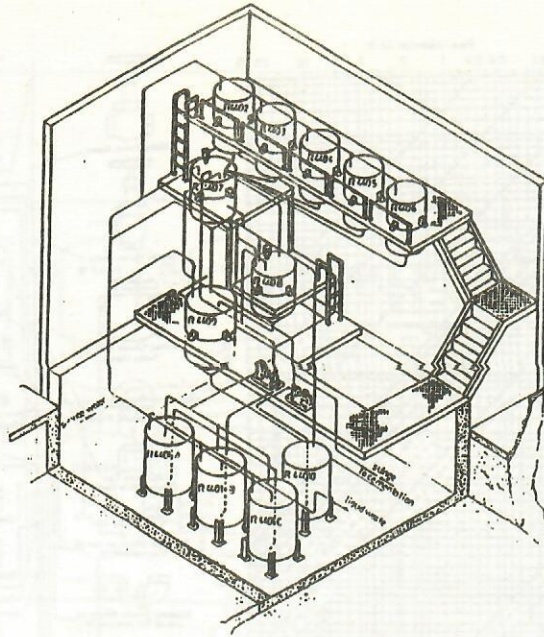
Gambar 3. Harga kekasaran relatif sebagai fungsi dari diameter dan jenis pipa



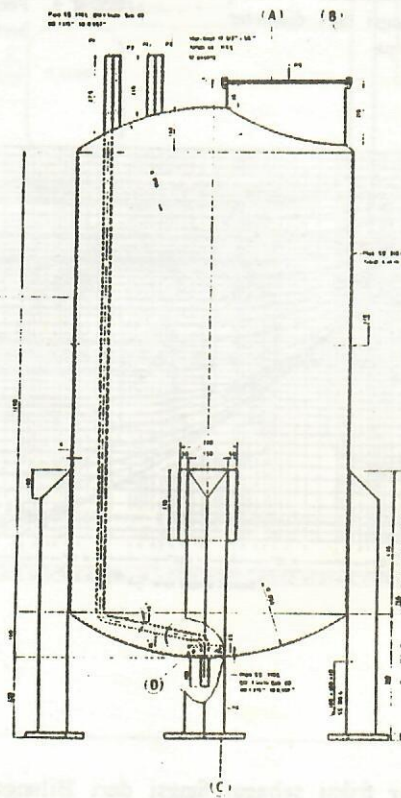
Gambar 4. Panjang ekuivalen valve dan berbagai macam fitting



Gambar 5. Faktor friksi sebagai fungsi dari Bilangan Reynold dengan parameter kekasaran relatif

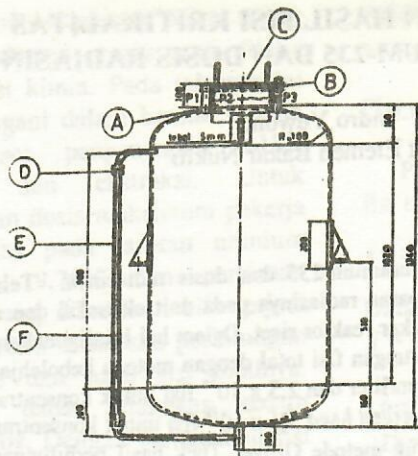


Gambar 6. Tata letak peralatan unit proses pengolahan limbah kimia-radioaktif



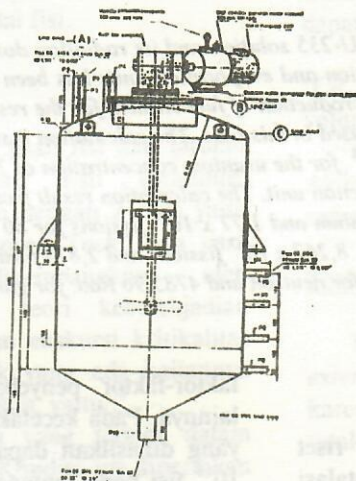
- KETERANGAN :**
- P1 : Penghisapan
 - P2 : Service Water
 - P3 : Limbah Masuk
 - P4 : Resirkulasi
 - P5 : Man Hole
 - P6 : Dramase

Gambar 7. Skema tangki penampung limbah kimia radioaktif cair



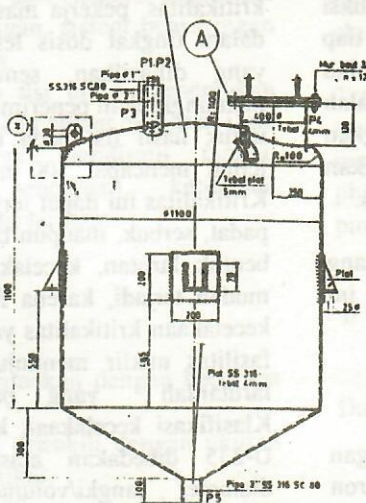
KETERANGAN :
 Bentuk silinder dengan head dan bottom torispherical
 Kapasitas 0,5 m³, Bahan SS 304, Jumlah 3 buah
 P1 : Service Water
 P2 : Lubang Bukam
 P3 : Bahan kimia Outlet

Gambar 8. Skema tangki penampung bahan kimia



KETERANGAN :
 P1 : Limbah Masuk
 P2 : Service Water
 P3 : Bahan Kimia Masuk
 P4 : Recycle P9 : Outlet Effluent
 P5 : Manhole P10: Outlet Sludge
 P6 : Outlet Effluent
 P7 : Outlet Effluent
 P8 : Outlet Effluent
 P9 : Outlet Effluent
 P10: Outlet Sludge

Gambar 9. Skema tangki pengadukan



KETERANGAN :
 P1 : Inlet Sludge
 P2 : Service Water
 P3 : Inlet Sludge
 P4 : Manhole
 P5 : Outlet Sludge

Gambar 10 Skema tangki penampung lumpur endapan