

**PERANCANGAN MIXER SETTLER PADA INVERSI FASE.**

Widiatmo, Djarot S.W)

ABSTRAK

PERANCANGAN MIXER SETTLER PADA INVERSI FASE. Telah dilakukan pra-rancangan "Mixer Settler" Pada Inversi Fase yang dapat digunakan memisahkan uranium dari fase air dengan menggunakan pelarut n-Dodekan dan pemisahan logam berat dari limbah cair. Alat dirancang agar penggunaan pelarut ekonomis tanpa mengurangi efisiensi ekstraksi. Efisiensi ekstraksi tergantung pada dispersi antar fase, proses pembentukan "droplet" dan pemisahan kembali antar fase. Maka alat dirancang terdiri dari tiga bagian penting yaitu kolom pengadukan, alat pembentuk droplet berbentuk "plate" berlubang-lubang serta bagian kolom pegenap sebagai pemisah fase. Alat dioperasikan pada daerah pengadukan laminer, dengan laju air total sebesar 200 ml.detik⁻¹. Bagian pengadukan adalah kolom dengan diameter 5 cm, tinggi 7 cm dengan pengaduk berbentuk "paddle" berdiameter 3 cm, tinggi 1 cm dengan putaran sekitar 300 rpm. Pembentuk "droplet" adalah "perforated plate" berdiameter 5 cm dengan diameter lubang-lubang 1 mm. Pegenap merupakan kolom berdiameter 5 cm, setinggi 50 cm.

ABSTRACT

PRE-DESIGN MIXER-SETTLER BASED ON PHASE INVERSION. The mixer settler was designed to extract uranium from organic phase by n-Dodecane and to separate heavy metal from liquid waste. The mixer settler was designed to save solvent without reducing the extraction efficiency. Extraction efficiency depend on : two phase dispersion on mixing, the type of droplet formation and completeness phase separation. The mixer settler has three main part i.e. mixer chamber, droplet formation device and phase inversion column. Mixer chamber was operated in laminar mixing, the total flow rate 200ml.second⁻¹. The mixer chamber dimensions was 5 cm diameter and 7 cm height. It was completed with paddle mixer 3 cm diameter, 1 cm height and the speed rotation was 300 rpm. The droplet formation device was perforated plate 5 cm diameter with 1 mm holes. Phase Inversion column dimensions was 5 cm diameter and 50 cm height

PENDAHULUAN

Telah banyak tipe "mixer settler" yang dioperasikan dengan keunggulan dan kekurangannya. Untuk menghemat pelarut tanpa mengurangi efisiensi pemisahan dirancang tipe "mixer settler" pada inversi fase dengan sistem sinambung. "mixer settler" pada inversi fase adalah alat yang bekerja berdasarkan ekstraksi cair-cair. Sebagai alat ekstraksi maka keefektifan alat tergantung pada dispersi pencampuran kedua fase, tipe dari pembentukan "droplet" serta kesempurnaan pemisahan fase. Berdasarkan alasan tersebut maka dirancang "mixer settler" yang terdiri atas 3 (tiga) bagian yaitu bagian pencampuran (Mixer chamber), yang merupakan suatu tabung dilengkapi pengaduk, bagian pembentukan tetes cairan yang berupa plate yang berlubang-lubang (Perforated Plate), dengan ukuran dan jumlah lubang tertentu, dan bagian pegenap (settling zone), dimana pemisahan fase terjadi dengan gaya gravitasi.

Pada bagian pengadukan fase organik didispersikan ke fase kontinu dalam hal ini fase air. Karena pengadukan dispersi dalam bentuk butiran halus dengan diameter berukuran mikro meter. Selanjutnya butiran halus dilewatkan ke "Perforated plate" sehingga terbentuk "droplet" (butir tetes) yang berukuran jauh lebih besar, diameter berukuran 1 hingga 3mm.

Dengan menggunakan/memilih pelarut selektif maka alat dapat digunakan untuk pemisahan uranium ataupun logam berat, sehingga alat tersebut dapat dimanfaatkan pada proses pengolahan limbah.

TEORI

Pada bagian pencampuran kedua fase diaduk pada putaran tertentu, agar terjadi dispersi. Besarnya putaran perlu diatur, agar diameter dispersi tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Hal ini mengingat transfer massa, serta kemudahan pemisahan fase pada bagian pegenapan. Pengadukan juga dilakukan

dengan memperhitungkan besarnya putaran minimal, agar fase organik dapat terdispersi ke fase air (putaran kritis). Perhitungan persamaan putaran kritis dapat dilakukan dengan persamaan (1):

$$N_c = K \cdot D^{-\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{\mu_c}{\rho_c} \right)^{\frac{1}{9}} \cdot \left(\frac{\rho_c - \rho_d}{\rho_c} \right)^{0.26} \quad (1)$$

N_c adalah putaran kritis (rpm), K suatu konstanta, D diameter mixer (m), μ_c kekentalan fase kontinu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{detik}^{-1}$).

Kecepatan putar pengadukan sangat berpengaruh terhadap diameter tetes terdispersi. Dengan menaikkan putaran, pada awalnya akan menaikkan efisiensi ekstraksi karena tetes terdispersi makin kecil. Pada daerah putaran tertentu efisiensi ekstraksi konstan dan tetap tinggi, tetapi dengan menaikkan putaran lebih jauh efisiensi ekstraksi malah menurun, dikarenakan diameter tetes terdispersi terlalu kecil, sehingga fase sulit dipisahkan^[3]. Diameter tetes dispersi bila dipengaruhi oleh efek kelembaman dan kekentalan fluida, maka "break up" dari tetes dapat didekati dengan persamaan (1) :

$$d_p = k \cdot \sigma^{\frac{3}{5}} \cdot \rho_c^{-\frac{3}{5}} \cdot n^{-\frac{6}{5}} \cdot d^{\frac{4}{5}} \quad (2)$$

d_p adalah diameter tetes rata-rata (mikro meter), k konstanta tergantung diameter bejana, d diameter pengaduk (cm), n putaran pengaduk (rpm), ρ_c berat jenis fase kontinu ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), σ adalah tegangan muka ($\text{dyne}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Hasil pengadukan yang berupa larutan terdispersi kemudian dilewatkan ke plate berlubang-lubang (perforated plate), agar terbentuk butir tetes cairan. Diameter butir tetes ini jauh lebih besar dibanding butiran dispersi, ukuran butir tetes tergantung dari diameter lubang "plate". Watak dari tetes tersebut dapat ditentukan dengan bilangan tak berdimensi P ^[2]:

$$P = \frac{\rho_c^2 \cdot \sigma^3}{g \cdot \Delta\rho \cdot \mu_c^4} \quad (3)$$

ρ_c berat jenis fase continuous ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), σ adalah tegangan muka ($\text{dyne}/\text{cm}^{-1}$), g adalah gravitasi m/detik^2 , μ_c kekentalan fase continuous ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{detik}^{-1}$).

Bilamana harga P :

$P > 10^{12}$, maka deformasi dari tetes dapat diabaikan.

$P < 10^3$, fase kontinu tetap kental sehingga tetes terdeformasi pada daerah laminair.

$10^7 > P > 10^{11}$, didaerah laminir tetes tetap tidak terdeformasi ("rigid sphere"), dan gerakan mengikuti hukum Stoke.

Ukuran butir tetes cairan yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap kecepatan penganapan. Makin besar ukuran butir tetes makin mudah tetes untuk bergabung kembali, sehingga kecepatan pemisahan makin cepat. Untuk ukuran tetes lebih kecil diperlukan waktu tinggal di "settling zone" yang lebih panjang, sehingga waktu pemisahan besar. Diameter lubang "perforated" 1 mm, dengan "free space" 3 hingga 8% dapat mempertahankan efisiensi ekstraksi dengan baik terhadap perubahan total "flow rate" tinggi^[3].

"Settling zone" adalah bagian yang terpenting dalam menentukan kemampuan "mixer settler" penganap fase. Dalam "settling zone" terdapat tiga lapisan fase, lapisan fase organik yang dianggap sebagai "stagnant liquid", kedua adalah lapisan "interface" dan ketiga adalah lapisan fase kontinu merupakan fase "aqueous". Ketebalan fase organik sangat tergantung pada kecepatan total aliran dan komposisi umpan. Makin tinggi kecepatan aliran semakin tebal lapisan organik. Pada lapisan "interface" butir tetes akan bergerak turun sambil melepaskan fase organik yang terdispersi keluar butir. Fase organik bergerak keatas membentuk lapisan "stagnant liquid", sedangkan fase air turun membentuk fase kontinu. Bila butir tetes

dalam daerah antar fase dapat dianggap sebagai "rigid sphere", maka kecepatan aliran tetes pada "stagnant liquid" di daerah laminer dipengaruhi hukum Stoke^[2]

$$Vt = \frac{g \cdot \Delta \rho \cdot d^2}{18 \mu c} \quad (4)$$

$\Delta \rho$ merupakan perbedaan berat jenis fase kontinu dengan fase organik (kg.m^{-3}), g adalah gravitasi m/detik^2 , μc kekentalan fase kontinu ($\text{kg.m}^{-1}.\text{detik}^{-1}$), Vt kecepatan aliran tetes (m.detik^{-1}).

Panjang daerah pengenapan atau "settling zone" mempengaruhi efektivitas pemisahan fase organik dan fase kontinu dari butir tetes. Hubungan antara konsentrasi bahan yang diekstraksi pada saat butir tetes masuk dan keluar kolom "settling zone" didapat dengan persamaan^[4].

$$Kd = \frac{d}{6 \cdot \Delta t} \cdot \ln\left(\frac{C1}{C2}\right) \quad (5)$$

Kd adalah koefisien transfer masa (cm.detik^{-1}), d diameter butir tetes (cm), Δt waktu dibutuhkan untuk melewati settling zone (detik), $C1$ dan $C2$ adalah konsentrasi masuk dan keluar "settling zone" (mol).

Besaran lain yang perlu diperhitungkan adalah daerah "flooding". Daerah flooding sesungguhnya sangat sulit diprediksi, untuk itu dapat digunakan pendekatan daerah flooding sebagai fungsi dari "hold up", dimana flooding terjadi pada harga "hold up" maksimum^[2]

$$\phi_e = \frac{3Lr - (Lr^2 + 8Lr)^{0.5}}{4(Lr - 1)} \quad (6)$$

Lr adalah perbandingan kecepatan aliran fase dispersi terhadap fase kontinu, ϕ_e "flooding hold up".

PERHITUNGAN RANCANGAN

Besaran fisis dari fase kontinu dan fase dispersi yang diperlukan dalam perhitungan rancangan disajikan dalam Tabel 2. Besaran koefisien transfer masa uranium dari fase air ke n-Dodekane (Kd) belum didapatkan. Asam nitrat adalah asam yang selalu menyertai limbah uranium dari hasil fabrikasi bahan bakar nuklir. Sedangkan H_3O^+ dari asam nitrat sangat potensial berkompetisi dalam ekstraksi dengan uranium, maka perhitungan prarancangan didasarkan pada besaran transfer masa dari asam nitrat. Kd asam nitrat pada kisaran konsentrasi 1N hingga 4N, didapat dari percobaan di laboratorium BTPL oleh Djarot S.W. sebesar $0,011 \text{ cm.detik}^{-1}$ ^[6]. Dari pertimbangan "hold up" saat pengadukan serta volume bejana pengadukan, maka laju alir total ditentukan sebesar $200 \text{ ml.detik}^{-1}$ terdiri atas laju alir fase organik sebesar 31 ml.detik^{-1} dan fase kontinu sebesar $169 \text{ ml.detik}^{-1}$. Perhitungan putaran minimum agar dapat terjadi dispersi digunakan persamaan putaran kritis persamaan (1). Harga K tergantung dari jenis pengaduk, untuk pengaduk jenis "padle" sebesar 200. Penggunaan pengaduk dengan diameter 3 cm didapat harga putaran kritis sebesar 300 rpm. Penggunaan "Perforated plated" berdiameter 5 cm, dengan diameter lubang "plate" sebesar 1 mm berdasarkan pengamatan di laboratorium menghasilkan diameter butir tetes setelah lewat "perforated plate" berkisar antara 2 hingga 3 mm. Harga bilangan tak berdimensi P dapat dihitung dengan persamaan (3) terhitung $1,9 \cdot 10^{19}$, berarti deformasi butir tetes dapat diabaikan. Untuk mempermudah perhitungan, butir tetes dianggap memenuhi teori "Rigid Sphere". Kecepatan butir tetes dalam "settling zone" dapat dihitung dengan hukum Stoke pada persamaan (4), sebesar $0,74 \text{ m.detik}^{-1}$. Panjang dan diameter kolom pengenapan atau "settling zone" ditentukan sepanjang 50 cm dan 5 cm. Waktu tinggal butir tetes dalam "settling zone" (Δt) dapat dihitung sekitar 0,7 detik., sehingga dengan persamaan (5) dapat ditentukan efektivitas ekstraksi. Asam nitrat dapat terekstraksi dari urupan sebesar 68%. Jumlah siklus pengaliran n-Dodekane sangat tergantung pada kapasitas n-Dodekane pada tangki persediaan, hal tersebut akan ditentukan kemudian.

HASIL DAN BAHASAN

Kecepatan putaran pengaduk sangat berpengaruh terhadap diameter hasil dispersi. Hasil perhitungan putaran minimum agar terjadi dispersi dapat ditentukan sekitar 300 rpm. Dengan mengatur besarnya putaran maka dapat diatur diameter dispersi agar tidak terlalu kecil. Diameter dispersi yang terlalu kecil akan memperlambat proses pengendapan, sedangkan diameter dispersi yang besar merugikan transfer massa antar fase. Hasil dispersi dengan ukuran butir berdiameter 150 μm serta mempunyai perbedaan berat jenis kedua fase sebesar 100 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ maka disarankan agar "out put" dari pemisahan sebaiknya kurang dari 4,3 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jam}^{-1}$ ⁽³⁾.

Pada pra rancangan ini total laju alir adalah 200 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$, terdiri dari fase organik atau fase "dispersi" sebesar 31 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$ dan fase kontinu 169 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$. Dengan panjang "settling zone" sebesar 50 cm diharapkan pemisahan mencapai 68%.

Keefektifan dari "perforated plate" tergantung "wet ability" dari bahannya. Bahan dipilih berdasarkan jenis fase kontinu. Untuk fase kontinu organik dapat digunakan bahan Teflon, sedang untuk fase air dipilih stainless steel, maka bahan "perforated plate" dipilih stainless steel. Diameter lubang "perforated" mempengaruhi diameter tetes, hal ini akan sangat berpengaruh terhadap panjang "settling zone" yang dibutuhkan. Banyaknya lubang pada "plate" berpengaruh terhadap transfer massa, terutama pada kecepatan aliran total yang tinggi. Dengan jumlah lubang 3 hingga 8% dari "free space" perubahan tersebut dapat diabaikan⁽³⁾.

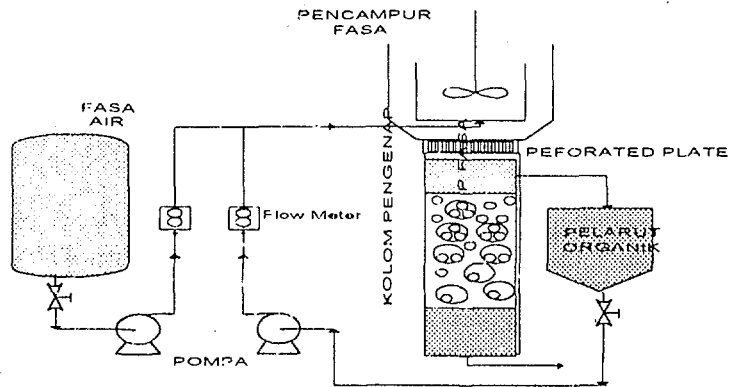
Panjang "settling zone" secara tepat sangat sulit diperkirakan. Hal ini disebabkan kecepatan aliran, ukuran butir terdispersi, ukuran butir setelah melewati "perforated plate" dan transfer massa saling berkaitan serta kompleks. Sehingga belum ditemukan persamaan guna menghitung panjang "settling zone" secara tepat. Mengingat hal tersebut maka disain alat secara tepat sulit dilakukan. Pada tahap awal perlu ditiru alat "mixer settler" pengendap fase dari alat yang ada di pustaka, tanpa perubahan dimensi, sedangkan jenis pengaduk disesuaikan dengan pengaduk yang digunakan untuk pencampuran cair-cair dengan viskositas yang tidak terlalu tinggi, dalam hal ini dapat digunakan bentuk "paddle". Alat dicperasikan, serta dipelajari karakteristiknya, agar dapat dilakukan modifikasi sesuai kebutuhan.

SIMPULAN

Laju alir umpan total sebesar 200 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$, terdiri atas laju alir fase organik sebesar 31 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$ dan fase kontinu 169 $\text{ml} \cdot \text{detik}^{-1}$. Fase kontinu adalah fase "aqueous", sehingga bahan perforated plate dipilih "stainless steel", dengan diameter lubang 1 mm dan jumlah lubang 3 hingga 8% dari "free space". Kecepatan putaran lebih besar dari 300 rpm. Panjang zone settling 50 cm efisiensi pemisahan diharapkan sekitar 68%. Ukuran dari rancangan "mixer settler" pengendap fase disajikan dalam Tabel 1.

DAFTAR ACUAN

1. SHINJI NAGATA, "Mixing, Principle of mixing", Kodansha Ltd. John Wiley & Son, Tokyo, New York (1975), 229-308.
2. KADDOUR NAJIM, "Process Modeling and Control in Chemical Engineering", Marcel Dekker Inc., New York and Bessel (1989), 232-249.
3. Hajiev et. Al, "Mixer Settler Based on Phase Inversion", Institut National des Sciences Appliquees, departement du Genie des Proceedes, Complexe Scientifique de Rangueil, Toulouse (1993), 65-72.
4. SUYITNO, "Karakteristik Kolom Pulsa dengan Baffle Plate tipe Baru", Doctor Thesis, Institut Teknologi Bandung (1993).
5. Djarot SW, "Analisis pengaduk inversi fasa", prosiding Hasil Penelitian Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif (1995/1996), 1-11



Gambar 1. Diagram Rangkaian Mixer Settler Pengecap Fase

Tabel 1. Ukuran Mixer Settler Pengecap Fase

| MIXER CHAMBER | |
|--------------------|-------------------------|
| KOLOM MIXER | |
| Bahan | Gelas |
| Tebal | 5 mm |
| Tinggi | 7 cm |
| Diameter | 5 cm |
| KOLOM LUAR | |
| Bahan | Gelas |
| Tebal | 5 mm |
| Diameter | 10 cm |
| PENGADUK | |
| Bentuk Padle n = 4 | |
| Tinggi | 1 cm |
| Diameter | 3 cm |
| Putaran | 300 - 1200 rpm |
| PERFORATED PLATE | |
| Bahan | Stainless Steel |
| Tebal | 1 mm |
| Diameter plate | 5 cm |
| Jumlah Lubang | 3 - 8 % dari free Space |
| Diameter lubang | 1 mm |
| SETTLING ZONE | |
| Diameter | 5 cm |
| Panjang | 50 cm |
| Tebal | 5 mm |
| PEMIPAAN | |
| Diameter dalam | 0.5 cm |
| Diameter luar | 1 cm |

Tabel 2. Data fisika fase kontinu dan dispersi

| | Fase kontinu | fase dispersi |
|---|---------------|---------------|
| Kekentalan ($\text{kg.m}^{-1}.\text{detik}^{-1}$) | $7,5.10^{-4}$ | $2,5.10^{-3}$ |
| Berat jenis (Kg.m^{-3}) | 1000 | 750 |
| Surface tension (dyne.cm^{-1}) | | 24,9 |