

Model Persamaan Faktor Koreksi pada Proses Sedimentasi dalam Keadaan *Free Settling*

Roessiana D L; Setiyadi dan Sandy BH

Jurusan Teknik Kimia
Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
Email: setwmtk@gmail.com

Abstrak

Sedimentasi adalah proses pengendapan padatan yang terkandung dalam cairan oleh gaya gravitasi. Pada umumnya proses sedimentasi dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi, tujuannya adalah untuk memperbesar partikel padatan agar menjadi lebih berat dan dapat tenggelam dalam waktu lebih singkat. Ukuran dan bentuk partikel mempengaruhi rasio permukaan terhadap volume partikel sedangkan konsentrasi partikel mempengaruhi pemilihan tipe bak sedimentasi. Semua factor ini mempengaruhi kecepatan mengendap partikel pada sedimentasi, karena itu membutuhkan kecepatan turunnya partikel untuk mendesain bak sedimentasi yang efektif dan efisien.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkirakan bentuk persamaan empiric yang merupakan faktor koreksi sebagai fungsi konsentrasi slurry mula-mula serta diameter partikel. Persamaan faktor koreksi dibuat berdasarkan data hasil perhitungan dari persamaan Stokes-Newton, Farag, Fergusson-Church serta persamaan Gibbs-Mathew-Link ternadap data percobaan. Percobaan yang dilakukan adalah mula-mula gamplek dihancurkan kemudian dicampur air lalu dimasukkan ke dalam tabung kaca setinggi 100 cm. Tinggi lapisan padatan yang turun ke bawah dicatat tingginya tiap 3 menit, pencatatan dihentikan setelah beda tinggi lapisan padatan yang diukur tiap 3 menit sudah mulai menurun. Percobaan dilakukan dengan menvariasikan konsentrasi tepung tapioka dalam umpan dari 0,5% sampai 5%, serta diameter partikel antara 0,057 mm sampai 0,1245 mm.

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa persamaan F yang paling cocok adalah bila dikalikan dengan Farag Law dengan persamaan $F = 480.941 \cdot X_1^{(0,0751)} \cdot X_2^{(1,7777)}$. Jadi persamaan kecepatan sedimentasi yang paling baik adalah :

$$v = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho_f)\epsilon_f^2}{18\mu_f b} \cdot F$$

Kata Kunci : *Sedimentasi, kecepatan sedimentasi, faktor koreksi*

A. PENDAHULUAN

Salah satu cara pemisahan antara padatan dengan cairan dari suatu *slurry* dapat dilakukan secara sedimentasi. Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan padatan dalam cairan karena adanya gaya gravitasi. Ketika suatu partikel padatan berada pada jarak yang cukup jauh dari dinding atau partikel padatan lainnya kecepatan jatuhnya tidak dipengaruhi oleh gesekan dinding maupun dengan partikel lainnya, peristiwa ini disebut *free settling*. Ketika partikel padatan berada pada keadaan saling berdesakan maka partikel akan mengendap pada kecepatan rendah, peristiwa ini disebut *hindered settling* (Geankoplis, 2003). Akibat dari hal ini, pada proses sedimentasi kecepatan endapan yang turun ke bawah semakin lama semakin lambat, sehingga untuk memperoleh hasil sedimentasi sampai proses pengendapan berhenti memerlukan waktu yang cukup lama. Guna

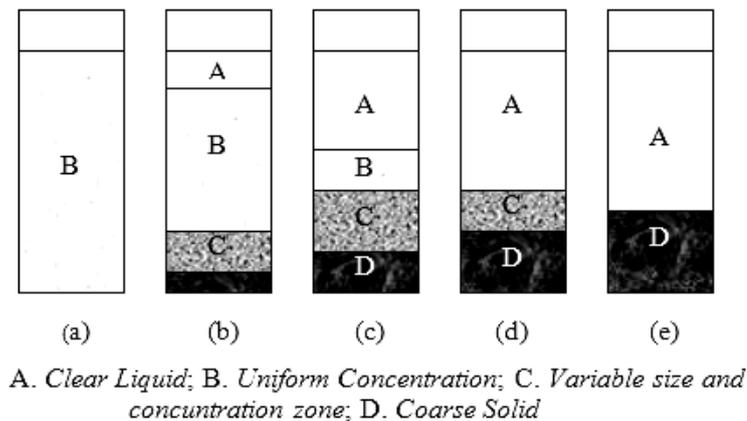
menghasilkan proses sedimentasi yang optimum perlu menentukan waktu pengendapan yang efektif. Proses sedimentasi banyak terjadi pada proses penjernihan air, pengolahan limbah, maupun erosi. Pada umumnya proses sedimentasi dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi, tujuannya adalah untuk memperbesar partikel padatan sehingga menjadi lebih berat dan dapat tenggelam dalam waktu lebih singkat. Ukuran dan bentuk partikel akan mempengaruhi rasio permukaan terhadap volume partikel, sedangkan konsentrasi partikel mempengaruhi pemilihan tipe bak sedimentasi, serta temperatur mempengaruhi viskositas dan berat jenis cairan. Semua faktor ini mempengaruhi kecepatan pengendapan partikel pada bak sedimentasi. Karena itu membutuhkan kecepatan turunnya partikel guna mengetahui proses sedimentasi yang efektif dan efisien. Waktu pengendapan yang efektif dapat diasumsikan sebagai batas saat terjadi perubahan pengendapan dari *free settling* ke *hindered settling*, sehingga proses pengendapan yang efektif terjadi pada keadaan *free settling*. Cara menentukan kecepatan pengendapan dalam keadaan *free settling*, dapat dilakukan dengan persamaan Stokes-Newton, Farag, Ferguson-Church, maupun dengan persamaan Gibbs-Mathew-Link. Namun semua persamaan tersebut akan menghasilkan ralat yang besar, sehingga memerlukan suatu metode guna memperoleh hasil perhitungan dengan ralat yang kecil (Setiyadi, 2013). Salah satu cara yang dapat dilakukan dengan menentukan faktor koreksi lalu dikalikan ke dalam setiap persamaan tersebut. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk membuat persamaan faktor koreksi agar dapat menghasilkan ralat yang kecil bila perhitungan menggunakan persamaan Stokes-Newton, Farag, Ferguson-Church, serta persamaan Gibbs-Mathew-Link.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Mekanisme Sedimentasi

Tahapan sedimentasi dideskripsikan dengan observasi pada tes batch settling ketika partikel-partikel padatan mengendap dari suatu slurry dalam silinder kaca (Foust, 1980). Gambar 1.(a) menunjukkan *slurry* dalam silinder dengan konsentrasi padatan yang seragam. Seiring dengan berjalannya waktu, partikel-partikel padatan mulai mengendap dan laju mengendapnya partikel tersebut diasumsi sebagai *terminal velocity*. Pada Gambar 1.(b) terdapat beberapa zona konsentrasi. Daerah D didominasi endapan partikel-partikel padatan yang lebih berat dan lebih cepat mengendap. Pada zona C terdapat partikel dengan ukuran yang berbeda-beda dan konsentrasi yang tidak seragam. Daerah B adalah daerah dengan konsentrasi yang seragam dan hampir sama dengan keadaan mula-mula. Pada daerah B ini partikel-partikel turun dengan bebas hambatan dan terjadi proses *free settling*. Di atas daerah B adalah daerah A yang berupa liquid jernih. Jika sedimentasi

dilanjutkan, tinggi dari tiap daerah bervariasi seperti pada Gambar 1.(c) dan Gambar 1.(d). Daerah A dan D semakin luas, sebanding dengan berkurangnya daerah B dan C. Pada akhirnya daerah B dan C akan hilang dan semua padatan terdapat pada daerah D sehingga hanya tersisa daerah A dan D. Keadaan seperti ini disebut dengan “*Critical Settling Point*” (Gambar 1.(e), yaitu keadaan dimana terbentuk bidang batas tunggal antara *liquid* jernih dan endapan.



Gambar 1. Tahapan Proses Pengendapan

Kecepatan Sedimentasi

Pada proses pengendapan dalam keadaan *free settling*, model persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kecepatan penurunan partikel pada proses sedimentasi adalah sebagai berikut:

1. Stokes- Newton Law

Jika sebuah partikel turun di dalam fluida karena gaya gravitasi, maka kecepatan pengendapan akan tercapai apabila jumlah dari gaya friksi (*drag force*) dan gaya apung (*buoyancy*) sebanding dengan gaya gravitasi benda (Sukardjo, 2004).

Persamaan kecepatan pengendapan adalah sebagai berikut :

$$v_s = \frac{gD_s^2(\rho_s - \rho)}{18\mu} \quad (1)$$

Dimana v_s adalah kecepatan pengendapan, g percepatan gravitasi, D_s diameter partikel, ρ_s densitas partikel, ρ densitas cairan, dan μ viskositas cairan.

2. Persamaan Farag

Farag merumuskan suatu persamaan untuk kecepatan sedimentasi dengan variabel konsentrasi cairan. Persamaannya dapat dirumuskan (Farag, 1996):

$$v = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho_f)\epsilon_f^2}{18\mu_f b} \quad (2)$$

3. Persamaan Fergusson-Church

Persamaan kecepatan pengendapan dapat dirumuskan (Ferguson, 2004)

$$v_s = \frac{\rho_s g D^2}{18\mu + \sqrt{0,3\rho_s \rho g D^3}} \quad (3)$$

Dimana v_s adalah kecepatan pengendapan, g percepatan gravitasi, D diameter partikel, ρ_s densitas partikel, ρ densitas air, dan μ viskositas air.

4. Persamaan Gibbs-Mattew-Link

Persamaan ini mengungkapkan hubungan antara ukuran partikel berbentuk bola dan kecepatan free settlingnya untuk berbagai temperatur, viskositas dan kepadatan bola. Untuk menghitung kecepatan pengendapan partikel berbentuk bola dari berbagai ukuran, dengan menggunakan pengolahan data yang diubah kedalam persamaan empiris memberikan hasil di bawah ini,

$$v = \frac{-3\eta + \sqrt{9\eta^2 + gr^2 \rho_f (\rho_s - \rho_f) (0.015476 + 0.19841r)}}{\rho_f (0.011607 + 0.14881r)} \quad (4)$$

Dimana v kecepatan pengendapan, η viskositas fluida, g percepatan gravitasi, ρ_f densitas fluida, ρ_s densitas solid dan r jari-jari partikel.

Persamaan Linierisasi Faktor Koreksi.

Hubungan antara waktu pengendapan dan tinggi endapan akan membentuk grafik yang serupa pada semua proses sedimentasi, sehingga data-data pada proses sedimentasi dapat diubah ke dalam bentuk persamaan matematika yang serupa. Bila data dibuat kurva dan bisa dianggap menunjukkan bentuk garis lurus maka bentuk linier yang diperoleh dapat dengan mudah dibawa ke bentuk hubungan kurva dari peubah asalnya. Cara linierisasi hubungan kurva dari data ini banyak dipakai dalam menentukan bentuk persamaan empiric (Tyoso, 1991). Persamaan empirik yang dapat diselesaikan secara linierisasi diantaranya adalah :

$$F = a + bX \quad (5)$$

$$F = a.X^b \quad (6)$$

$$F = ae^{b.x} \quad (7)$$

$$F = a.b^x \quad (8)$$

$$F = a + \frac{b}{X} \quad (9)$$

C. METODE PENELITIAN

Cara percobaan yang dilakukan adalah mula-mula galek dihancurkan kemudian diayak hingga memperoleh ukuran butir-butir tepung sesuai variabel yang digunakan. Mencampur air, zat pewarna, dan serbuk galek dalam tangki, kemudian diaduk sampai homogen lalu dimasukkan ke dalam tabung kaca setinggi 100 cm. Tinggi lapisan padatan yang turun ke bawah dicatat tingginya tiap 3 menit, pencatatan dihentikan setelah beda tinggi lapisan padatan tiap 3 menit sudah mulai menurun. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi tepung tapioka dalam umpan yaitu 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% serta ukuran diameter partikel yang digunakan yaitu 80-100mesh, 100-120mesh, 120-140mesh, 140-170mesh, dan 170-200 mesh.

D. ANALISA

Karena penelitian memvariasikan 2 variabel yaitu konsentrasi zat yang akan diendapkan dan diameter partikel maka persamaan (5) sampai (9) diubah menjadi sebagai berikut :

$$F = a + b_1 . X_1 + b_2 . X_2 \quad (10)$$

$$F = a . X_1^{b_1} + . X_2^{b_2} \quad (11)$$

$$F = a . e^{b_1.X_1} . e^{b_2.X_2} \quad (12)$$

$$F = a . b_1^{X_1} . b_2^{X_2} \quad (13)$$

$$F = a + \frac{b_1}{X_1} + \frac{b_2}{X_2} \quad (14)$$

Dimana X_1 adalah konsentrasi galek dalam umpan dan X_2 adalah diameter partikel.

Cara perhitungan parameter a , b_1 , dan b_2 dilakukan dengan cara mula-mula menghitung kecepatan sedimentasi dengan memakai persamaan Stoke's-Newton pada persamaan (1) misal harga yang dihitung = v_1 . Menghitung kecepatan sedimentasi pada hasil percobaan dengan memakai persamaan

$V_n = (Z_n - Z_{n-1})/180$ Dimana Z adalah tinggi lapisan endapan serbuk gaplek pada percobaan serta n adalah nomor data percobaan. Perhitungan hanya digunakan harga $Z_n - Z_{n+1}$ masih dapat dianggap sama. Harga kecepatan sedimentasi dari data percobaan $v_x = (\sum V_x)/n$. Harga F dihitung dengan cara $F = v_x/v_1$. Harga F ini kemudian dimasukkan ke persamaan (10) sampai (14) guna memperoleh harga a , b_1 , dan b_2 . dengan metode regresi linier ganda. Perhitungan ini diulang kembali namun menggunakan persamaan Farag, Fergusson-Church, serta persamaan Gibbs-Matthew-Link.

E. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Percobaan ini dilakukan dengan variasi diameter partikel antara 0,057 mm sampai 0,1245 mm serta variasi konsentrasi dari 0.5% - 5%.

Dalam percobaan ini, persamaan yang digunakan adalah persamaan Stokes-Newton Law, Farag Law, Fergusson-Church, dan persamaan Gibb-Matthew-Link. Untuk menyesuaikan persamaan-persamaan ini data yang digunakan dalam percobaan hanya data pada saat *free settling*. Pada *free settling*, gesekan antar partikel tidak berpengaruh terhadap kecepatan sedimentasi, sehingga kecepatan sedimentasi memiliki mekanisme yang sama dengan gerak jatuh bebas. Persamaan Stokes-Newton Law, Fergusson-Church, dan persamaan Gibb-Matthew-Link menggunakan prinsip gerak jatuh bebas sebagai dasar teorinya. Dari hasil percobaan yang berupa perhitungan a , b_1 , b_2 dan R^2 yang didapatkan hubungan antara diameter partikel serta konsentrasi mula-mula terhadap F . M Persamaan linier yang didapatkan dengan menggunakan *sigmaplot* disajikan pada tabel pada 1 sampai tabel 5 dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Bentuk Persamaan $F = a + b_1.X_1 + b_2.X_2$

No.	Untuk Persamaan dari Literature	Persamaan dari hasil Penelitian	Harga R^2
1	Stoke-Newton Law	$F = 0,1061 + 180,87X_1 - 0,0171X_2$	0,3022
2	Farag Law	$F = -23,5039 - 803,067X_1 - 208,4206X_2$	0,8148
3	Fergusson-Church Law	$F = 0,0676 + 338,25X_1 - 0,0147X_2$	0,4251
4	Gib-Matthew-Link Law	$F = -0,6256 + 53,540X_1 - 59,7150X_2$	0,4979

Tabel 2. Bentuk Persamaan $F = a.X_1^{b_1}.X_2^{b_2}$

No.	Untuk Persamaan dari Literature	Persamaan dari hasil Penelitian	Harga R^2
1	Stoke-Newton Law	$F = 1,0798 \times 10^{-4} . X_1^{(-0,3582)} . X_2^{(-0,1721)}$	0,0389
2	Farag Law	$F = 480.941 . X_1^{(0,0751)} . X_2^{(1,7777)}$	0,9395
3	Fergusson-Church Law	$F = 0,0383 . X_1^{(0,1616)} . X_2^{(-0,4619)}$	0,5134
4	Gib-Mattew-Link Law	$F = 1.695.011 X_1^{(1,6413)} . X_2^{(-0,4619)}$	0,7336

Tabel 3. Bentuk Persamaan $F = ae^{X_1.b_1}.ae^{X_2.b_2}$

No.	Untuk Persamaan dari Literature	Persamaan dari hasil Penelitian	Harga R^2
1	Stoke-Newton Law	$F = 0,1069 . e^{X_1.(-2,771,8461)} . 0,1069 . e^{X_2.(-12,2302)}$	0,0568
2	Farag Law	$F = 23,4084 . e^{X_1.(1,173,1193)} . 3,4084 . e^{X_2.(82,3674)}$	0,7895
3	Fergusson-Church Law	$F = 0,0745 . e^{X_1.(2,703,1008)} . 0,0745 . e^{X_2.(23,4476)}$	0,5256
4	Gib-Mattew-Link Law	$F = 0,7057 . e^{X_1.(19,568,5068)} . 0,7057 . e^{X_2.(-23,4476)}$	0,7641

Tabel 4. Bentuk Persamaan $F = a.b_1^{X_1}.b_2^{X_2}$

No.	Untuk Persamaan dari Literature	Persamaan dari hasil Penelitian	Harga R^2
1	Stoke-Newton Law	$F = 0,1069 . e^{X_1.(-2,771,8461)} . 0,1069 . e^{X_2.(-12,2302)}$	0,0568
2	Farag Law	$F = 23,4084 . e^{X_1.(1,173,1193)} . 3,4084 . e^{X_2.(82,3674)}$	0,7895
3	Fergusson-Church Law	$F = 0,0745 . e^{X_1.(2,703,1008)} . 0,0745 . e^{X_2.(23,4476)}$	0,5256
4	Gib-Mattew-Link Law	$F = 0,7057 . e^{X_1.(19,568,5068)} . 0,7057 . e^{X_2.(-23,4476)}$	0,7641

Tabel 5. Bentuk Persamaan $F = a + \frac{b_1}{X_1} + \frac{b_2}{X_2}$

No.	Untuk Persamaan dari Literature	Persamaan dari hasil Penelitian	Harga R^2
1	Stoke-Newton Law	$F = 0,0556 - \frac{4,5875 \times 10^{-7}}{X_1} + \frac{0,0004}{X_2}$	0,2523
2	Farag Law	$F = 728,6254 + \frac{0,0025}{X_1} - \frac{4,4284}{X_2}$	0,5823
3	Fergusson-Church Law	$F = 0,0577 - \frac{1,9350 \times 10^{-6}}{X_1} + \frac{0,0004}{X_2}$	0,4069
4	Gib-Mattew-Link Law	$F = 7,0942 - \frac{0,0005}{X_1} + \frac{0,0192}{X_2}$	0,4490

Dari hasil percobaan yang didapatkan bahwa semakin kecil ukuran partikel yang digunakan maka membutuhkan waktu sedimentasi semakin lama karena kecepatan beda yang jatuh bebas dipengaruhi oleh massa partikel. Semakin kecil konsentrasi maka kecepatan sedimentasi makin besar karena peluang tumbukan antar partikel makin kecil.

Dari tabel 1 sampai tabel 5 di atas memberikan hasil bahwa dari semua metode persamaan yang ada, hasil pengolahan data menunjukkan bahwa persamaan Farag Law mempunyai harga R^2 yang paling besar, berarti dari semua tabel persamaan F yang paling cocok bila digabungkan dengan persamaan faktor koreksi adalah persamaan Farag Law. Dari semua tabel tersebut harga R^2 terbesar terjadi pada tabel 2. dengan bentuk persamaan $F = a.X_1^{b_1}.X_2^{b_2}$ dengan $R^2 = 0,9395$. Berarti persamaan kecepatan sedimentasi yang paling baik adalah :

$$V = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho_f)\varepsilon_f^2}{18\mu_f b} \cdot F \text{ dengan } F = 480.941 \cdot X_1^{(0,0751)} \cdot X_2^{(1,7777)}.$$

KESIMPULAN

Dari percobaan ini, dapat ditarik kesimpulan:

1. Untuk persamaan F yang paling cocok adalah metode Farag Law dengan persamaan

$$F = 480.941 \cdot X_1^{(0,0751)} \cdot X_2^{(1,7777)}.$$

2. Persamaan kecepatan sedimentasi yang paling baik adalah

$$V = \frac{gd_p^2(\rho_s - \rho_f)\varepsilon_f^2}{18\mu_f b} \cdot F$$

DAFTAR PUSTAKA

- Farag I., 1996, *Fluid Flow*, East Williston, New York
- Fergusson R.I. and Church M., 2004, *Journal of Sedimentary Research*, p.p. 933-937.
- Foust A.S., 1980, *Principle of Unit Operation*, 4 ed., John Wiley and Sons, New York
- Geankoplis, C.J., 2003, *Transport Processes and Separation Process Principles*, 4 ed., Pearson Education International, Boston
- Gibbs, R.J., Matthews, M.D, and Link, DA., 1971, *The Relationship between sphere size and settling velocity* : *Journal of Sedimentary Petrology*, Volume. 41, No. 1, p.p. 7-18.

Setiyadi, 2013, *Prediksi Kecepatan Sedimentasi dalam Keadaan Free Settling*, Seminar Nasional Teknik Kimia Subardjo Brotohardjono X, UPN Veteran, Surabaya.

Sukardjo, 2004, *Kimia Fisika*, cetakan ke 3, PT. Rineka Cipta, Jakarta.

Tyoso B.W., 1991, *Bahan Penataran Pengolahan Data Secara non Statistik*, PT. Pupuk Sri Wijaya, Palembang.