

STUDI PENGARUH WAKTU PENGENDAPAN DAN KONSENTRASI AWAL PARTIKEL PADAT LIMBAH DARI OUTLET FLOKULATOR TERHADAP EFISIENSI PENGENDAPAN LIMBAH PADA SISTEM UTILITAS PUSRI-III

STUDY ON THE INFLUENCE OF SETTLING TIME AND INITIAL CONCENTRATION OF SOLID PARTICLES FROM FLOCCULATOR WASTE OUTLET TO SETTLING EFFICIENCY IN PUSRI-III UTILITY SYSTEM

Sri Haryati

Program Studi Teknik Kimia, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya

e-mail: haryati_djoni@yahoo.co.id

Abstract

Sludge from flocculator outlet of PUSRI-III settles along the channel and generates a problem in wastewater treatment. Aims of this research were to obtain sedimentation characteristics and variables which influenced sedimentation efficiency and to minimize slurry flow into the biological pond. This research was conducted using vertical sedimentation steel column of 10 inch diameter and 4.50 m long. A 0.50 inch valve was installed as sampling tool along the pipe in every 500 mm distant. Settling efficiency was measured at retention time range of 10-50 minutes using initial concentrations of solid particles of 400, 420, 440, 460, and 480 mg/L. Results of this study showed that settling efficiency could reach 60%-80% in retention time range of 20-40 minutes. Sedimentation rate of solid particles was not significantly influenced by the variation of initial concentration of solid particles. Results from this research can be used as a reference for sedimentation column design at flocculator outlet.

Keywords: depth of column, flocculant, rate of sedimentation, residence time, sedimentation column.

1. PENDAHULUAN

Pusat Produksi PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) adalah suatu kawasan industri petrokimia di Kota Palembang yang memproduksi ammonia dan pupuk urea *prill*. Pusat produksi tersebut memiliki empat unit pabrik. Kapasitas produksi total keempat unit pabrik sebesar 4.276 ton ammonia/hari dan 6.900 ton pupuk urea *prill*/hari. Di samping produk utama dihasilkan juga produk samping berupa tenaga listrik, air bersih dan air boiler (*demineralized water*), uap berbagai tekanan, gas-gas nitrogen, oksigen, karbon dioksida, dan gas-gas lainnya.

Proses produksi PT PUSRI melibatkan bermacam-macam faktor. Faktor tersebut meliputi jenis dan fase bahan (yang diproses maupun yang dihasilkan), suhu dan tekanan operasi yang bervariasi, komplikasi berbagai macam peralatan proses dan operasi serta bahan konstruksinya. Berbagai macam faktor dalam proses produksi PT PUSRI berpotensi menimbulkan berbagai macam limbah. Limbah secara global dapat diklasifikasikan dalam kategori material, momentum, dan energi. Kategori material merupakan limbah-limbah yang berfase padat, cair, dan gas. Kebisingan (*noise*) termasuk dalam kategori momentum. Sedangkan yang termasuk dalam kategori energi adalah limbah panas.

Berbagai macam limbah di PT PUSRI yang paling dominan dari segi dampak terhadap paparan lingkungan adalah lumpur. Lumpur mengendap di dalam kolam limbah (biologi) atau Instalasi Pengolahan Limbah (IPAL) pabrik pupuk (ammonia dan urea) dan di sepanjang kanal pembuangan limbah cair. Lumpur tersebut merupakan campuran antara limbah cair buangan flokulator hasil aglomerasi koloid partikel padat dari air baku yang berasal dari Sungai Musi, limbah ammonia dan urea, serta limbah yang berasal dari unit pengolahan biologis. Sepanjang perjalanan, lumpur buangan flokulator tersebut melalui jaringan pembuangan limbah cair yang terintegrasi di dalam IPAL pabrik pupuk ammonia dan urea. Hal tersebut mengakibatkan lumpur mengandung senyawa ammonia yang menurut PP RI nomor 85 tahun 1999 tentang limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) dinyatakan sebagai limbah B-3.

Dalam penanggulangan lumpur terdapat wacana untuk membangun fasilitas kolam sedimentasi yang dapat mengendapkan lumpur sehingga cairan sisa dapat dibuang langsung ke Sungai Musi. Beberapa peneliti sebelumnya telah mencoba melakukan penelitian yang berhubungan dengan laju pengendapan lumpur dalam suatu kolam sedimentasi. Pengaruh hubungan antara laju pengendapan terhadap distribusi ukuran partikel sedimen dan konsentrasi lumpur telah dilakukan oleh Al-Ghadban, Abdali, dan Massoud (1998) dengan mengamati hubungan antara distribusi ukuran butiran dan kandungan TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) di dalam sedimen lapisan bawah dengan konsentrasi TPH tertinggi di dalam sedimen lumpur. Contoh yang diambil berasal dari Teluk Arabia. Penelitian digunakan untuk mengestimasi tingkat pencemaran minyak dan distribusinya di daerah tersebut. Hasil penelitian Al-Ghadban, Abdali, dan Massoud (1998) menyimpulkan bahwa karbon organik total tidak ada korelasinya dengan distribusi ukuran butiran

dan kandungan TPH sedimen. Hasil penelitian menunjukkan karbon organik tidak dapat digunakan sebagai indikator pencemaran hidrokarbon. Penelitian tersebut berlaku untuk laju pengendapan yang sangat kecil sehingga tidak bisa digunakan untuk laju pengendapan yang sangat besar seperti pada penelitian yang dilakukan oleh peneliti pada studi kali ini. Ducoste dan Clark (1998a) meneliti pengaruh ukuran tangki dan bentuk geometri pengaduk terhadap distribusi ukuran partikel pada 30 menit setelah flokulasi dengan gradien kecepatan rata-rata karakteristik (G_m) yang tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kumulatif berubah menjadi lebih kecil apabila ukuran tangki diperbesar dengan merubah pengaduk Fluid Foil A310 menjadi pengaduk jenis turbin Rushton. Ducoste dan Clark (1998b) juga melakukan penelitian model simulasi flokulasi untuk tangki empat persegi dengan variasi ukuran tangki 5, 28, dan 560 L dengan pengaduk Fluid Foil A310 dan turbin Rushton. Hasil numerik menunjukkan bahwa perubahan distribusi ukuran partikel kumulatif berubah menjadi ukuran partikel yang lebih kecil dengan kenaikan ukuran tangki. Tamayol, Firoozabadi, dan Ahmadi (2007) melakukan evaluasi kinerja *settling tank* dengan menggunakan metoda Eulerian-Langlaria. Pada penelitian tersebut digunakan *Flow Through Curve* (FTC) dan *Particle Tracking Method* (PTM) untuk mempelajari pengaruh posisi inlet dan konfigurasi sekat pada performa *hydraulic primary settling tanks*. Didapatkan posisi terbaik untuk inlet adalah di dekat dasar dan adanya pantulan jalan masuk sekat dekat permukaan bebas *settling tank* dapat meningkatkan performa *primary settling tank*. Pendekatan eksperimental dan numerik juga dilakukan oleh Razmi, Firoozabadi, dan Ahmadi (2008). Penelitian tersebut menggunakan sekat dan meneliti efeknya terhadap hidrodinamika pada *settling tank primer*. Pendekatan eksperimental dan numerik dilakukan untuk mengetahui pengaruh posisi penyekat di medan aliran. Hasilnya, lokasi optimum dari penyekat ini dapat

mengurangi ukuran dari *dead zones* dan turbulensi energi kinetik dibandingkan kondisi tanpa penyekat. Karnaningroem dan Hidayah (2010) juga melakukan penelitian perilaku hidrodinamika untuk *settling floc* pada *rectangular sedimentation basin* dan didapatkan perilaku dari hidrodinamik dalam bak pengendap persegi panjang dipengaruhi oleh energi kinetik. Energi terbesar berada di permukaan bak dan hilang bersamaan dengan panjang dan kedalaman dari bak sedimentasi.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah ada, dapat terlihat bahwa pengaruh konsentrasi lumpur awal, tinggi kolam, dan waktu pengendapan belum menjadi fokus penelitian yang intensif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari laju pengendapan lumpur terhadap konsentrasi partikel padat awal, tinggi kolam, dan waktu pengendapan. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu mendapatkan karakteristik pengendapan dan variabel-variabel yang mempengaruhi efisiensi pengendapannya sehingga dapat meminimalkan debit aliran lumpur ke dalam kolam limbah (biologi). Hasil tersebut dapat memberikan manfaat dalam perancangan kolam pengendapan khusus untuk peristiwa pengendapan yang sejenis.

Di dalam proses pengolahan air, sedimentasi diartikan sebagai pemisahan material padat yang terkandung dalam limbah cair oleh gaya gravitasi. Pada umumnya proses sedimentasi dilakukan setelah proses koagulasi dan flokulasi, bertujuan memperbesar ukuran partikel padatan sehingga menjadi lebih berat. Biasanya material padat yang dipisahkan mempunyai densitas lebih besar daripada air. Pada

sedimentasi digunakan gravitasi sebagai *driving force* untuk teknik pemisahan.

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi proses sedimentasi antara lain adalah ukuran partikel padat, densitas partikel padat, dan kekentalan fluida. Faktor-faktor lain yang pengaruhnya relatif kecil antara lain adalah bentuk partikel padat dan orientasinya, distorsi partikel padat yang bisa berubah bentuk, persinggungan atau benturan antar partikel padat untuk yang berkonsentrasi tinggi, kedekatan partikel padat terhadap dinding kolam sedimentasi, dan arus konveksi likuida.

Partikel padat yang berbentuk bola atau mendekati bola atau sebagai gumpalan akan lebih cepat mengendap apabila dibandingkan dengan partikel yang berbentuk pipih atau jarum. Partikel yang diameternya sangat kecil yaitu beberapa mikron akan mengendap sangat lambat. Bila partikel-partikel padat tersebut membentuk flok maka akan mengendap lebih cepat. Sedimentasi massa partikel padat yang tergumpal atau flok adalah suatu proses yang sangat kompleks yang melibatkan asumsi-asumsi perhitungan dalam endapan setelah gumpalan atau flok itu sendiri terendapkan. Lapisan dasar flok ditekan oleh lapisan flok lainnya yang mengendap di atasnya dan berlangsung dengan kekuatan yang lemah. Endapan yang dihasilkan terdiri dari kerapatan atau densitas yang berbeda.

Reynolds (1982) membagi jenis-jenis pengendapan berdasarkan karakteristik suspensi padatnya menjadi empat macam yaitu pengendapan bebas, pengendapan flokulan, pengendapan zona atau terhalang, dan pengendapan kompresi, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-jenis pengendapan (Reynolds, 1982)

Jenis	Nama Pengendapan	Spesifikasi Partikel Padat	Contoh Aplikasi
I	Pengendapan bebas	Partikel terpencah	Pemisahan partikel padat kasar pada pengolahan limbah cair
II	Pengendapan flokulan	Flok, konsentrasi <500 mg/L	Sedimentasi dengan penambahan koagulan pada pengolahan air
III	Pengendapan zona	Flok, konsentrasi >500 mg/L	Sedimentasi sekunder pada pengolahan limbah cair
IV	Pengendapan kompresi	Flok, konsentrasi >>>	Sedimentasi sekunder pada pengolahan limbah cair

Bhargava dan Rajagopal (1990) mendapatkan korelasi antara kurva pemisahan (pengendapan) total dengan distribusi ukuran partikel dan berat jenis partikel padat.

Perancangan kolam sedimentasi memerlukan data teknik antara lain berupa jenis sedimentasi, tinggi atau kedalaman kolam sedimentasi, kurva dan formula sebaran atau perubahan konsentrasi partikel padat yang terkandung di dalam *slurry* terhadap waktu dan posisi (level), kurva dan formula perubahan isokonsentrasi dan laju pengendapan terhadap waktu dan posisi (level), efisiensi pengendapan pada konsentrasi partikel padat dan waktu tinggal yang masing-masing bervariasi, serta konstanta formula-formula isokonsentrasi dan laju pengendapan yang merupakan bilangan yang tidak akan berubah dari percobaan dengan sistem batch dan penerapannya pada sistem kontinu.

Reynolds (1982) melihat korelasi antara waktu pengendapan dan konsentrasi partikel padat dengan efisiensi pengendapan menggunakan beberapa persamaan. Untuk menghitung konsentrasi partikel padat dalam endapan, C (mg/L) digunakan persamaan (1) dimana G (gram) adalah berat partikel padat dan V (mL) adalah volume contoh.

$$C(\text{mg/L}) = \frac{G(\text{g})}{V(\text{mL})} \times 1.000.000 \dots\dots\dots(1)$$

Laju pengendapan (X_{ij}) pada setiap waktu dan kedalaman titik pengambilan contoh dapat dihitung dengan persamaan (2) dimana C_{ij} (mg/L) adalah konsentrasi partikel padat dalam endapan dan C_o (mg/L) adalah konsentrasi awal partikel padat.

$$X_{ij}(\%) = \left(1 - \frac{C_{ij}}{C_o}\right) \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Setelah dibuat grafik isokonsentrasi antara kedalaman dengan lamanya pengendapan, maka dibuat garis vertikal pada lamanya pengendapan. Prosentase partikel-partikel

yang terpisahkan pada setiap kedalaman titik pengambilan contoh terlihat pada sepanjang garis lamanya pengendapan. Efisiensi pengendapan (R) dihitung dengan menggunakan persamaan (3) untuk waktu tinggal tertentu. Dimana r adalah titik perpotongan antara garis vertikal lamanya pengendapan pada kurva isokonsentrasi. Z_i (m) adalah kedalaman titik sampling pada waktu pengendapan tertentu dan Z_o (m) adalah kedalaman dasar kolam.

$$R = r_o + \sum \frac{\Delta r_i \cdot Z_i}{Z_o} \dots\dots\dots(3)$$

2. METODA

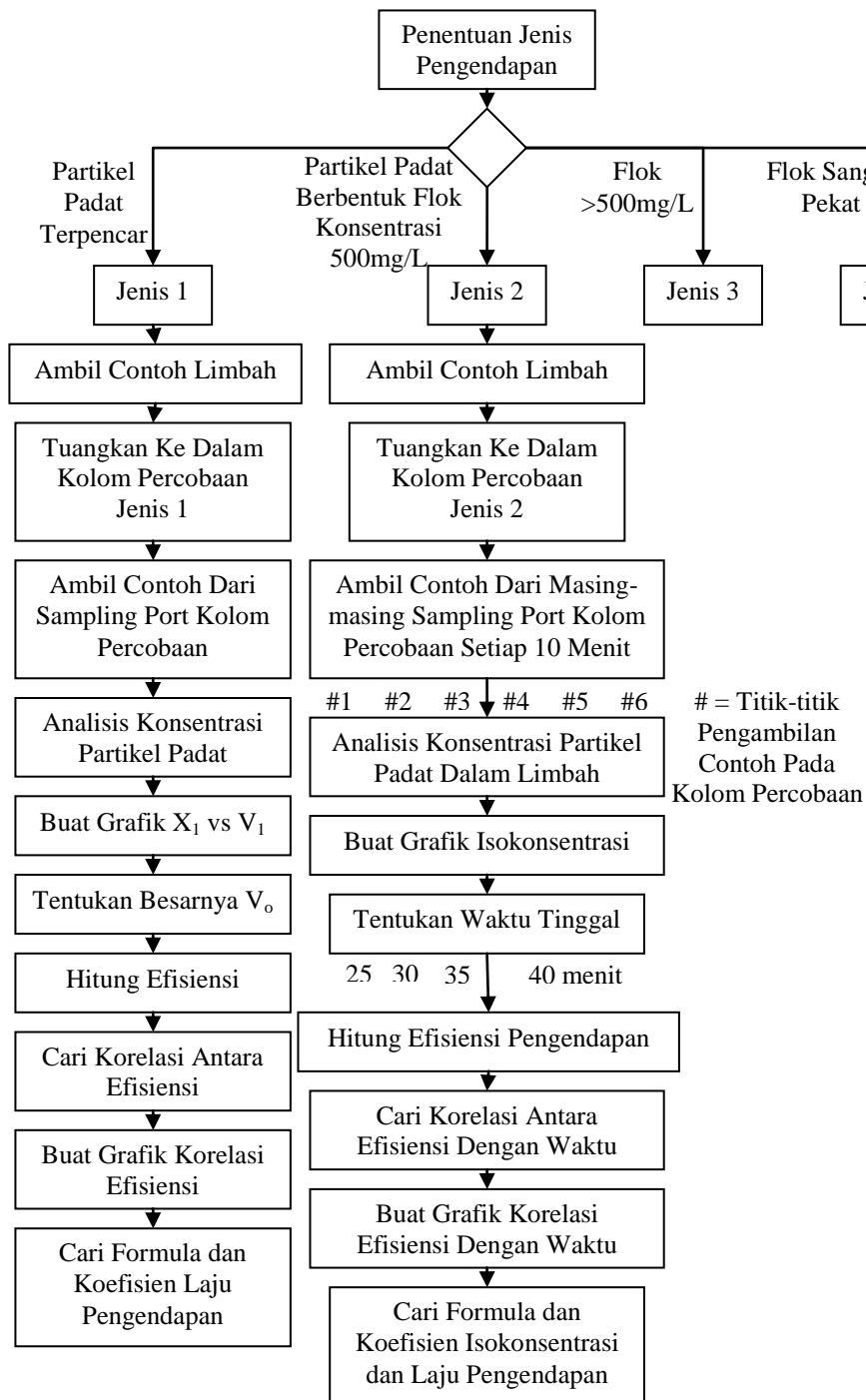
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan limbah outlet flokulator yang berupa gumpalan-gumpalan lumpur (flok) dengan konsentrasi antara 393-495 mg/L. Untuk menghindari perubahan konsentrasi partikel padat dalam limbah cair dan menghindari kontaminasi material lain dalam aliran, maka lokasi pengambilan contoh limbah (*sampling point*) adalah pada aliran limbah outlet flokulator atau kanal yang paling dekat dengan flokulator.

Penelitian menggunakan kolom percobaan sedimentasi untuk pengendapan flokulan. Kolom percobaan terbuat dari pipa baja bergaris tengah nominal 10 inchi dan panjang 4,50 meter yang dipasang tegak lurus. Pada setiap titik yang berjarak 500 milimeter panjang pipa dipasang pipa sebesar 0,50 inchi sebagai saluran pengambilan contoh.

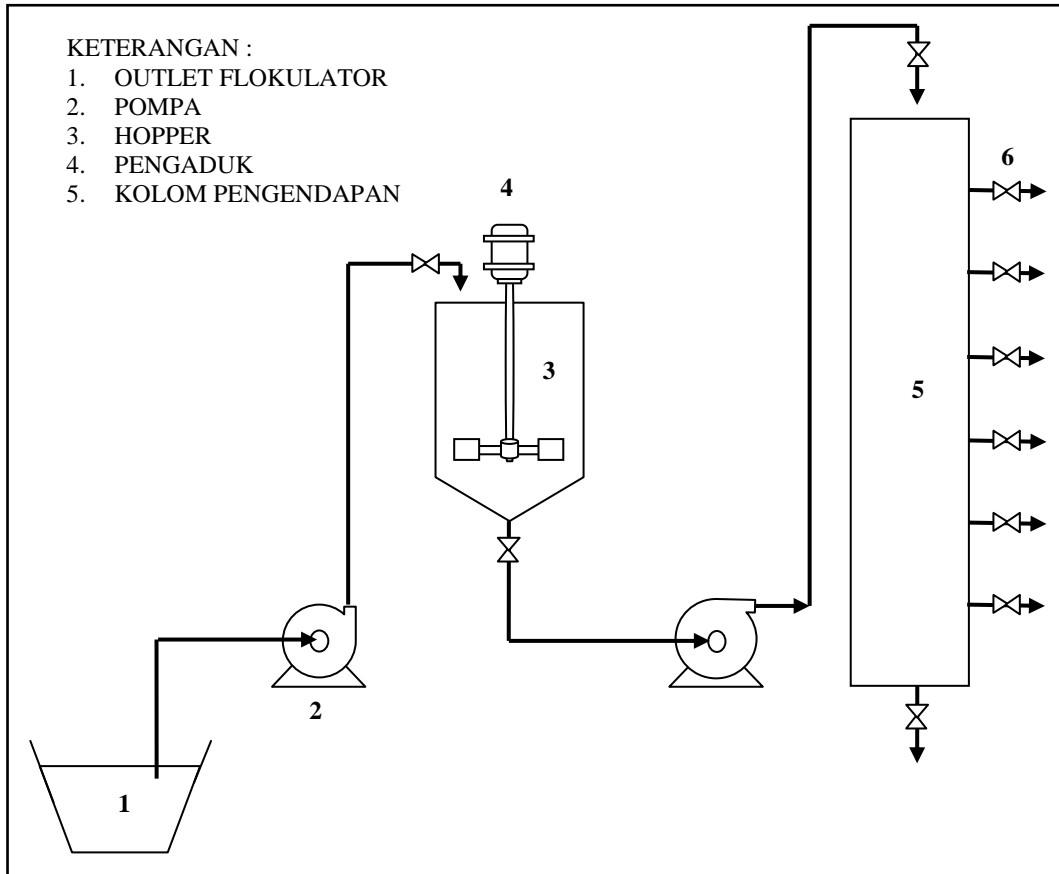
Pada pengendapan flokulan dalam kolom sedimentasi digunakan variabel penelitian berupa waktu pengendapan (*detention time*), konsentrasi awal partikel padat dalam limbah, dan kedalaman kolom sedimentasi. Rentang waktu pengambilan sampel adalah 10-50 menit. Rentang kedalaman kolom pengamatan antara 0,5-3,5 meter. Konsentrasi awal yang digunakan adalah 400, 420, 440, 460, dan 480 mg/L.

Langkah langkah percobaan yang dilakukan mulai dari pengambilan sampel, penentuan jenis sedimentasi, sampai dengan penentuan laju kecepatan sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Metoda percobaan yang digunakan dalam penelitian ini sangat sederhana yaitu dengan menggunakan kolom sedimentasi berdasarkan gravitasi. Skema sederhana rangkaian proses percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram langkah-langkah percobaan penelitian laju pengendapan partikel padat dalam limbah lumpur

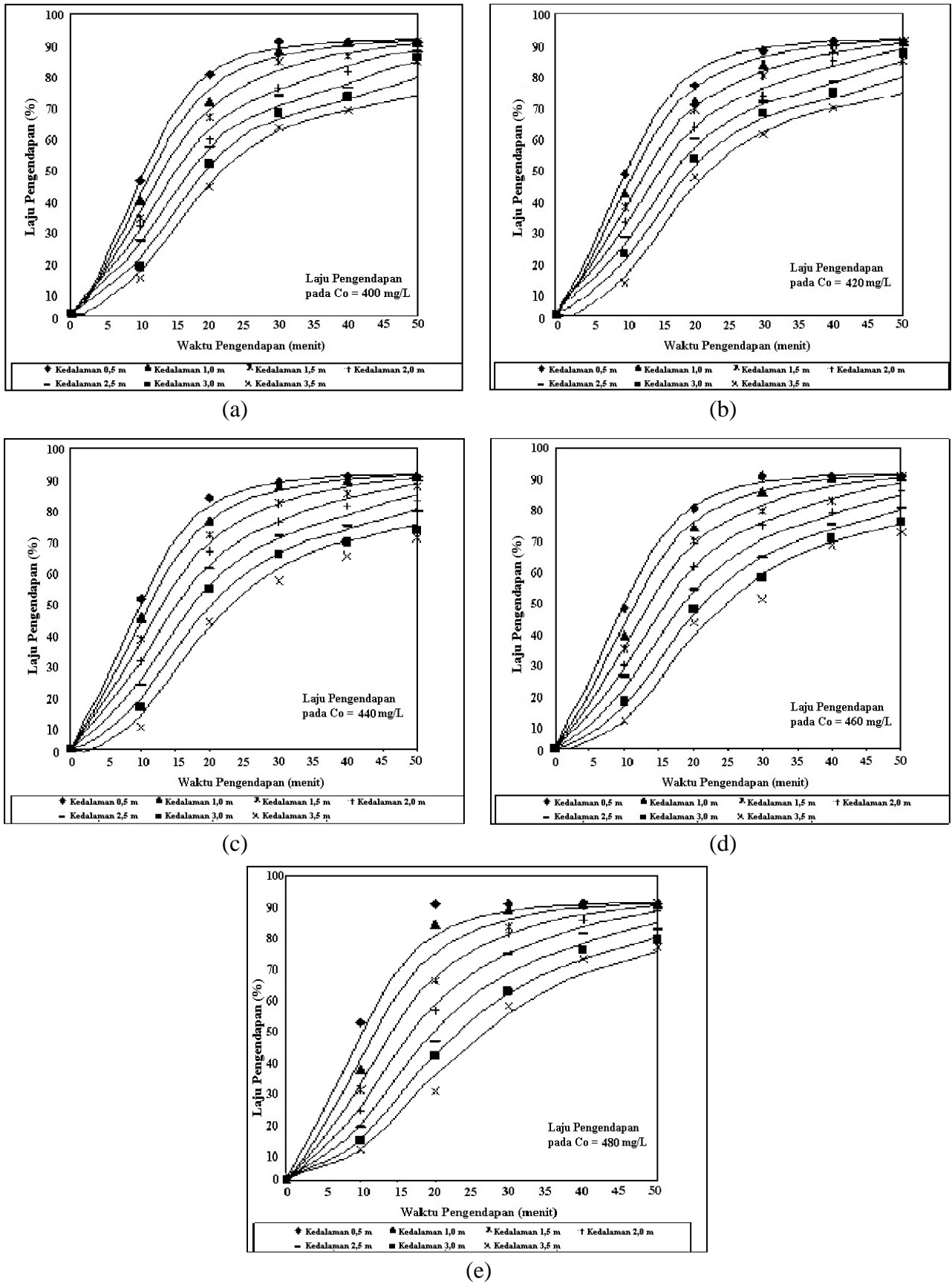


Gambar 2. Skema sederhana proses percobaan sedimentasi limbah lumpur

Limbah dari outlet flokulator dipompakan ke dalam *hopper* sebanyak 263 L dengan konsentrasi awal antara 400-480 mg/L dengan interval 20 mg/L. Limbah diaduk sampai rata dengan menggunakan pengaduk jenis *turbin blade*. Setelah larutan limbah bercampur secara homogen diambil contoh limbah dari dalam *hopper* sebanyak masing-masing 100 mL. Limbah diambil dari tiga posisi yaitu permukaan, pertengahan, dan *nozzle* pengeluaran. Pengambilan ini untuk menentukan jenis lumpur yang akan diendapkan pada kolom sedimentasi dengan menganalisis konsentrasi partikel padat. Setelah ditentukan jenis endapan, limbah lumpur yang telah homogen dalam *hopper* dipompakan menuju kolom sedimentasi sampai kolom tersebut penuh. Partikel padat yang terkandung dalam limbah lumpur pada kolom sedimentasi dibiarkan mengendap secara gravitasi dan dilakukan pengukuran konsentrasi kandungan partikel padat pada

selang waktu setiap 10 menit selama 50 menit. Pengukuran konsentrasi partikel padat dilakukan pada *sampling valve* dengan setiap rentang jarak kedalaman kolom 0,5 meter setinggi 3,5 m. Percobaan dihentikan jika ada sebagian dari fluida limbah lumpur dalam kolom sedimentasi terlihat bening pada saat waktu sedimentasi mencapai 50 menit.

Penelitian ini menggunakan kolom percobaan sedimentasi untuk pengendapan, yang dibuat dari pipa baja bergaris tengah nominal 10 inchi dan panjang 4,50 m yang dipasang tegak lurus. Pada setiap titik yang berjarak 500 mm panjang pipa dipasang pipa sebesar 0,50 inchi yang berfungsi sebagai saluran pengambilan contoh untuk analisis kuantitatif menentukan konsentrasi partikel padat dalam limbah. Jarak antar titik pengambilan contoh sebesar 500 mm ini merupakan jarak yang menunjukkan perbedaan konsentrasi partikel padat yang signifikan.



Gambar 3. Pengaruh waktu sedimentasi dan kedalaman kolom terhadap laju pengendapan

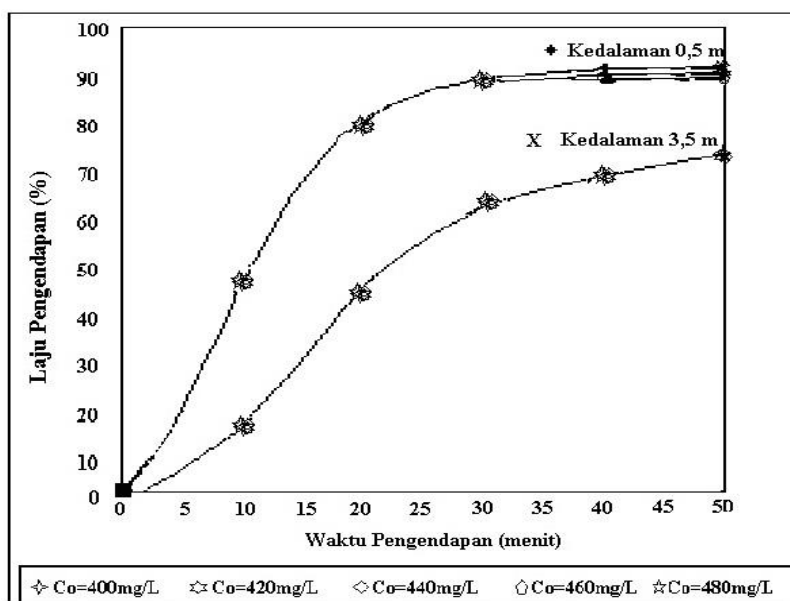
Pemilihan garis tengah nominal pipa sebesar 10 inchi atau 254 mm bertujuan untuk mencegah terjadinya penyumbatan kolom percobaan oleh gumpalan partikel padat dan memperkecil efek gesekan antara fluida dengan dinding kolom. Selang waktu pengambilan contoh ditentukan setiap 10 menit dan lama percobaan dalam penelitian ini dibatasi sampai 50 menit untuk setiap contoh limbah cair yang diambil dari sumbernya, karena saat pengambilan contoh dari kolom percobaan pada selang waktu 50 menit limbah tersebut sudah sangat jernih.

3. HASIL ANALISIS

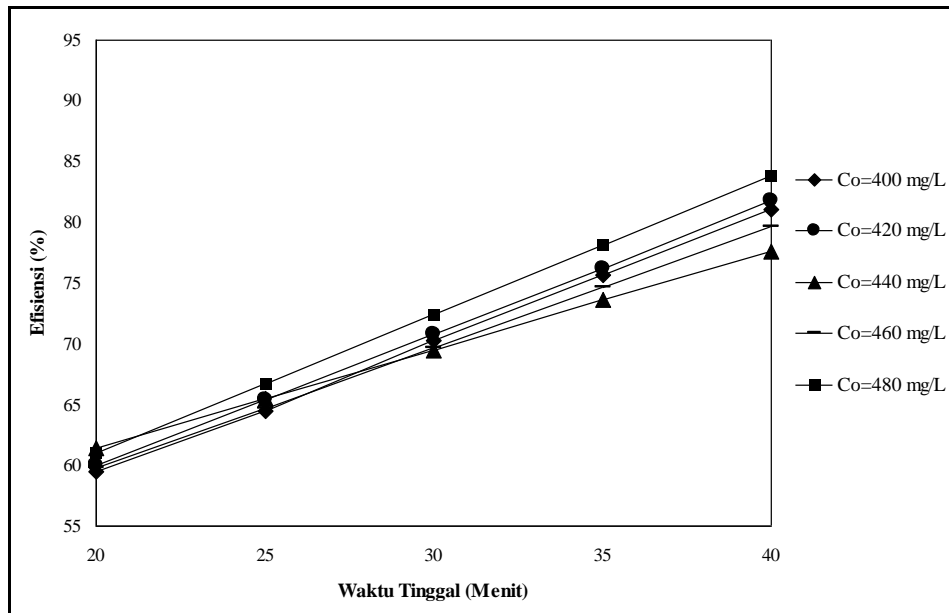
Hasil percobaan mengindikasikan bahwa limbah outlet flokulator bukan partikel-partikel padat yang berdiri sendiri atau tersebar (*scattered*). Limbah tersebut berupa flok dan konsentrasinya tidak lebih dari 500 mg/L yaitu antara 393-495 mg/L. Angka ini lebih rendah dari batasan konsentrasi partikel padat yang termasuk dalam kategori pengendapan zona dan pengendapan kompresi di atas 500 mg/L. Berdasarkan hal tersebut maka proses pengendapan yang terjadi termasuk dalam pengendapan flokulan.

Pengaruh waktu sedimentasi dan kedalaman kolom terhadap laju pengendapan sedimen pada masing masing konsentrasi awal ditunjukkan pada Gambar 3.

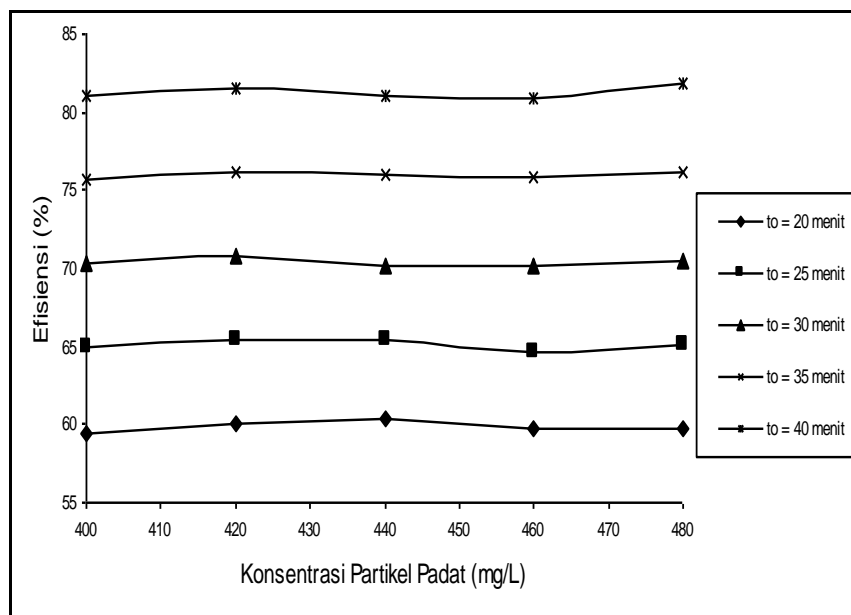
Masing-masing kurva diindikasikan sebagai laju sedimentasi pada posisi 0,5 sampai 3,5 m dari permukaan fluida. Pada Gambar 3 terlihat bahwa makin rendah level atau makin jauh dari permukaan fluida pada saat yang sama laju pengendapannya makin kecil. Dengan kata lain makin ke dalam fraksi, laju pengendapan partikel makin rendah. Hal ini terjadi karena makin dalam dari permukaan fluida, maka gaya tekan ke atas fluida terhadap partikel padat makin besar sebanding dengan jarak dari posisi partikel ke permukaan fluida. Demikian pula konsentrasi *slurry* yang jauh dari permukaan akan semakin tinggi, sehingga gaya gesekan (*drag force*) semakin besar. Sedangkan gaya gravitasi partikel padat akan tetap. Dengan demikian maka resultan gaya yang bekerja ke arah bawah makin jauh dari permukaan makin kecil. Pengaruh konsentrasi awal terhadap laju pengendapan dengan mengambil contoh pada kedalaman 0,5 dan 3,5 m menunjukkan pengaruh konsentrasi awal tidak banyak mempengaruhi laju pengendapan. Fenomena ini tergambar pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi awal partikel padat dalam limbah lumpur terhadap laju pengendapan



Gambar 5. Kurva regresi hubungan efisiensi terhadap waktu pengendapan



Gambar 6. Kurva hubungan efisiensi terhadap konsentrasi awal partikel padat dalam limbah lumpur

Perhitungan regresi dari nilai efisiensi pengendapan partikel padat setiap waktu pengendapan menghasilkan persamaan garis lurus dengan nilai koefisien korelasi lebih dari 0,99. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pengendapan partikel padat berkorelasi signifikan dengan waktu pengendapan yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada waktu pengendapan yang tetap didapatkan kurva efisiensi terhadap konsentrasi partikel padat yang hampir berupa garis datar (horizontal) (Gambar 6). Maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada korelasi antara konsentrasi partikel padat dengan efisiensi pengendapan, atau dengan kata lain efisiensi pengendapan tidak tergantung pada besarnya konsentrasi partikel padat yang diteliti.

4. KESIMPULAN

Limbah outlet flokulator merupakan limbah cair yang berasal dari pengolahan air yang mengandung lumpur flok. Partikel padatnya yang berkonsentrasi 393-495 mg/L dapat dipisahkan dengan cara sedimentasi. Proses sedimentasi yang terjadi termasuk kategori jenis pengendapan flokulan.

Konsentrasi partikel padat pada level paling atas dalam perkembangan proses sedimentasi makin lama makin encer sehingga waktu pengendapan berlangsung selama 30 menit. Lapisan tersebut berupa lapisan air tanpa kandungan partikel padat. Perubahan laju pengendapan terhadap waktu pada level paling atas berupa kurva logaritmik, sedangkan pada level paling bawah berupa kurva linier. Laju pengendapan pada level paling atas paling cepat sedangkan pada level paling bawah laju pengendapannya paling lambat. Pengaruh variasi konsentrasi awal partikel padat pada limbah lumpur terhadap laju pengendapan tidak banyak berpengaruh bahkan dapat diabaikan

Pada rentang waktu tinggal antara 20-40 menit efisiensi pengendapan berkisar antara 60-80%, efisiensi pengendapan berbanding lurus dengan waktu tinggal. Tidak ada korelasi antara konsentrasi partikel padat dengan efisiensi pengendapan.

Karakteristik limbah, jenis pengendapan, grafik konsentrasi, grafik laju pengendapan, dan grafik efisiensi hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan disain kolam sedimentasi untuk mengatasi masalah pengendapan lumpur pada kanal pembuangan limbah flokulator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya yang didanai secara mandiri. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT Pupuk Sriwijaya Unit Produksi III

Palembang atas dukungan dan sumbangan *slurry* untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ghadban, A.N., Abdali, F., dan Massoud, M.S. (1998). Sedimentation Rate and Bioturbation in Arabian Gulf. *Environment International*. 24. 23-31.
- Bhargava, D.S. dan Rajagopal, K. (1990). Modeling in Zone Settling for Different Types of Suspended Materials. *Water Research*. 24. 6.
- Ducoste, J.J. dan Clark, M.M. (1998a). The Influence of Tank Size and Impeller Geometry on Turbulent Flocculation: I Experimental. *Environmental Engineering Science*. 15 (3). 215-224.
- Ducoste, J.J. dan Clark, M.M. (1998b). The Influence of Tank Size and Impeller Geometry on Turbulent Flocculation: II Model. *Environmental Engineering Science*. 15 (3). 225-235.
- Karnaningroem, N. dan Hidayah, E.N. (2010). Model of Hydrodynamics for Settling Flocs in Rectangular Sedimentation Basin. *Journal of Mathematics and Technology*. 3. 125-129.
- Razmi, A., Firoozabadi, B., dan Ahmadi, G. (2008). Experimental and Numerical Approach to Enlargement of Performance of Primary Settling Tanks. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2(1). 1-12.
- Reynolds, T.D. (1982). Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Wadsworth Inc., California.
- Tamayol, A., Firoozabadi, B, dan Ahmadi, G. (2007). Determination of Settling Tanks Performance Using an Eulerian Lagrangian Method. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 1(1). 43-54.