

Pengaruh Sudut Inklinasi Plate-Settler terhadap Kecepatan Vertikal Proses Sedimentasi pada Pengolahan Limbah Cair Kertas

Inclined Plate-Settler Angle Effect on Vertical Velocity of Sedimentation Process in Paper Mill Wastewater Treatment

Fatihaturrizky Amelia, Oktavian Wahyu Pratama Ajie, Allifiya Salsabil Nugrohoputri, Nurwahid Dimas Saputro, Allen Kurniawan*

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.

*Corresponding author email: allenkurniawan@apps.ipb.ac.id



Kata Kunci:

air limbah; kertas; *plate-settler*; sedimentasi; sudut inklinasi.

Keywords:

inclination angle; paper mill; plate-settler; sedimentation; wastewater.

Abstrak

Pengolahan limbah cair industri kertas memberikan produk kontaminan yang berbahaya ketika dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan. Beban kontaminan yang tinggi memberikan efek terhadap beratnya beban pengolahan limbah secara biologis. Kecepatan pengendapan merupakan salah satu komponen terpenting di dalam meningkatkan kinerja unit sedimentasi, antara lain melalui penggunaan *plate-settler*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penambahan *plate-settler* dalam berbagai variasi inklinasi. Metode penelitian ini dilakukan melalui pengamatan terhadap kecepatan jatuh partikel, dan estimasi kecepatan jatuh yang dipengaruhi oleh sudut inklinasi *platesettler* pada unit sedimentasi. Karakteristik limbah cair industri kertas menunjukkan kecenderungan membentuk flok dan memiliki kemampuan pengendapan yang tinggi yang ditunjukkan oleh penurunan lumpur sebesar 29,53 cm pada 2,5 menit pertama. Modifikasi mekanisme pengendapan dapat menambahkan *plate-settler* untuk meningkatkan efisiensi reduksi partikel dengan sudut optimum sebesar 60° hingga 75°. Nilai ini menunjukkan sudut inklinasi *plate-settler* yang memengaruhi mekanisme penyisihan total padatan di dalam proses seimentasi, selain kecepatan vertikal partikel.

Abstract

Paper mill wastewater treatment produces hazardous contaminant products when discharged into the environment without treatment. The high contaminant load affects the performance of biological sewage treatment when the sedimentation unit must be maximized in the process of physically separating solid particles and liquid phases. Deposition speed is one of the most important components in improving the performance of the sedimentation unit, such as through the use of plate-settlers. This study aims to analyze the effect of the addition of plate settlers in various inclinations to the sedimentation process. This research was carried out by observing the falling velocity of the particles, and the estimation of the falling velocity which was influenced by the plate settler inclination angle on the sedimentation unit. The characteristics of paper liquid waste industry showed a tendency to floc and had a high showing ability as indicated by a decrease in the sludge of 29.53 cm in the first 2.5 minutes. Modifying the deposition mechanism can add plate-settler to increase particle reduction efficiency with an optimum angle of 60° to 75°. This value indicates the plate-settler inclination angle that affects the total solids removal mechanism in the cementation process, in addition to the vertical velocity of the particles.

PENDAHULUAN

Limbah cair industri sering kali memberikan dampak buruk bagi lingkungan sekitar. Pembuangan limbah cair industri tanpa melalui proses pengolahan dapat merusak kelestarian badan air karena mengandung konsentrasi material organik dan padatan yang tinggi. Akumulasi material organik dari buangan limbah cair industri dapat memengaruhi kondisi rantai makanan biota perairan (Adam & Maftuch, 2015). Selain itu, menurut Easton dkk., (1997) dalam Isyuniarto, Usada, & Purwadi (2007), efluen industri bisa menyebabkan penyimpangan

reproduktif pada zooplankton dan invertebrata yang merupakan makanan dari ikan serta kerusakan genetik dan reaksi sistem kekebalan tubuh pada ikan. Industri menanggapi bahaya limbah cair terhadap badan air dengan meningkatkan efisiensi produksi atau menerapkan teknologi pengolahan limbah cair industri. Berbagai teknologi pengolahan limbah cair industri dikembangkan untuk mereduksi konsentrasi material organik dan padatan. Salah satu teknologi untuk mengolah limbah cair industri, yaitu lumpur aktif. Konfigurasi lumpur aktif merupakan salah satu konfigurasi pengolahan limbah cair biologis melalui penerapan prinsip degradasi material organik melalui proses metabolisme mikroorganisme (Said, 2015). Sistem lumpur aktif terdiri atas dua unit, yaitu unit aerasi dan unit sedimentasi (Sari, Annissa, & Tuhuloula, 2013). Lumpur aktif banyak diterapkan pada berbagai industri karena memiliki efisiensi yang tinggi dan biaya operasional yang lebih murah dibandingkan dengan proses pengolahan limbah cair secara kimiawi atau fisik (Rohmanna, Azizah, & Hidayat, 2021).

Air limbah industri kertas mengandung berbagai kontaminan organik dan anorganik yang sebagian besar berasal dari tanin, lignin, resin, dan senyawa klorin (Buzzini & Pires, 2007). Pada umumnya, jenis air limbah ini membutuhkan opsi pengolahan air limbah dalam bentuk konfigurasi konvensional lumpur aktif karena konsentrasi padatan limbah cair industri kertas mencapai 41.000 mg/L (Rosidi & Razif, 2017) dan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) mencapai 8.300 - 45.384 mg/L O₂. Selain itu, komposisi material organik dalam limbah cair industri kertas juga mengandung *Total Suspended Solids* (TSS), fosfor, nitrogen, dan *Adsorbable Organic Halides* (AOH) sebagai nutrisi sumber karbon bagi pertumbuhan sel mikroorganisme di dalam lumpur aktif (Sharma, Tripathi, & Chandra, 2021). Komposisi limbah cair industri kertas tersebut diharapkan mampu memberikan substrat bagi mikroorganisme melalui proses biologis sehingga dapat mengoptimalkan peningkatan kualitas efluen limbah cair industri kertas melalui peningkatan efisiensi material organik.

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam operasional pengolahan limbah cair secara biologis, yaitu peningkatan jumlah padatan akibat pertumbuhan mikroorganisme. Oleh karena itu, kinerja unit sedimentasi dalam lumpur aktif memegang peranan penting untuk menentukan hasil akhir perbaikan kualitas limbah cair industri kertas untuk memperoleh efisiensi yang optimal. Efisiensi kinerja unit sedimentasi erat kaitannya dengan karakteristik pengendapan partikel limbah cair industri kertas. Berbagai analisis tipe sedimentasi dilakukan untuk mengetahui kecenderungan pengendapan partikel di dalam proses pengolahan limbah cair. Analisis sedimentasi terbagi menjadi empat (4) tipe, yaitu tipe pengendapan diskrit, tipe pengendapan flok, tipe *hindered*, dan tipe kompresi (Lee & Lin, 2007). Tipe pengendapan diskrit merepresentasikan karakter kecepatan jatuh partikel ketika proses sedimentasi terjadi. Tipe pengendapan flok merepresentasikan kecepatan jatuh partikel akibat kecenderungan partikel limbah cair membentuk flok secara alami. Tipe pengendapan *hindered* merepresentasikan ketinggian lumpur sebagai hasil akumulasi partikel yang terendapkan. Tipe pengendapan kompresi adalah lanjutan dari proses pengendapan *hindered* yang menyebabkan lumpur terkompresi (Lee & Lin, 2007).

Penelitian difokuskan untuk menganalisis tipe sedimentasi diskrit dan *hindered* pada sampel limbah cair industri kertas untuk menentukan karakteristik pengendapan partikel limbah cair industri kertas. Analisis tipe sedimentasi diskrit dipilih untuk mengetahui kecepatan jatuh partikel dalam satuan entitas partikel yang bergantung pada besar diameter partikel, sedangkan tipe pengendapan *hindered* dipilih untuk menentukan hasil akhir pengendapan partikel limbah cair dengan waktu detensi tertentu untuk diarahkan pada estimasi kriteria desain unit sedimentasi yang optimum. Kecepatan pengendapan dapat ditingkatkan melalui penggunaan *plate-settler* yang dipasang horizontal di dalam zona pengendapan unit. *Plate-settler* dipasang pada tidak terlalu dalam pada zona pengendapan unit untuk mengurangi jarak vertikal yang harus dilalui partikel tersuspensi menuju zona lumpur (Zhang dkk., 2020). Beberapa penelitian mengemukakan bahwa penggunaan *plate-settler* pada tingkat pengendapan tersuspensi dipasang dengan cara dimiringkan daripada dibuat tegak sehingga mempunyai sudut kemiringan/inklinasi (Tarpagkou & Pantokratoras, 2014). Berdasarkan pernyataan tersebut, kualitas separasi cairan dan padatan pada sedimentasi merupakan fungsi dari kecepatan pengendapan vertikal dan luas area horizontal *plate-settler* (Sarkar, Kamilya, & Mal, 2007). Penelitian ini lebih banyak difokuskan pada studi tentang unit sedimentasi di dalam pengolahan biologis air limbah.

Dengan demikian, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan *plate-settler* dalam berbagai variasi inklinasi pada sistem modifikasi unit sedimentasi untuk meningkatkan efiseinsi kinerja unit sedimentasi. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan model unit sedimentasi yang optimum berdasarkan pertimbangan karakteristik partikel limbah cair industri kertas dan variasi sudut inklinasi *plate-settler*.

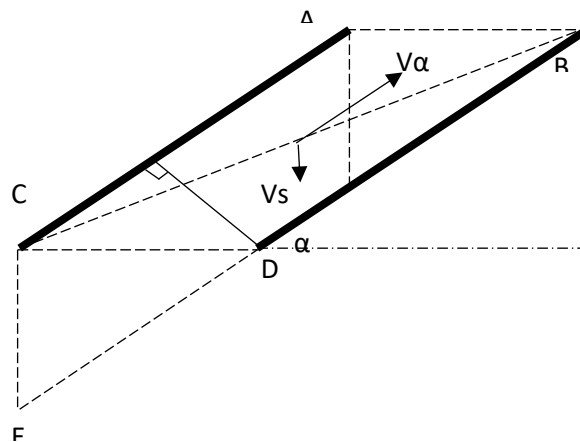
METODE PENELITIAN

Karakteristik Partikel Limbah Cair Industri Kertas

Sampel penelitian ini berasal dari air limbah kertas pada salah satu industri kertas di Bandung, Jawa Barat. Titik pengambilan sampel berasal dari influen pengolahan lumpur aktif dan biomassa diperoleh dari pipa resirkulasi lumpur aktif. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap penelitian, yaitu pengamatan terhadap kecepatan jatuh partikel, dan estimasi kecepatan jatuh yang dipengaruhi oleh sudut inklinasi *plate-settler* pada unit sedimentasi.

Penelitian terhadap kecepatan jatuh partikel dilakukan dengan pengamatan terhadap pengendapan *hindered* dan pengendapan partikel diskrit. Pengendapan *hindered* dilakukan dengan menganalisis kurva *hindered* yang terbentuk dari pengamatan perubahan ketinggian. Kurva tersebut digunakan untuk menentukan waktu terjadinya pengendapan kompresi dan analisis penurunan kecepatan pengendapan partikel limbah cair industri kertas (Qasim & Zhu, 2017). Pengendapan diskrit dilakukan dengan pengujian menggunakan kolom sederhana dengan tinggi sebesar 0,37 m. Variabel yang terkait dengan perhitungan model *discrete particle* (Gambar 1), yaitu kecepatan pengendapan bebas (v), percepatan gravitasi (g), massa jenis partikel (ρ_s), massa jenis fluida (ρ), diameter partikel (d), dan koefisien penarikan atau *drag coefficient* (C_d) (Lee & Lin, 2007). Bilangan Reynolds suatu fluida dapat memengaruhi nilai *drag coefficient* pada perhitungan kecepatan pengendapan.

$$V_o = \left(\frac{4g(\rho_s - \rho)d}{3C_d\rho} \right)^{1/2} \quad (1)$$



Gambar 1. Skema modifikasi unit sedimentasi dengan *plate-settler*

Overflow rate didefinisikan sebagai perbandingan jumlah air limbah kertas yang dialirkan ke unit sedimentasi (Q) berbanding luas permukaan unit sedimentasi (A) (Persamaan 2). *Overflow rate* juga disebut beban pengendapan.

$$V_o' = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Estimasi kecepatan pengendapan dengan penambahan *plate-settler* pada sudut inklinasi tertentu mempertimbangkan jarak tempuh partikel limbah cair untuk mengendap (H), jarak antar *plate-settler* (w), dan beban pengendapan (V_o') (Persamaan 3).

$$V_\alpha = \frac{H}{\sin \alpha + \frac{w}{\sin \alpha \times \cos \alpha}} \times V_o \quad (3)$$

Estimasi kecepatan pengendapan vertikal dengan *plate-settler* merupakan hasil kali dari kecepatan pengendapan entitas partikel pada sudut inklinasi tertentu (V_α) dikali dengan nilai sinus dari sudut inklinasi yang diterapkan ($\sin \alpha$) (Persamaan 4).

$$V_s = V_\alpha \times \sin \alpha \quad (4)$$

Keterangan:

- V_o = kecepatan pengendapan partikel tanpa *plate-settler* (m/detik)
- V_o' = *over flowrate* (m/detik)
- V_α = kecepatan pengendapan pada sudut inklinasi α (m/detik)
- V_s = kecepatan pengendapan vertikal setelah modifikasi unit sedimentasi dengan *plate-settler* (m/detik)
- Q = debit ($m^3/detik$)
- A = *surface area* zona pengendapan (m^2)
- α = sudut kemiringan *plate* ($^\circ$)
- g = percepatan gravitasi ($m/detik^2$)
- ρ_s = massa jenis partikel (kg/m^3)
- ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)
- d = diameter partikel (kg/m^3)
- C_d = koefisien penarikan atau *drag coefficient*

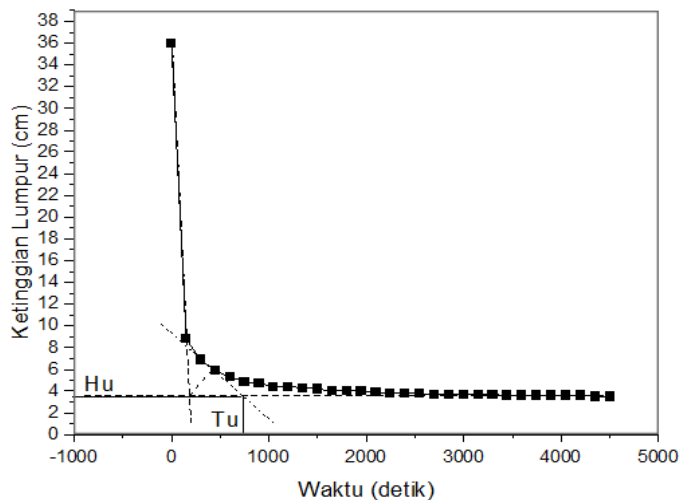
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik proses sedimentasi limbah cair industri kertas pada penelitian ini dapat mengidentifikasi empat tahapan proses pengendapan yang diuji pada satu kolom *batch*, yaitu *lag*, *hindered*, *transient*, dan kompresi. Proses perubahan pada empat tahap tersebut mengalami perubahan yang cukup singkat pada 15 menit pertama (Gambar 2). Tahap *lag* hanya berlangsung kurang dari satu menit. Tahapan ini berupa proses disipasi energi kinetik antara biomassa dan fase cairan (*supernatant*). Pada tahapan *lag* berlangsung singkat karena proses homogenisasi antara biomassa dan *supernatant* telah berlangsung pada unit aerasi sehingga tidak ada friksi antara partikel udara di dalam air yang memperlama durasi pencampuran (Ramin dkk., 2014).

Tahap *hindered* dan *transient* berlangsung hingga menit ke-5 dengan ketinggian lumpur mengalami penurunan yang sangat signifikan dari 29,53 cm hingga 1,77 cm. Penurunan ini terjadi secara konstan dari *interface* padatan/cairan ketika campuran biomassa mengendap secara keseluruhan dengan konsentrasi yang ekuivalen dengan nilai konsentrasi inisial biomassa (X_0). Hal ini menunjukkan bahwa pada pengamatan tipe sedimentasi *hindered*, semakin lama waktu pengamatan pengendapan, maka kecepatan penurunan ketinggian lumpur semakin kecil dan cenderung mempertahankan posisinya sebelum memasuki proses sedimentasi kompresi (Gambar 2).

Fenomena pada tipe pengendapan *hindered* menunjukkan adanya interaksi lanjutan setelah tipe pengendapan diskrit dan flok yang memicu terbentuknya lembaran lumpur (*sludge blanket*). Pada proses sedimentasi

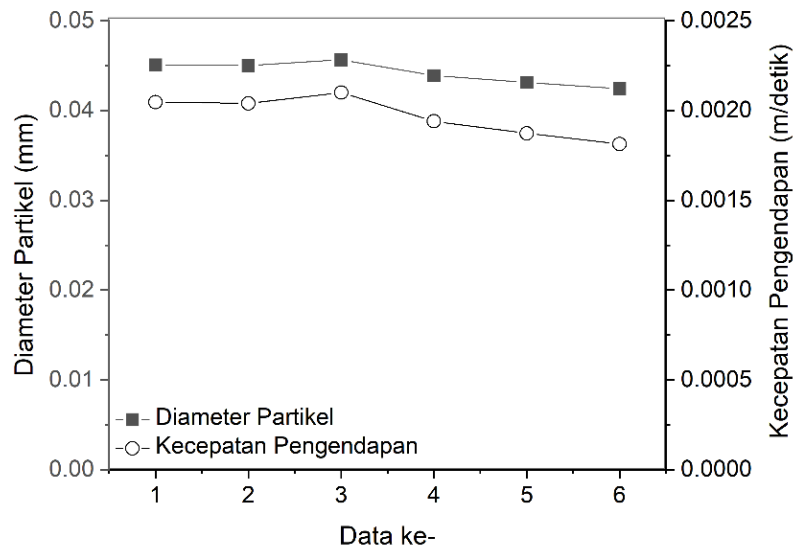
hindered, padatan akan terakumulasi dan mendorong padatan di bawahnya untuk mengalami proses tipe pengendapan kompresi. Akan tetapi, sifat penurunan pada tipe sedimentasi *hindered* dan kompresi akan semakin melambat karena adanya hambatan dari partikel lain di sekitarnya. Kondisi ini dapat dibuktikan dengan penurunan ketinggian lumpur yang cukup lambat pada waktu pengamatan selama 5 menit; 7,5 menit; 10 menit; 12,5 menit; 15 menit secara berurutan sebesar 1,77 cm; 0,63 cm; 0,37 cm; 0,18 cm; 0,15 cm (Gambar 2). Dengan demikian, penurunan ketinggian lumpur akan berkurang seiring dengan peningkatan waktu pengendapan.



Gambar 2. Kecepatan jatuh partikel berdasarkan pengamatan pengendapan *hindered*

Analisis tipe pengendapan *hindered* hanya menunjukkan karakteristik partikel industri kertas memiliki kemampuan pengendapan mencapai 0,002 m/detik. Akan tetapi, proses pengendapan partikel pada analisis *hindered* dipengaruhi oleh kecenderungan partikel membentuk flok dan *sludge blanket*. Oleh karena itu, analisis tipe pengendapan *hindered* tidak dapat merepresentasikan kecepatan partikel limbah cair industri kertas sebagai suatu entitas partikel. Besarnya kecepatan pengendapan diskrit partikel limbah kertas dapat lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan pengendapan bioflok. Bioflok sendiri didefinisikan sebagai agregat yang tersusun atas komponen material organik dan konsorsium mikroorganisme (Mendez et al., 2021). Jumlah mikroorganisme dan susunan material organik dalam bioflok dapat memengaruhi kecepatan pengendapan melalui besarnya nilai densitas dan diameter bioflok. Apabila densitas dan diameter partikel limbah cair industri kertas memengaruhi kecepatan pengendapan limbah cair, maka analisis kecepatan pengendapan harus memperhatikan kecepatan entitas partikel dalam limbah. Analisis kecepatan pengendapan tiap entitas partikel memungkinkan peneliti untuk mengetahui metode optimasi pengendapan partikel melalui data kecepatan pengendapan partikel terkecil dalam limbah cair industri kertas.

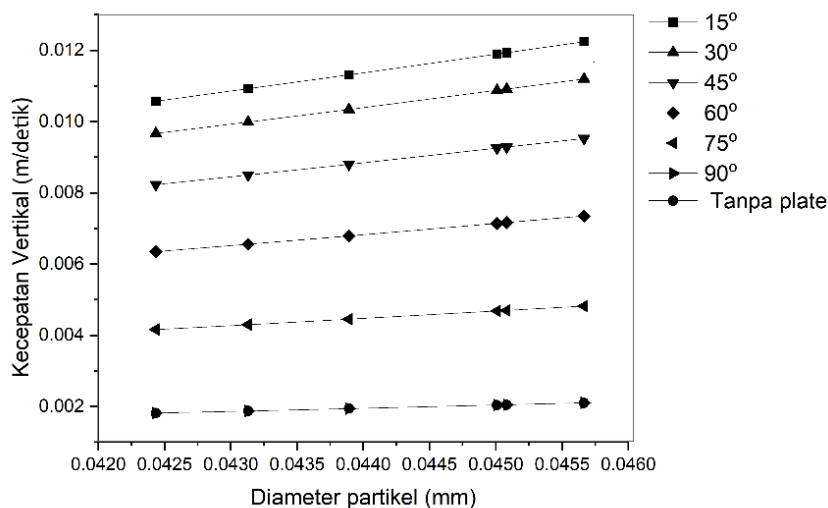
Pengendapan partikel diskrit limbah cair dipicu oleh interaksi setiap entitas partikel limbah cair dengan fluida dan partikel lain di sekitarnya. Fenomena ini dijelaskan dengan pengamatan pengendapan diskrit (Gambar 3). Berdasarkan pengamatan terhadap pengendapan partikel diskrit, semakin besar diameter suatu entitas partikel limbah cair industri kertas, maka kecepatan pengendapan partikel tersebut akan semakin besar. Kecepatan pengendapan partikel dengan diameter 0,045 mm sebesar 0,00205 m/detik, sedangkan kecepatan pengendapan partikel dengan diameter 0,042 mm sebesar 0,00181 m/detik. Diameter partikel memengaruhi kecepatan pengendapan diskrit disebabkan massa padatan yang berbanding lurus dengan diameter partikel tersebut. Besarnya diameter tidak hanya merepresentasikan besarnya ukuran entitas partikel yang diamati, tetapi juga merepresentasikan besaran flok yang terbentuk secara alami di dalam limbah cair industri kertas. Novoa et al., (2020) mengatakan bahwa entitas partikel limbah cair industri kertas sendiri bisa membentuk flok secara alami karena adanya gaya tarik menarik antar entitas yang disebut sebagai *zeta potential*.



Gambar 3. Hubungan kecepatan pengendapan diskrit dan diameter partikel

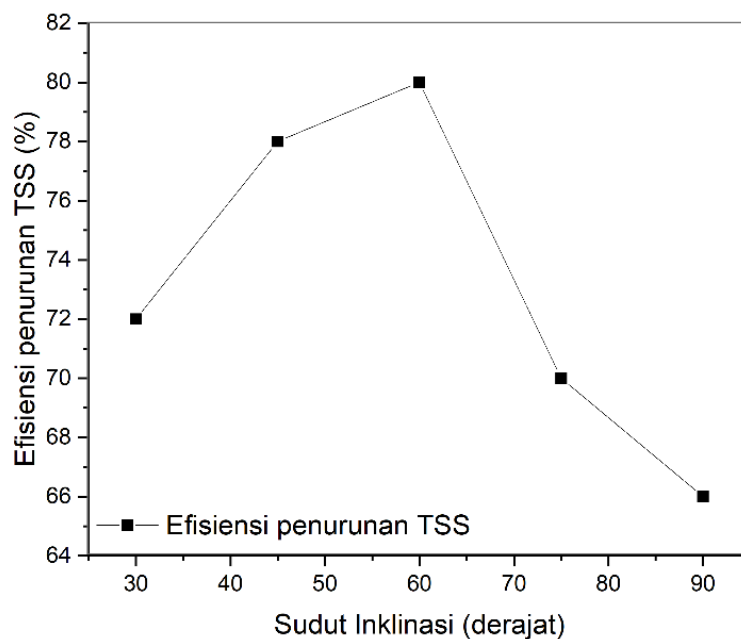
Modifikasi Unit Sedimentasi dengan Plate-Settler

Penambahan *plate-settler* pada unit sedimentasi ditujukan untuk menambah zona pengendapan. Berdasarkan Husaeni, Euis, & Okik (2016), tiga aliran yang melalui *plate settler* terbagi menjadi aliran *upflow*, *downflow*, dan *crossflow*. *Upflow* merepresentasikan turunnya partikel menuju *plate settler* dan mengalirnya air ke atas menuju outlet. *Downflow* merepresentasikan turunnya partikel ke dasar bak melalui *plate-settler*. *Crossflow* merepresentasikan aliran air bergerak secara menyilang sementara partikel mengendap turun ke dasar bak. Berdasarkan persamaan kecepatan vertikal pengendapan pada Persamaan (3) dan Persamaan (4), kecepatan vertikal pengendapan berbanding terbalik dengan besarnya sudut inklinasi (Gambar 4). Kecepatan pengendapan antara penggunaan *plate-settler* dengan inklinasi sebesar 90° memiliki nilai yang berimpitan karena nilai $\sin 90^\circ$ sama dengan 1, sedangkan penentuan kecepatan vertikal ditentukan berdasarkan hasil kali $\sin \alpha$ dan V_a . (Persamaan (4)).



Gambar 4. Hubungan antara diameter partikel, kecepatan vertikal pengendapan, dan perubahan sudut inklinasi

Umumnya semakin cepat suatu partikel mengendap, maka jumlah partikel di permukaan akan semakin sedikit, hal ini juga meningkatkan efisiensi reduksi partikel pada outlet sedimentasi. Akan tetapi, Gambar 4 menunjukkan bahwa kecepatan vertikal partikel terbesar diperoleh dengan menerapkan sudut inklinasi sebesar 15° . Jika mempertimbangkan prinsip perhitungan secara teoretis, kecepatan vertikal merepresentasikan jarak yang ditempuh suatu partikel dalam kurun waktu tertentu. Selain itu sudut inklinasi pada *plate-settler* merepresentasikan sudut yang terdekat dengan garis horizontal. Semakin besar sudut inklinasi yang diterapkan, maka jarak tempuh partikel untuk mengendap akan semakin kecil. Penerapan sudut inklinasi yang besar akan membantu proses akumulasi partikel yang memiliki kemampuan pengendapan yang rendah. Akan tetapi, penerapan *plate-settler* dengan sudut inklinasi 90° membuat *plate-settler* berada tegak lurus dengan dasar bak sedimentasi dan menyebabkan tidak adanya penambahan luas zona pengendapan. Oleh karena itu, partikel limbah cair akan lebih mudah sampai pada permukaan *plate settler* dengan sudut inklinasi 60° dan 75° (Gambar 4).



Gambar 5. Efisiensi penurunan TSS (%) berdasarkan perubahan sudut inklinasi *plate-settler* (Sumber: Husaeni, Euis, & Okik, 2016)

Kecepatan pengendapan bukan satu-satunya parameter yang mampu menunjukkan suatu sistem pengendapan bekerja dengan baik. Parameter lain yang dapat menunjukkan bahwa proses sedimentasi berjalan dengan baik, yaitu efisiensi reduksi TSS. Berdasarkan data riset reduksi TSS oleh Husaeni, Euis, & Okik (2016), nilai reduksi TSS terbesar diperoleh ketika sudut inklinasi *plate-settler* yang diterapkan sebesar 60° (Gambar 5). Penelitian lain yang dilakukan oleh Zhang et al. (2020) menyatakan bahwa semakin besar perbandingan panjang dan jarak *plate-settler* yang diterapkan pada modifikasi unit sedimentasi, maka nilai *surface loading rate* akan semakin besar. Perbandingan panjang dan jarak *plate-settler* merupakan definisi dari nilai cosinus sudut inklinasi *plate settler*. Semakin besar sudut inklinasi yang diterapkan maka semakin kecil nilai cosinus atau perbandingan panjang dan jarak *plate-settler*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar sudut inklinasi yang diterapkan maka nilai *surface loading rate* yang dihasilkan akan semakin kecil. Semakin kecil nilai *surface loading rate* yang diperoleh maka persentase reduksi TSS akan semakin besar (Tauhid, Oktawan, & Samudro, 2018).

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu efisiensi proses sedimentasi pada limbah cair industri kertas berhubungan erat dengan kecepatan jatuh partikel dan diameter partikel atau flok dalam limbah cair industri kertas. Modifikasi unit sedimentasi dengan variasi sudut inklinasi menunjukkan mekanisme reduksi partikel dalam limbah tidak hanya bergantung pada kecepatan vertikal, tetapi juga kemiringan optimum *plate-settler* sebagai alat untuk menambah zona pengendapan. Sudut inklinasi optimum berdasarkan perhitungan empiris dan kecepatan jatuh partikel menunjukkan bahwa sudut 60° memiliki efisiensi tertinggi dalam reduksi partikel limbah cair industri kertas.

REFERENSI

- Adam, M. A., & Maftuch, M. (2015). Evaluasi pengoptimalan instalasi pengolahan air limbah terhadap pencemaran Sungai Wangi di Pasuruan. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 2(1), 1–5. <https://doi.org/10.21776/ub.jeest.2015.002.01.1>
- Husaeni, N., Euis, N., & Okik, H. (2016). Penurunan konsentrasi total suspended solid pada proses air bersih menggunakan plate settler. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 4(1), 67–74.
- Isyuniarto, Usada, W., & Purwadi, A. (2007). Degradasi limbah cair industri kertas menggunakan oksidan ozon dan kapur. *Prosiding PPI-PDIPTN*, 55–60.
- Lee, C. C., & Lin, S. D. (2007). *Handbook of environmental engineering calculations, 2nd edition*. New York: McGraw-Hill Education.
- Mendez, C. A., Morales, M. C., & Merino, G. E. (2021). Settling velocity distribution of bioflocules generated with different carbon sources during the rearing of the river shrimp *Cryphiops caementarius* with biofloc technology. *Aquacultural Engineering*, 93(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102157>
- Novoa, A. F., Fortunato, L., Rehman, Z. U., & Leiknes, T. O. (2020). Evaluating the effect of hydraulic retention time on fouling development and biomass characteristics in an algal membrane photobioreactor treating a secondary wastewater effluent. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123348>
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). Wastewater treatment and reuse: Theory and design examples: Volume 1: Principles and basic treatment. In *Wastewater Treatment and Reuse, Theory and Design Examples: Volume 1: Principles and Basic Treatment*. <https://doi.org/10.1201/b22368>
- Ramin, E., Flores-Alsina, X., Sin, G., Gernaey, K. V., Jeppsson, U., Mikkelsen, P. S., & Plósz, B. G. (2014). Influence of selecting secondary settling tank sub-models on the calibration of WWTP models - A global sensitivity analysis using BSM2. *Chemical Engineering Journal*, 241, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.12.015>
- Rohmana, N. A., Azizah, N., & Hidayat, N. (2021). Teknologi penanganan limbah cair industri pengolahan susu sapi secara biologis: Artikel review. *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 9(2), 121–130. <https://doi.org/10.21776/ub.biotropika.2021.009.02.04>
- Rosidi, M., & Razif, M. (2017). Perancangan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri kertas halus. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 1–4. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21802>
- Said, N. I. (2015). Tangki septik filter up flow. In *Sistem pengolahan air limbah rumah tangga skala individual* (pp. 1–8).
- Sari, F. R., Annissa, R., & Tuhuloula, A. (2013). Perbandingan limbah dan lumpur aktif terhadap pengaruh sistem aerasi pada pengolahan limbah Cpo. *Konversi*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.128>

- Sarkar, S., Kamilya, D., & Mal, B. C. (2007). Effect of geometric and process variables on the performance of inclined plate settlers in treating aquacultural waste. *Water Research*, 41(5), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.015>
- Sharma, P., Tripathi, S., & Chandra, R. (2021). Metagenomic analysis for profiling of microbial communities and tolerance in metal-polluted pulp and paper industry wastewater. *Bioresource Technology*, 324(January), 124681. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124681>
- Tarpagkou, R., & Pantokratoras, A. (2014). The influence of lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment - A computational fluid dynamic study. *Powder Technology*, 268, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.030>
- Tauhid, A. I., Oktiawan, W., & Samudro, G. (2018). Penentuan surface loading rate (V_o) dan waktu detensi (td) air baku air minum Sungai Kreo dalam perencanaan prasedimentasi dan sedimentasi HR-WTP Jatibarang. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 10(2), 77–87. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol10.iss2.art1>
- Zhang, H., Zheng, S., Zhang, X., Duan, S., & Li, S. (2020). Optimizing the inclined plate settler for a high-rate microaerobic activated sludge process for domestic wastewater treatment: A theoretical model and experimental validation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 154(August), 105060. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2020.105060>