

STUDI PEMISAHAN PRODUK *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* (PCC) DAN AIR HASIL REAKSI ANTARA *MILK OF LIME* DAN CO_2 MENGGUNAKAN PROSES SEDIMENTASI

Nuryoto

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jendral Sudirman KM. 03 Cilegon, Banten

*Email: nuryoto@untirta.ac.id

Abstrak

Produk hasil reaksi perlu dilakukan pemisahan dari produk sampingnya sebagai upaya untuk memurnikan produk utama agar mempunyai nilai jual. Produk *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) merupakan hasil reaksi antara *milk of lime* (susu kapur) dan gas CO_2 dengan produk samping berupa air. Pada penelitian ini dicoba memisahkan air dan PCC menggunakan metode sedimentasi sebagai pemisahan awal sebelum dilakukan proses pemisahan lanjutan. Pemilihan ini didasari karena sedimentasi merupakan suatu metode yang sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan observasi awal untuk mengetahui bagaimana pengaruh laju alir dan konsentrasi PCC umpan terhadap efektivitas proses pengendapan produk PCC dengan melihat efisiensi pengendapannya. Penelitian dilakukan pada rentang laju alir 73-113 ml/s dan massa larutan PCC di dalam air 100-300 gram dengan volume air 15 liter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi terbaik dihasilkan pada massa PCC yang dilarutkan di dalam air sebesar 100 gram pada laju 100 ml/s dengan efisiensi pengendapan sebesar 75%.

Kata kunci: Kalsium karbonat, efektif, efisiensi, sedimentasi, massa

Abstract

The products from the reaction need to be separated from its by-products to purify the main product so that it has a selling value. *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) product results from a reaction between the *milk of lime* and CO_2 gas with a by-product in the form of water. This study tried to separate water and PCC using the sedimentation method as an initial separation before further separation processes were carried out. This choice is based on the fact that sedimentation is a method that is simple and easy to operate. The purpose of this study was to make preliminary observations to find out how the influence of the flow rate and concentration of feed PCC on the effectiveness of the PCC product deposition process by looking at the deposition efficiency. The research was carried out at a flow rate range of 73-113 ml/s and a mass of PCC solution in water of 100-300 grams with a volume of 15 liters of water. The results showed that the best conditions were produced when the mass of PCC dissolved in water was 100 grams at a rate of 100 ml/s with a settling efficiency of 75%.

Keywords: Calcium carbonate, effective, efficiency, sedimentation, mass

1. PENDAHULUAN

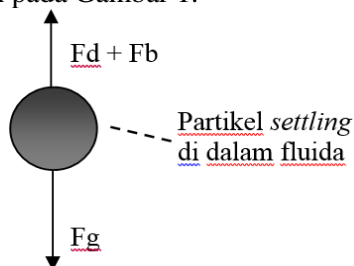
Precipitated Calcium Carbonate (PCC) berupa CaCO_3 merupakan hasil reaksi antara *milk of lime* (susu kapur) dan gas CO_2 dengan produk samping berupa air. Produk PCC sendiri bermanfaat untuk bahan pengisi dan pigmen pemutih yang dapat membuat kertas lebih cerah, pasta gigi, plastik, karet, obat dan makanan (Nuryoto dkk., 2021). Untuk memungut produk PCC yang dihasilkan dari proses reaksi yang terjadi di dalam reaktor, perlu adanya pemisahan antara PCC sebagai produk utama dan air sebagai produk samping. Pada penelitian ini dicoba melakukan pemisahan pertama dengan metode sedimentasi sebagai

pemisahan awal sebelum dilakukan proses pemisahan lanjutan.

Sedimentasi merupakan suatu metode yang sederhana, dan sudah cukup lama dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Pada tahun 1927 saja Calbeck dan Harner telah melakukan kajian terkait sedimentasi pada industri cat, dan pada tahun 1934 Hubbell menggunakan proses sedimentasi pada pengolahan air selokan. Metode sedimentasi cukup luas penggunaannya, misalnya pada pengolahan air dan pemisahan logam pada proses penambangan, serta pemisahan produk reaksi. Beberapa penelitian yang baru-baru ini melakukan kajian terkait sedimentasi guna menyelesaikan masalah yang dihadapi pada

suatu kasus diantara adalah Juraev dkk. (2022) yang melakukan kajian pada pengolahan air menjadi air minum, Fan dkk (2022) pada pemungutan logam pada proses penambangan di lautan, Koletova dkk. (2022) melakukan kajian fenomena proses sedimentasi di alam yaitu di perairan sungai, dan Fagundes dkk (2023) yang melakukan kajian sedimentasi terhadap fluida non newtonian.

Secara mendasar menurut Howe dkk. (2012) prinsip proses sedimentasi melibatkan tiga gaya utama yang bekerja pada suatu partikel padatan, yaitu *gravitation force* (F_g), *bouyance force* (F_b), dan *drag force* (F_d), yang dapat digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja dalam partikel pada proses sedimentasi.

Gaya-gaya tersebut dipengaruhi oleh densitas partikel, densitas fluida, volume partikel, dan koefisien drag (Howe dkk., 2012), yang notabene merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengendapan yang terjadi pada suatu proses sedimentasi. Interaksi antar gaya yang terlibat akan sangat mempengaruhi kecepatan pengendapan terjadi pada proses sedimentasi. Secara empirik kecepatan pengendapan pada proses sedimentasi dapat dituliskan seperti pada Persamaan (1).

$$v_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_p - \rho_w)d_p}{3C_d \rho_w}} \quad (1)$$

Untuk nilai C_d (koefisien drag) merupakan fungsi bilangan Reynolds (Re), dengan ketentuan tersaji pada Persamaan (2)-Persamaan (4).

$$C_d = \frac{24}{Re}, \quad Re < 2 \quad (\text{aliran laminar}) \quad (2)$$

$$C_d = \frac{28,5}{Re^{0,6}}, \quad 2 \leq Re \leq 500 \quad (\text{aliran transisi}) \quad (3)$$

$$C_d = 0,44, \quad 500 \leq Re \leq 2 \times 10^5 \quad (\text{turbulen}) \quad (4)$$

Untuk bilangan Reynolds (Re) sendiri dapat dinyatakan dengan Persamaan (5)

$$Re = \frac{\rho_w v_s d_p}{\mu} \quad (5)$$

Di mana,

g = konstanta universal gas, $9,81 \text{ m/s}^2$

ρ_p = densitas partikel (CaCO_3), kg/m^3

ρ_w = densitas air, kg/m^3

μ = viskositas, N.s/m^2 atau kg/m.s

d_p = ukuran partikel, m

Pada penelitian ini dicoba melakukan kajian sedimentasi guna memisahkan produk PCC dengan impurities air mengacu pada penelitian Juraev dkk. (2022) dan Amelia dkk. (2022), yang mana menggunakan alat berupa bak dengan kemiringan tertentu, seperti settler yang sering digunakan pada pengolahan limbah. Hal ini dilakukan karena pada penelitian Juraev dkk. (2022) dan Amelia dkk. (2022) menunjukkan kinerja yang baik dengan pemisahan menggunakan bak tersebut. Hasil penelitian Amelia dkk. (2022) menunjukkan bahwa sudut kemiringan yang dikenal sudut inklinasi sangat mempengaruhi proses pengendapan partikel, yang mana dengan sudut kemiringan $45-60^\circ$ menghasilkan kecepatan pengendapan yang tinggi.

Secara fenomema yang terjadi antara penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh Juraev dkk. (2022) dan Amelia dkk. (2022) tentunya akan berbeda, karena kadar zat dan jenis zat yang akan dipisahkan berbeda. Jadi permasalahannya adalah bagaimana memaksimalkan proses pengendapan PCC yang terjadi, agar mempunyai tingkat capaian yang sama baik dengan penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan observasi awal untuk mengetahui bagaimana pengaruh laju alir dan konsentrasi PCC umpan terhadap efektivitas proses pengendapan produk PCC dengan melihat efisiensi pengendapannya.

Pemilihan observasi laju alir umpan dan konsentrasi PCC didasari dari Persamaan (1)-Persamaan (5), yang secara mendasar akan berpengaruh besar terhadap bilangan Reynolds dan kecepatan pengendapan yang terjadi. Harapan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai informasi awal bagaimana pengaruh faktor laju alir dan konsentrasi PCC terhadap pemisahan awal produk PCC dan air, sehingga bisa dilakukan perbaikan yang

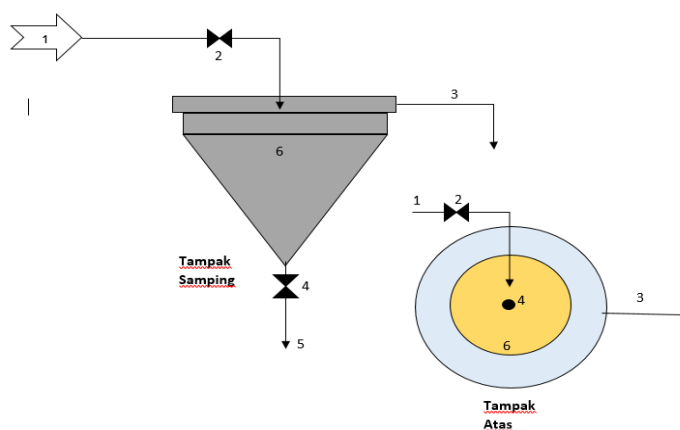
diperlukan untuk mendapatkan kondisi operasi pengendapan yang efektif dan efisien, dan menentukan jenis pemisahan lanjutan yang akan dipakai nantinya.

2. METODE PENELITIAN

2.2. Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa larutan CaCO_3 yang dibeli dari

marketplace (Shopee), dan setelah dilakukan pengayakan dengan ayakan, PCC mempunyai ukuran 150 mesh atau jika dikonversikan menjadi 0,106 mm (Industrial Specialities Mfg, 2015). Air yang digunakan sebagai pelarut berasal dari air PAM produksi PT. XYZ. Untuk peralatan utama penelitian yang digunakan tersaji pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik peralatan Penelitian: (1) umpan masuk dari tangki homogenisasi via pompa, (2) kerangan masuk, (3) luaran air, (4) kerangan keluaran produk PCC, (5) luaran produk PCC, dan (6) tangki settler.

2.2. Prosedur Percobaan

Tahap percobaan terbagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap persiapan, tahap kalibrasi laju alir umpan, dan tahap ketiga merupakan tahapan inti dari proses sedimentasi.

- Tahap pertama

Tahap pertama merupakan tahap pembuatan larutan PCC, yang mana larutan PCC dibuat dengan melarutkan PCC dengan perbandingan antara PCC (CaCO_3) dengan air adalah 100 – 300 gram PCC: 15 liter air. Setelah tercampur sempurna, dilakukan pengambilan sampel guna dilakukan analisis densitas menggunakan piknometer dan viskositas menggunakan viscometer ostwald.

- Tahap kedua

Tahap kedua adalah tahap kalibrasi kerangan untuk menentukan laju alir umpan proses sedimentasi dengan mengatur bukaan kerangan (valve). Larutan yang telah disiapkan pada tahap pertama, dialirkan melalui jalur no. (1) dengan mengatur bukaan kerangan (2). Kerangan dibuka dengan bukaan masing-masing 1; 1,25; dan 1,5 putaran. Pengukuran guna penentuan laju alir umpan dengan

menggunakan gelas ukur pada waktu tertentu pada luaran air no.(3). Hasil kalibrasi diperoleh laju alir umpan masing-masing untuk 1; 1,25; dan 1,5 putaran kerangan adalah 73 ; 100; dan 113 ml/s.

-Tahap ketiga

Pada tahap ketiga merupakan tahap proses sedimentasi. Langkah pertama adalah dengan membuka kerangan no. (2) (mengacu pada bukaan kerangan pada tahap 2) dengan laju alir umpan tertentu 73 ; 100; dan 113 ml/s. Setelah cairan meluap keluar ke luaran no.(3), dan telah tunak dengan ditandai telah ada overflow ke line luaran no.,3 (kurang lebih 10 menit), maka sampel mulai diambil untuk dilakukan analisis berupa densitas menggunakan piknometer. Untuk kerangan no. (4) tetap tertutup (kerangan no. (4) di buka ketika mengambil/mengalirkan produk hasil sedimentasi ketika di lihat sudah banyak produk PCC yang terendapkan di dasar settler dengan membuka pada bukaan tertentu). Langkah yang sama dilakukan untuk semua variasi laju alir dan konsentrasi larutan PCC pada percobaan yang dilakukan.

Perhitungan efisiensi berbasis densitas inlet, outlet dan air, yang dapat dituliskan pada Persamaan (6)

$$E = \frac{[\rho_{inlet} - \rho_{air}] - [\rho_{outlet} - \rho_{air}]}{[\rho_{inlet} - \rho_{air}]} \times 100 \% \quad (6)$$

Dimana,

E = efisiensi pengendapan, %

ρ_{inlet} = densitas awal (umpan masuk), kg/m^3

ρ_{outlet} = densitas pada luaran line no.3, kg/m^3

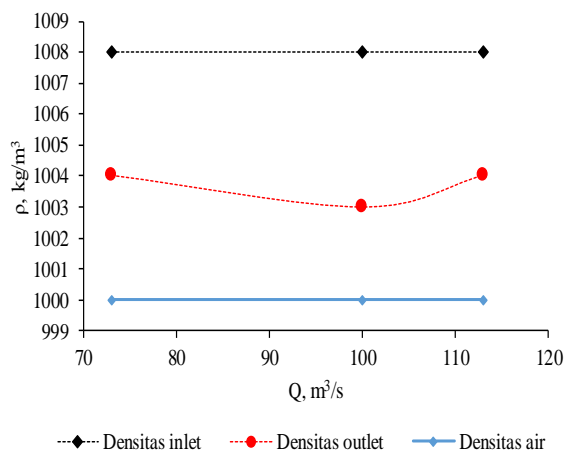
ρ_{air} = densitas air murni, 1000 kg/m^3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Laju Alir

Pada Gambar 2 terlihat pada laju 73 dan 100 ml/s pengendapan PCC mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya laju alir, tetapi berbeda pada laju 113 ml/s, proses pengendapan mengalami penurunan. Hal tersebut didasari dari densitas luaran yang mendekati atau menjauhi dari densitas air (1000 kg/m^3). Pada dasarnya, ketika densitas luaran (oulet) sama dengan densitas air, maka dapat dikatakan proses penyisihan PCC berjalan sempurna, artinya PCC terendapkan semua ke bawah dan yang keluar pada *outlet* adalah air murni.

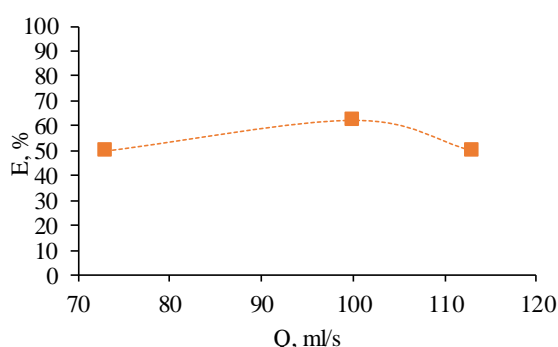
Jika diperhatikan penurunan densitas yang terjadi pada penelitian ini dari densitas awal (umpan) sebesar 1008 kg/m^3 menjadi berturut-turut 1004; 1003; dan 1004 kg/m^3 untuk laju 73 ; 100; dan 113 ml/s. Ini membuktikan bahwa alat *settler* yang digunakan pada laju 100 ml/s telah mencapai batas maksimal. Ketika laju alir dinaikan ke 113 ml/s terjadi peningkatan gaya vertikal partikel khususnya *bouyance force* (F_b), sehingga proses sedimentasi mengalami penurunan yang ditandai dengan terjadinya peningkatan densitas luaran yang dihasilkan (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Pangaruh laju alir umpan terhadap penurunan densitas pada massa PCC 200 gram

Bahkan jika laju alir dinaikan lagi, maka bisa jadi gaya vertikal lebih tinggi dari gaya gravitasi, maka proses pengendapan tidak akan terjadi, dan densitas luaran (outlet) akan sama dengan densitas *inlet*-nya.

Data densitas yang ada pada Gambar 2, ketika dimasukkan ke dalam Persamaan (6), terlihat bahwa efisiensi sedimentasi yang dihasilkan berurutan adalah, 50; 62,5 ; dan 50%. Jadi efisiensi maksimal yang dapat dicapai pada rentang laju alir umpan 73-113 ml/s adalah sebesar 62,5% yang diperoleh pada laju 100 ml/s (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Pangaruh laju alir umpan terhadap efisiensi sedimentasi pada massa PCC 200 gram

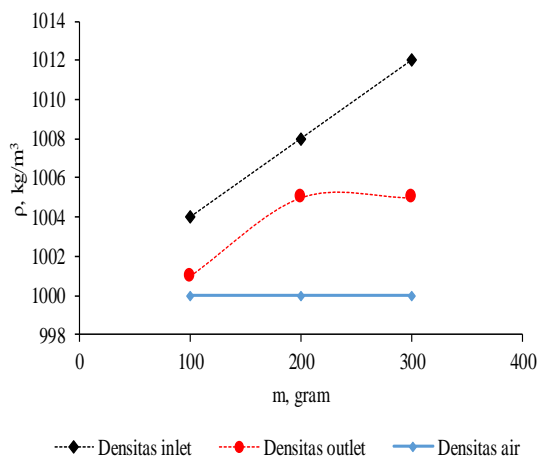
Terlihat hasil perhitungan Persamaan (6) yang tersaji pada Gambar 3 menunjukkan bahwa efisiensi pada laju 73 ml sama dengan efisiensi pada 113 ml/s yaitu sebesar 50%. Jadi dari data tersebut memberikan informasi bahwa pada proses sedimentasi, peningkatan laju alir tidak serta-merta meningkatkan efisiensi

pengendapan yang dihasilkan, bahkan dapat menjadikan hasil efisiensi mengalami penurunan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Smet dkk. (2017) pada *removal* padatan tersuspensi menunjukkan fenomena serupa, yang mana efisiensi mengalami penurunan dengan meningkatkan laju alir umpan persatuan luas beban yang diberikan pada tangki sedimentasi. Data dari hasil penelitian pada Jover-Smet dkk. (2017) menunjukkan bahwa pada laju $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ efisiensi sebesar 0,60 bagian (60%) dan pada laju $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ efisiensi yang dihasilkan sebesar 0,54 bagian (54%).

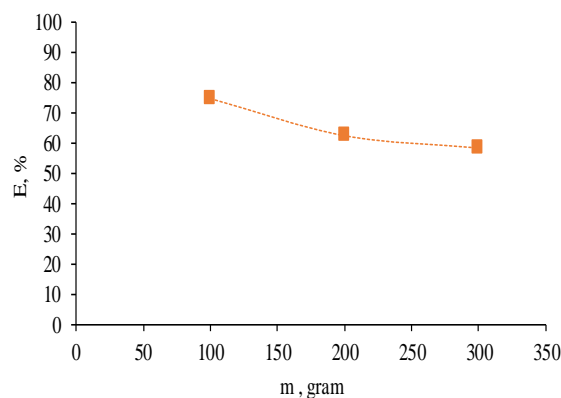
3.2. Pengaruh Konsentrasi PCC

Pada Gambar 4 terlihat peningkatan massa PCC yang dilarutkan ke dalam air, akan diikuti dengan peningkatan densitas umpan masuk, yaitu untuk massa 100, 200, dan 300 gram sebesar 1004, 1008, dan 1012 kg/m^3 . Seiring peningkatan massa PCC yang dilarutkan ke dalam air yaitu 100, 200, dan 300 gram dengan laju alir umpan yang sama yaitu 100 ml/s, penurunan densitas yang dihasilkan adalah 1004 ke 1001 kg/m^3 untuk massa PCC 100 gram, 1008-1005 kg/m^3 pada massa PCC 200 gram, dan 1012 ke 1005 kg/m^3 (lihat Gambar 4).

Ketika data pada Gambar 4 masukan ke Persamaan (6), ternyata efisiensi tertinggi diperoleh pada massa PCC 100 gram yaitu 75%, sedangkan yang lainnya adalah 62,5% untuk massa PCC 200 gram, dan 50% untuk massa PCC 300 gram. Jadi kondisi optimal yang diperoleh pada rentang massa PCC yang terlarut dari 100 – 300 gram adalah pada 100 gram (lihat Gambar 5).



Gambar 4. Pangaruh massa PCC pada umpan terhadap penurunan densitas pada laju 100 ml/s



Gambar 5. Pangaruh massa PCC pada umpan terhadap efisiensi sedimentasi pada laju 100 ml/s

Fenomena ini menunjukkan bahwa dengan dinaikan konsentrasi umpan ke dalam *settler*, maka gaya vertikal mengalami peningkatan, dan efeknya efisiensi pengendapan mengalami penurunan. Untuk gaya vertikal yang lebih dominan yaitu pada *drag force*, karena dengan dinaikan massa PCC maka jumlah partikel PCC yang ada di dalam larutan akan semakin banyak. Semakin banyak jumlah partikel di dalam sistem, dapat meningkatkan interaksi permukaan antar partikel yang ada, yang arah gerakannya adalah vertikal (ke atas) dan ini akan meningkatkan *drag force*. *Drag force* dipengaruhi oleh koefisien drag (C_d) yang merupakan fungsi Reynolds, dan Reynolds sendiri berbanding terbalik dengan viskositas (Howe dkk., 2012; Green & Southard (2019)). Jadi fenomena pada Gambar 4 dan Gambar 5, selaras dengan teori tersebut dan juga selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Haryati (2010). Pada penelitian yang dilakukan Haryati (2010), yang dilakukan pada waktu tinggal 50 menit menunjukkan bahwa pada konsentrasi suspensi 400-420 mg/l efisiensi pengendapan mengalami peningkatan, tetapi sebaliknya pada 440 mg/l mengalami penurunan.

Guna melihat lebih jauh terhadap fenomena yang terjadi pada proses sedimentasi, pada penelitian ini dicoba melakukan perhitungan kecepatan pengendapan dengan menggunakan pendekatan Persamaan (1) – Persamaan (5). Tetapi hanya dilakukan pada kondisi terbaik pada masing-masing variasi yaitu pada laju alir umpan 100 ml/s (untuk pengaruh laju) dan 100 gram (untuk pengaruh massa PCC). Perhitungan dengan pendekatan awal adalah laminar, lalu dilakukan

pengecekan apakah memang pendekatan yang dilakukan benar atau salah. Jika $Re < 2$ berarti benar, jika hasil $Re > 2$ maka perlu dicoba lagi, dan seterusnya.

Tabel 1. Kecepatan pengendapan pada kondisi terbaik masing-masing variasi

Laju 100 ml/s		Massa 100 gram	
Vs, m/s	Re	Vs, m/s	Re
0,0117	1,0945	0,0168	1,3323

- μ rerata yang digunakan dalam perhitungan: 0,000131 kg/m.s

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pendekatan yang dilakukan adalah benar, terbukti dari pengecekan harga Reynold (Re) < 2 , yang mana notabene adalah laminar. Terlihat dari Tabel 1 bahwa kecepatan pengendapan pada variasi 100 gram lebih besar dibanding pada variasi laju alir yaitu 100 ml/s. Jadi wajar jika efisiensi yang dihasilkan pada variasi massa PCC lebih besar dibandingkan variasi laju alir umpan (75% untuk variasi massa dan 62,5% untuk variasi laju alir umpan).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa proses pemisahan untuk rentang laju 73-113 ml/s dan konsentrasi PCC : air sebesar 100-300 gram : 15 liter menunjukkan bahwa kondisi optimal dihasilkan pada laju 100 ml/s dan konsentrasi PCC : air sebesar 100 gram : 15 liter dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 75%. Hasil ini cukup baik untuk pemisahan pertama untuk memisahkan pada konsentrasi PCC rendah, seperti yang dilakukan pada penelitian ini, tetapi masih perlu diobservasi lagi untuk konsentrasi lebih pekat, karena fenomenanya bukan lagi free settling tapi masuk kategori Hindered settling. Hal ini perlu dilakukan karena seringkali kadar susu kapur yang direaksi dan CO_2 mempunyai kepekatan yang tinggi, sehingga PCC yang dihasilkan juga akan mempunyai kepekatan yang tinggi pula.

DAFTAR PUSTAKA

Amelia, F., Ajie, O. W. P., Nugrohoputri, A. S., Saputro, N. D., & Kurniawan, A. (2022). Pengaruh Sudut Inklinasi Plate-Settler terhadap Kecepatan Vertikal Proses Sedimentasi pada Pengolahan Limbah Cair Kertas. *Semesta Teknika*, 25(2), 109-117.

Calbeck, J. H., & Harner, H. R. (1927). Particle Size and Distribution by Sedimentation

Method1. *Industrial & Engineering Chemistry*, 19(1), 58-61.

Fagundes, F. M., Santos, N. B. C., Basilio, A., Souza, E. A., Damasceno, J. J. R., & Arouca, F. O. (2023). Evaluation of low-gravity-solids sedimentation in non-Newtonian synthetic-based drilling fluids monitored by gamma-ray attenuation technique. *Separation Science and Technology*, 58(3), 551-561.

Fan, Z., Jia, Y., Chu, F., Zhu, X., Zhu, N., Li, B., & Quan, Y. (2022). Effects of Migration and Diffusion of Suspended Sediments on the Seabed Environment during Exploitation of Deep-Sea Polymetallic Nodules. *Water*, 14(13), 2073.

Green, D. W., & Southard, M. Z. (2019). *Perry's chemical engineers' handbook*. McGraw-Hill Education.

Haryati, S. (2010). STUDI PENGARUH WAKTU PENGENDAPAN DAN KONSENTRASI AWAL PARTIKEL PADAT LIMBAH DARI OUTLET FLOKULATOR TERHADAP EFISIENSI PENGENDAPAN LIMBAH PADA SISTEM UTILITAS PUSRI-III. *Jurnal Purifikasi*, 11(1), 61-70.

Howe, K. J., Hand, D. W., Crittenden, J. C., Trussell, R. R., & Tchobanoglous, G. (2012). *Principles of water treatment*. John Wiley & Sons.

Hubbell, G. E. (1934). Experiments with Inlet Devices for Sedimentation Tanks. *Sewage Works Journal*, 774-783.

Hutasuhut, A., Ismanto, A., Rochaddi, B., Maslukah, L., & Widiarati, R. (2022). Sediment Suspension Distribution Models in East Canal Flood Estuary Waters, Semarang, Central Java, Indonesia. *Tropical Aquatic and Soil Pollution*, 2(2), 76-89.

Jover-Smet, M., Martin-Pascual, J., & Trapo, A. (2017). Model of suspended solids removal in the primary sedimentation tanks for the treatment of urban wastewater. *Water* 9 (6), 448.

Juraev, S., Akramov, A., Abdurazzokov, A., & Pathidinova, U. (2022, August). Increasing the efficiency of sedimentation tanks for drinking water treatment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1076, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.

- Kaletova, T., Arifjanov, A., Samiev, L., & Babajanov, F. (2022). Importance of river sediments in soil fertility. *Journal of Water and Land Development*, 21-26.
- Nuryoto, N., Mas'ulunniah, N., Choerunnisa, A. S., & Suripno, S. (2021). PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA UNTUK SINTESIS PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE (PCC) DENGAN METODE KARBONASI. *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 10(2), 90-95.
- Siev, S., Heu, R., Yang, H., Sok, T., Sovannara, U., Khanal, R., ... & Yoshimura, C. (2022). Sediment and Suspended Solids: Spatiotemporal Dynamics. In *Water and Life in Tonle Sap Lake* (pp. 157-165). Singapore: Springer Nature Singapore.