

Pengaruh Kemiringan dan Diameter *Tube Settler* terhadap Kinerja Unit Sedimentasi

Ramsiska Novemi¹, Ismi Khaerunnisa Ariani¹, Eka Masrifatus Anifah^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

Email: ekamasrifatus@itk.ac.id

Received 5 Agustus 2024 | Revised 10 Agustus 2024 | Accepted 15 Agustus 2024

ABSTRAK

Unit sedimentasi yang bekerja tidak optimal mengakibatkan rendahnya kualitas efluen. Oleh sebab itu, modifikasi diperlukan dengan cara menambah tube settler di zona pengendapan untuk meningkatkan efisiensi IPAL. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kemiringan dan diameter tube settler pada proses sedimentasi terhadap kualitas efluen. Penelitian dilakukan secara kontinu menggunakan reaktor sedimentasi dengan debit aliran 94,44 L/jam dan waktu detensi 3 jam. Variabel yang digunakan yaitu kemiringan (40°, 55°, dan 70°) dan diameter (4, 6, dan 8 cm). Semakin besar diameter dan kemiringan tube settler semakin rendah efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan. Efisiensi penyisihan TSS yang paling tinggi yaitu pada kemiringan 55° dan diameter 4 cm sebesar 57,14%. Efisiensi penyisihan kekeruhan yang paling tinggi yaitu pada kemiringan 70° dan diameter 6 cm sebesar 86,84%. Penambahan tube settler pada unit sedimentasi dapat meningkatkan efisiensi penyisihan TSS sebesar 60%, sehingga terjadi peningkatan kualitas efluen IPAL.

Kata kunci: air limbah, kekeruhan, sedimentasi, total suspended solid, tube settler

ABSTRACT

An inefficient sedimentation process deteriorates effluent quality in WWTP. Tube settler integration to the clarification zone is required. The research aims to determine the effect of the tube settler slope and diameter on the sedimentation unit efficiency. The experiment was conducted in a continuous sedimentation reactor with a flow rate of 94.44 L/hour and a detention time of 3 hours. The slope is 40°, 55°, and 70°, and the diameter is 4, 6, and 8 cm. The larger the diameter and higher slope of the tube settler, the lower the TSS and turbidity removal efficiency. The highest TSS removal of 57.14% was obtained at the slope 55° slope and a diameter of 4 cm. The tube settler with a slope of 70° and a diameter of 6 cm demonstrated the highest turbidity removal of 86.84%. The tube settler increased the TSS removal efficiency by 60%.

Keywords: sedimentation, total suspended solid, tube settler, turbidity, wastewater

1. PENDAHULUAN

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah serangkaian unit-unit yang digunakan untuk mengolah air limbah agar air olahan dapat dibuang ke badan air tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan. Unit sedimentasi didesain untuk mengumpulkan dan mengendapkan *total suspended solid* (TSS) dari flok pengolahan biologis air limbah dengan cara gravitasi. Partikel yang memiliki massa jenis lebih tinggi dari air akan mengendap di dasar unit sedimentasi. Perencanaan bangunan sedimentasi yang baik adalah efisiensi pengendapan flok sekitar kurang lebih 95%, fleksibel terhadap kualitas dan kuantitas air. Salah satu pertimbangan dalam mendesain unit sedimentasi adalah luas lahan yang diperlukan, karena efisiensi penyisihannya dipengaruhi oleh luas permukaan [1].

Permasalahan dari unit sedimentasi yang terjadi di IPAL adalah efektivitas pengendapan partikel dan luas lahan yang tersedia. Proses pengendapan kurang efektif karena masih banyak flok biologis yang tidak terendapkan dengan baik. Hal ini dapat mempengaruhi unit pengolahan selanjutnya karena efisiensi penyisihan TSS yang tidak optimal. Peningkatan kapasitas IPAL terhambat karena luas lahan yang terbatas. Oleh sebab itu perlu adanya langkah lain untuk memodifikasi unit sedimentasi untuk meningkatkan efisiensi penyisihan TSS tanpa perlu menambah luas lahan yang tersedia. Salah satu langkah yang dapat dilakukan yaitu dengan menambah *tube settler* di zona pengendapan unit sedimentasi.

Tube settler merupakan teknologi yang digunakan untuk meningkatkan kinerja bak sedimentasi. *Tube settler* dapat meningkatkan kapasitas bak pengendapan, mengurangi waktu detensi, meningkatkan kualitas air limbah dan mengurangi biaya operasi [2]. Penambahan *tube settler* di unit sedimentasi memiliki efisiensi penyisihan TSS sekitar 86,11%-89,64% dan nilai ini lebih tinggi daripada penggunaan *plate settler* yang berkisar 69,59%-74,11% [3].

Tube settler digunakan dengan sudut kemiringan tertentu karena proses pengendapan lebih bergantung pada area pengendapan daripada waktu detensi [4]. Fungsi utama *tube settler* adalah untuk menyediakan area pengendapan yang lebih besar dalam kondisi aliran laminar [4]. Bilangan Reynolds (NRe) dan Froude (NFr) dapat digunakan sebagai pengecekan aliran laminar. Bilangan tersebut dapat mempengaruhi proses pengendapan partikel yang terjadi pada reaktor sedimentasi [5]. Adanya aliran yang turbulen akan menjadi penghambat sedimentasi partikel tersuspensi pada permukaan bawah *tube*, sehingga aliran laminar merupakan kunci untuk menangkap partikel-partikel tersebut di dalam bak pengendapan [6]. Faktor lain yang berpengaruh pada kinerja penyisihan menggunakan *tube settler* yaitu bentuk, diameter, dan kemiringan. Bentuk *tube settler* memiliki berbagai macam bentuk seperti persegi, lingkaran, persegi panjang, dan heksagonal [7]. Penelitian terdahulu menjelaskan bagaimana pengaruh variasi bentuk dan diameter *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan TSS, dimana didapatkan penyisihan optimal adalah menggunakan bentuk heksagonal [8]. *Tube settler* yang berbentuk heksagonal dapat meningkatkan nilai efisiensi penyisihan TSS karena memiliki ruang pada sudut-sudut samping *tube* yang dapat menahan partikel agar tidak terbawa aliran permukaan menuju outlet sedimentasi [8]. Semakin kecil diameter *tube settler* maka sudut kemiringan yang dibutuhkan untuk penyisihan akan semakin besar. Hasil penyisihan kekeruhan terbaik sebesar 93% yang diperoleh pada kemiringan 60° dengan diameter 2 inci [9]. Selain itu, *tube settler* sangat efisien dalam menyisihkan partikel flok pada sudut kemiringan 48°, 54°, dan 60° [10]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kemiringan dan diameter *tube settler* pada kinerja proses sedimentasi dalam menurunkan kekeruhan dan TSS.

2. METODOLOGI

2.1 Air Limbah IPAL

Air limbah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari bak aerasi dan unit sedimentasi salah satu IPAL di Kalimantan Timur. Sampel air limbah diambil di 2 lokasi titik pengambilan sampel yaitu titik pertama pada bak aerasi sebagai inlet dari bak sedimentasi dan titik kedua pada akhir proses bak sedimentasi.

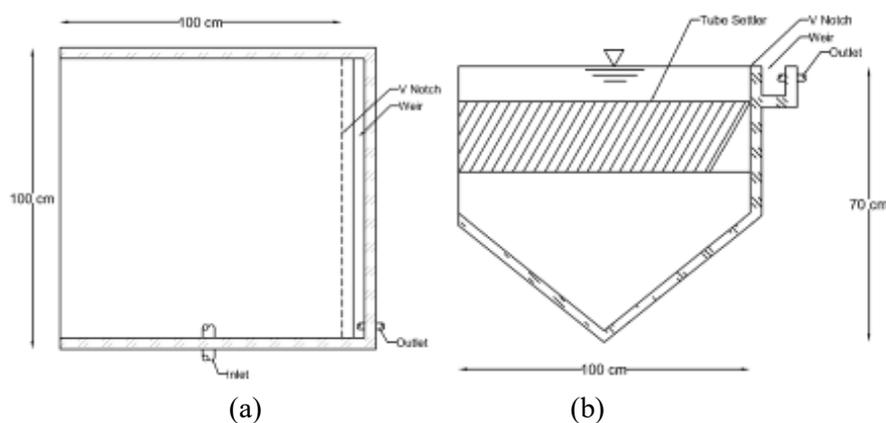
2.2 Reaktor Sedimentasi

Reaktor sedimentasi yang digunakan terbuat dari kaca dengan ukuran lebih kecil dari kondisi eksisting unit sedimentasi. Perbandingan antara ukuran bak sedimentasi dengan reaktor sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan ukuran bak sedimentasi dan reaktor sedimentasi

Parameter (satuan)	Bak Sedimentasi	Reaktor Sedimentasi
Panjang (m)	5	1
Lebar (m)	5	1
Kedalaman (m)	3,5	0,7

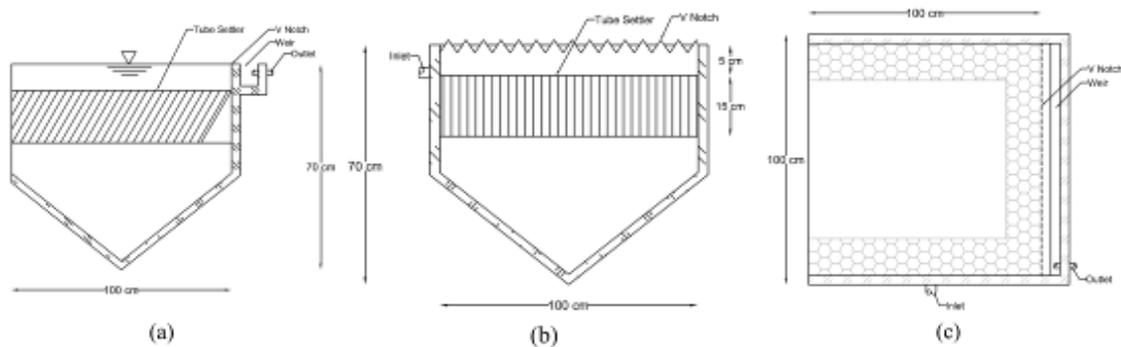
Bak sedimentasi berbentuk *rectangular* dengan di bagian bawahnya berbentuk limas segi empat terbalik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Volume reaktor sedimentasi adalah 0,283 m³ atau 283 liter. Debit aliran adalah 94,44 L/jam, dihitung berdasarkan waktu detensi sesuai kriteria desain unit sedimentasi yaitu 3 jam. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai *over flowrate* (OFR) dan *weir loading* sebesar 2,27 m³/m².hari dan 0,765 m³/m.hari. Pengecekan jenis aliran di reaktor sedimentasi dilakukan untuk memastikan kondisi aliran laminar. Bilangan Reynolds sebesar 1754 didapatkan dari perhitungan. Hal ini menunjukkan aliran laminar terjadi di reaktor sedimentasi.



Gambar 1. (a) Denah dan (b) potongan reaktor sedimentasi

2.3 Tube Settler

Tube settler yang digunakan berbahan PVC Foam Board dengan bentuk heksagonal. Tinggi *tube settler* yang digunakan adalah 15 cm. Gambar 2 dan 3 menunjukkan peletakan dan *tube settler* yang digunakan.



Gambar 2. Peletakan *tube settler*; (a) tampak samping, (b) tampak depan, dan (c) tampak atas



(a) Tampak atas

(b) Tampak samping

Gambar 3. Peletakan *tube settler* (a) tampak atas (B) tampak samping

2.4 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kinerja reaktor sedimentasi tanpa *tube settler*. Debit aliran yang digunakan pada reaktor adalah 94,44 L/jam dan waktu detensi adalah 3 jam. Sampel efluen air limbah diambil 1 jam setelah waktu detensi terpenuhi. Parameter air limbah yang diukur meliputi TSS dan kekeruhan. Pengukuran parameter TSS dilakukan dengan metode gravimetri dan nilai kekeruhan dilakukan dengan turbidimeter. Hasil pengukuran yang didapatkan dari penelitian pendahuluan digunakan sebagai perbandingan dengan data pada penggunaan reaktor menggunakan *tube settler*.

2.5 Penelitian Utama

Diameter *tube settler* yang digunakan adalah 4,6, dan 8 cm. Variabel kemiringan *tube settler* pada penelitian ini adalah 40°, 55°, dan 70°. Untuk proses kerja reaktor, air limbah dialirkan selama 3 jam, setelah 1 jam kemudian, pengambilan sampel di bak efluen dilakukan. Selanjutnya, sampel efluen diukur karakteristiknya seperti TSS dan kekeruhan.

2.6 Perhitungan Efisiensi Penyisihan dan Analisis Statistik

Persamaan (1) digunakan untuk mengetahui persentase penyisihan TSS dan kekeruhan, dimana C_{in} adalah konsentrasi awal dan C_{out} adalah konsentrasi akhir. Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan. *One Way Anova (Analysis of Variance)* dilakukan menggunakan SPSS dengan rentang kepercayaan 95%.

$$\text{Persentase Penyisihan} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Air Limbah Unit Aerasi

Inlet bak sedimentasi berasal dari bak aerasi. Proses aerasi menghasilkan flok-flok biologis yang selanjutnya akan diendapkan pada bak sedimentasi. Tabel 2 menunjukkan karakteristik air limbah pada bak aerasi yang akan digunakan sebagai inlet reaktor sedimentasi dalam penelitian.

Tabel 2. Karakteristik Air Limbah di Unit Aerasi

Parameter	Nilai	Kriteria Desain	Satuan
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	204,49	-	mg/L
<i>Mixed Liquor Suspended Solid</i> (MLSS)	4900,00	3000-6000	mg/L
<i>Sludge Volume Index</i> (SVI)	51,02	50-150	mL/gram

Hasil penelitian menunjukkan nilai COD yang tinggi karena sampel yang diambil masih berada pada proses aerasi. Pada proses ini, injeksi oksigen pada air limbah masih dilakukan untuk membantu mikroorganisme menguraikan zat-zat organik. Pada pengolahan secara biologi dengan lumpur aktif, mikroorganisme tumbuh dalam flok yang terdispersi dan mendegradasi kandungan zat organik di dalam air limbah. COD digunakan sebagai substrat oleh mikroorganisme untuk memanfaatkan zat-zat organik tersebut dalam bertahan hidup [11]. Konsentrasi MLSS masih memenuhi kriteria desain bak aerasi. Ini menunjukkan bahwa proses aerasi masih berjalan secara efektif. Nilai SVI menunjukkan bahwa flok-flok biologis yang dihasilkan dapat diendapkan dengan baik. Secara umum, kualitas lumpur yang baik memiliki SVI dalam kisaran 50-150 mL/gram. Semakin tinggi SVI, semakin lambat lumpur mengendap. Jika lumpur mengendap terlalu lambat, hal ini akan menyebabkan lumpur terbawa aliran efluen pada bak sedimentasi [12]. Sebaliknya, apabila SVI terlalu rendah akan terbentuknya *pin floc*. Pada gejala *pin floc* ini, lumpur aktif akan pecah menjadi flok-flok yang halus dan akan ikut keluar bersama efluen, sehingga air olahan menjadi keruh [13].

3.2 Karakteristik Air Limbah Inlet dan Outlet Unit Sedimentasi

Karakteristik air limbah inlet dan outlet unit sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 3. Konsentrasi TSS pada outlet bak sedimentasi (160 mg/L) masih melebihi baku mutu air limbah domestik, dan efisiensi penyisihan TSS pada bak sedimentasi hanya sebesar 20%. Tingginya konsentrasi TSS diartikan bahwa bak sedimentasi kurang bekerja secara optimal dalam menyisihkan TSS. *Tube settler* dapat digunakan untuk meningkatkan kerja dari bak sedimentasi. *Tube settler* adalah kumpulan *tube* berukuran kecil yang biasanya dipasang pada sudut kemiringan tertentu [6]. Kedalaman partikel untuk mengendap akan lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman bak sedimentasi konvensional, sehingga memungkinkan partikel untuk mengendap lebih cepat [3,14].

Tabel 3. Karakteristik Air Limbah di Unit Sedimentasi

Parameter	Inlet	Outlet	Baku Mutu*	Satuan
pH	7,52	7,42	6-9	-
Suhu	25	26	-	C
TSS	200	160	30	mg/L
Kekeruhan	7,6	4,8	-	NTU

*Sumber: [15]

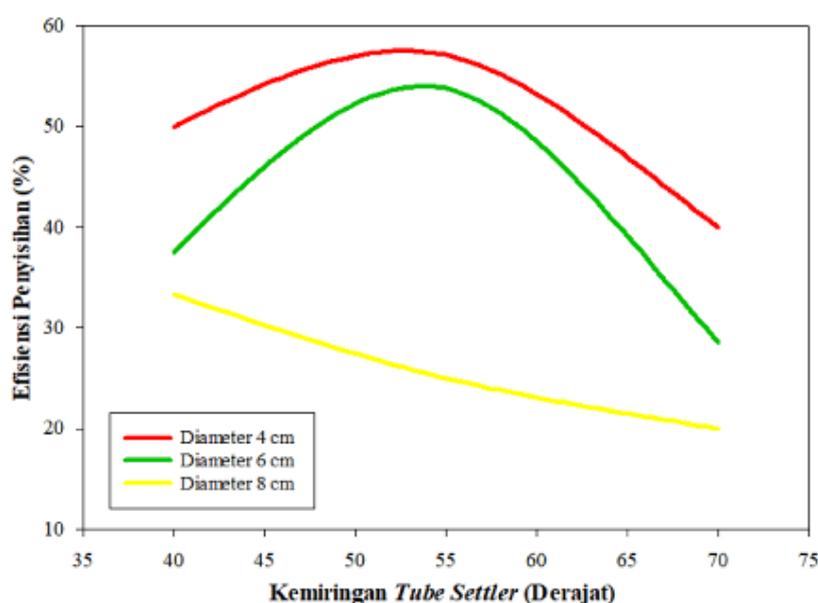
3.3 Pengaruh Kemiringan dan Diameter *Tube Settler* terhadap TSS (OK)

Hasil pengukuran TSS pada inlet dan outlet reaktor sedimentasi tanpa menggunakan *tube settler* adalah 160 mg/L dan 140 mg/L. Efisiensi penyisihan TSS reaktor sedimentasi tanpa menggunakan *tube settler* adalah sebesar 12,5%.

Tabel 4 menunjukkan nilai inlet dan outlet TSS pada reaktor sedimentasi dengan *tube settler*. Pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap TSS dapat dilihat pada gambar 4. Pada diameter 4 cm, kemiringan yang semakin tinggi yaitu 40° dan 55° menghasilkan efisiensi penyisihan yang semakin tinggi yaitu sebesar 50% dan 57,14%. Kenaikan efisiensi penyisihan juga terjadi pada diameter 6 cm dengan kemiringan 40° dan 55° yaitu sebesar 37,5% dan 53,85%. Namun, pada diameter 4 cm dan 6 cm dengan kemiringan 70° efisiensi penyisihan mengalami penurunan yaitu sebesar 40% dan 28,57%. Berbeda halnya pada diameter 8 cm dengan kemiringan 40°, efisiensi penyisihan sebesar 33,33%, dan efisiensi penyisihan ini semakin menurun seiring dengan adanya penambahan kemiringan *tube settler* yaitu pada kemiringan 55° sebesar 25% dan kemiringan 70° sebesar 20%. Berdasarkan hasil yang didapatkan, *tube settler* dengan diameter 4 cm dan kemiringan 55° memiliki efisiensi yang paling tinggi dalam menyisihkan TSS yaitu sebesar 57,14%.

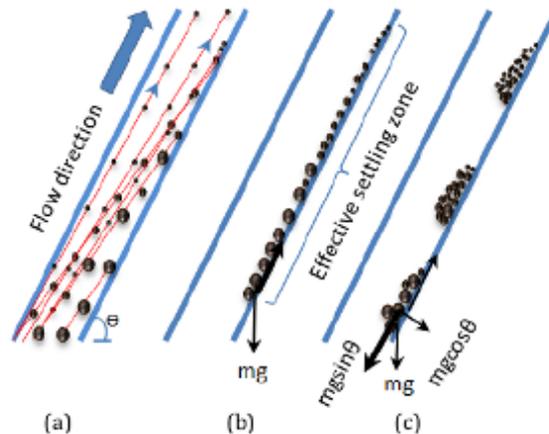
Tabel 4. Hasil uji kemiringan dan diameter *tube settler* terhadap TSS

Kemiringan <i>Tube Settler</i>	Diameter <i>Tube Settler</i> (cm)	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)
40°	4	80	40
	6	160	100
	8	60	40
55°	4	280	120
	6	260	120
	8	80	60
70°	4	100	60
	6	140	100
	8	100	80



Gambar 4. Pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap TSS

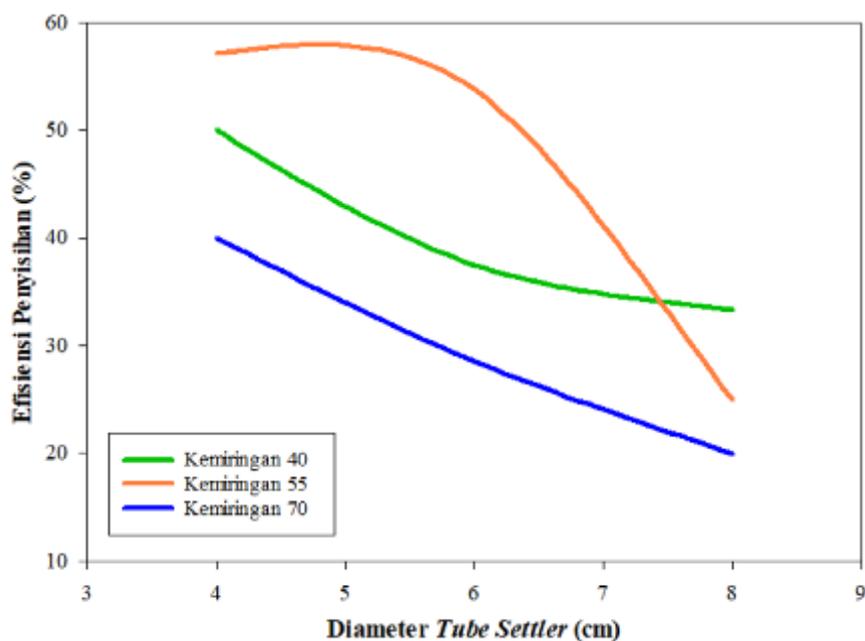
Semakin tinggi derajat kemiringan *tube settler* maka akan menurunkan kinerja *tube settler*, karena dihasilkan efisiensi penyisihan yang lebih rendah. Hal ini yang menjadikan *tube settler* biasanya dipasang pada sudut kemiringan mulai dari 45° hingga 60° di atas horizontal, sehingga memungkinkan partikel untuk mengendap perlahan menuju bagian bawah *tube settler* dan tercapainya *self-cleaning* pada partikel di dalam *tube* [10]. Mengendapnya partikel ke bawah *tube settler* juga dipengaruhi oleh berat partikel, sudut kemiringan *tube settler*, dan gaya geser [10]. Gambar 5 menjelaskan tahapan partikel mulai dari melewati *tube settler*, mengendap di *tube settler*, sampai akhirnya partikel menuju ke bagian bawah *tube settler* dan mengendap di dasar bak sedimentasi. Flok-flok mulai bergerak ke bawah *tube settler* ketika partikel yang mengendap telah terakumulasi dengan partikel yang lainnya hingga melebihi semua gaya yang bekerja berlawanan terhadapnya.



Gambar 5. Fase penyisihan partikel: (a) lintasan dengan ukuran partikel yang berbeda, (b) partikel terakumulasi di bagian bawah permukaan *tube settler* ($mgsin\theta < \text{gaya geser}$), dan (c) *sliding sludge* ($mgsin\theta > \text{gaya geser}$) [10]

Pengaruh diameter *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan TSS dapat dilihat pada gambar 6. Pada kemiringan 40° dan 70° dengan diameter 4 cm menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 50% dan 40%. Namun efisiensi penyisihan semakin rendah ketika diameter *tube settler* diperbesar menjadi 6 cm dan 8 cm. Pada diameter 6 cm dengan kemiringan 40° dan 70° efisiensi penyisihan sebesar 37,5% dan 28,57%. Pada diameter 8 cm dengan kemiringan 40° dan 70° efisiensi penyisihan sebesar 33,33% dan 20%. Penurunan efisiensi juga terjadi pada kemiringan 55° dengan diameter 4 cm, 6 cm, dan 8 cm secara berturut-turut yaitu sebesar 57,14%, 53,85% dan 25%. Pada grafik pada gambar 4 menunjukkan bahwa *tube settler* berdiameter 4 cm dengan kemiringan 55° menghasilkan efisiensi penyisihan TSS yang paling tinggi yaitu sebesar 57,14%.

Ukuran diameter *tube settler* akan berpengaruh pada jumlah lubang *tube settler* yang digunakan dengan luas permukaan rektor unit sedimentasi yang sama. Semakin kecil diameter *tube settler* maka akan menghasilkan lebih banyak lubang, jika dibandingkan dengan *tube settler* yang diameternya lebih besar. Seperti pada penelitian ini, *tube settler* dengan diameter 4 cm memiliki lebih banyak lubang dibandingkan dengan *tube settler* diameter 6 cm. Efisiensi penyisihan TSS akan meningkat jika ukuran diameter lebih kecil, sehingga memperluas bidang penahan partikel dan flok-flok yang terbentuk mudah jatuh pada lintasan *tube settler* [8]. Diameter *tube settler* akan mempengaruhi jarak jatuh partikel pada permukaan *tube settler*. Jika diameternya kecil maka partikel membutuhkan waktu lebih cepat untuk mengendap ke permukaan *tube*, daripada yang diameternya lebih besar maka partikel akan membutuhkan waktu lebih lama untuk mengendap.



Gambar 6. Pengaruh kemiringan tube settler terhadap TSS

Berdasarkan hasil uji *One Way ANOVA*, didapatkan nilai signifikansi pengaruh diameter *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan TSS sebesar 0,071. Nilai signifikansi pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan TSS sebesar 0,370. Dengan rentang kepercayaan $\alpha=0,05$, kemiringan dan diameter *tube settler* tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan TSS.

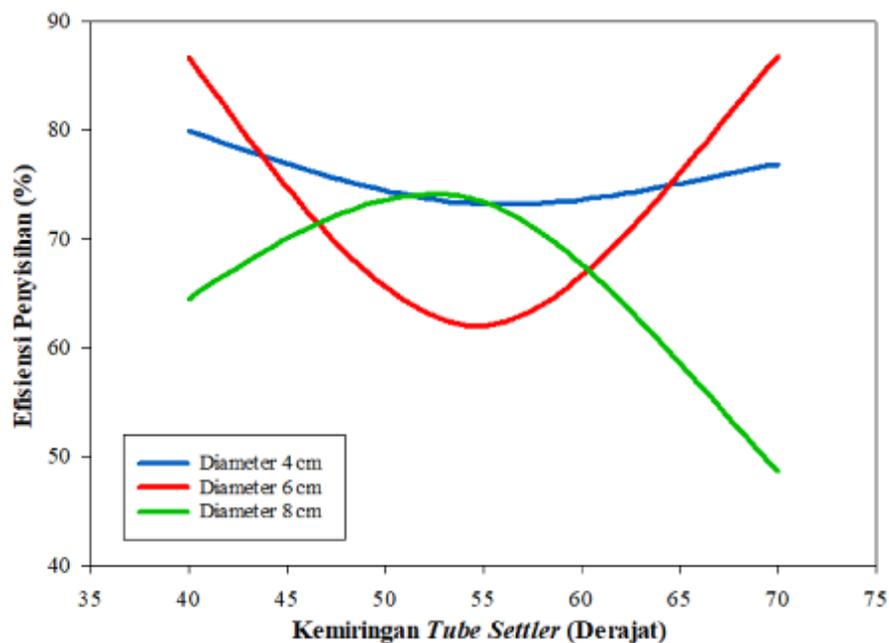
3.4 Pengaruh Kemiringan dan Diameter *Tube Settler* terhadap Kekeruhan

Hasil pengukuran kekeruhan pada inlet reaktor sedimentasi tanpa menggunakan *tube settler* sebesar 6,7 NTU dan outlet sebesar 5,8 NTU. Efisiensi penyisihan kekeruhan tanpa menggunakan *tube settler* yaitu 13,9%. Tabel 5 menunjukkan hasil uji kekeruhan sebelum dan sesudah proses sedimentasi dengan *tube settler*. Gambar 7 menunjukkan pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap kekeruhan. Pada kemiringan 40° dengan diameter 4 cm dan 6 cm menghasilkan efisiensi penyisihan berturut-turut sebesar 79,97% dan 86,74%. Namun pada diameter yang sama, efisiensi penyisihan mengalami penurunan pada kemiringan 55° yaitu sebesar 73,17% dan 61,97%. Ketika kemiringan 70° dengan diameter 4 cm dan 6 cm, efisiensi mengalami kenaikan sebesar 76,88% dan 86,84%. Pada diameter 8 cm dengan kemiringan 40°, efisiensi penyisihan yang dihasilkan sebesar 64,54%. Efisiensi penyisihan mengalami kenaikan ketika kemiringan diubah dari 40° menjadi 55° yaitu sebesar 73,47%. Namun pada kemiringan 70° efisiensi penyisihan mengalami penurunan yaitu sebesar 48,66%. *Tube settler* dengan kemiringan 70° dan diameter 6 cm menghasilkan efisiensi penyisihan kekeruhan yang paling tinggi yaitu sebesar 85,84%.

Dari ketiga variasi kemiringan yang digunakan, kemiringan 40° dengan ketiga variasi diameter menghasilkan efisiensi penyisihan yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan kemiringan *tube settler* lainnya. Efisiensi penyisihan yang didapatkan yaitu 79,97%, 86,74%, dan 64,54%. Efisiensi penyisihan yang didapatkan dipengaruhi oleh panjang *tube settler*. Studi terdahulu meneliti pengaruh panjang dan kemiringan *tube settler* terhadap kualitas efluen. Hasil yang didapatkan bahwa dengan meningkatkan panjang dan menurunkan kemiringan *tube settler* akan menghasilkan penyisihan kekeruhan yang lebih tinggi [2]. Panjang *tube settler* memainkan peran penting dalam menangkap lebih banyak partikel tersuspensi [6]. Penelitian lainnya juga mengatakan bahwa dengan menurunkan sudut kemiringan *tube settler* dapat meningkatkan efisiensi dari *tube settler* itu sendiri [16].

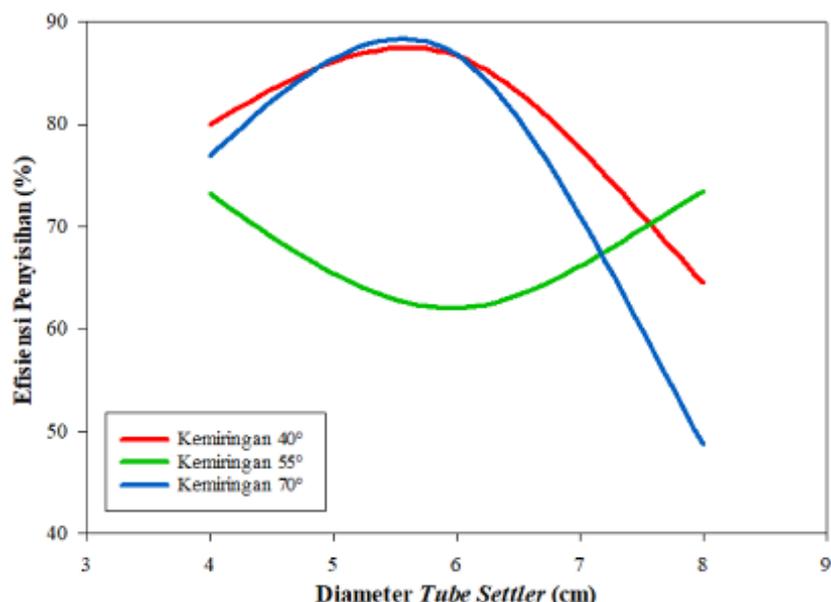
Tabel 5. Hasil Uji Kemiringan dan diameter *tube settler* terhadap kekeruhan

Kemiringan <i>Tube Settler</i>	Diameter <i>Tube Settler</i> (cm)	Inlet (NTU)	Outlet (NTU)
40°	4	34,4	6,89
	6	47,2	6,26
	8	39,2	13,9
55°	4	33,1	8,88
	6	22,4	8,50
	8	35,2	9,34
70°	4	38,2	8,83
	6	91,2	12,0
	8	29,8	15,3



Gambar 7. Pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap kekeruhan

Penelitian ini menggunakan 3 variasi diameter *tube settler* yaitu 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Pengaruh diameter *tube settler* terhadap kekeruhan dapat dilihat pada gambar 8. *Tube settler* dengan diameter 4 cm pada kemiringan 40° dan 70° menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 79,97% dan 76,88%. Ketika diameter diperbesar menjadi 6 cm efisiensi penyisihannya mengalami kenaikan yaitu sebesar 86,74% dan 86,84%. Efisiensi penyisihan mengalami penurunan ketika *tube settler* berdiameter 8 cm yaitu sebesar 64,54% dan 48,66%. Perbedaan hasil yang didapatkan pada kemiringan 55° dengan diameter 4 cm didapatkan efisiensi penyisihan sebesar 73,17%. Ketika diameter diubah menjadi 6 cm efisiensi penyisihan mengalami penurunan yaitu sebesar 61,97%. Namun pada diameter 8 cm efisiensi penyisihan bertambah menjadi sebesar 73,47%. Efisiensi penyisihan kekeruhan yang paling tinggi didapatkan pada *tube settler* dengan diameter 6 cm dan kemiringan 70° yaitu sebesar 86,84%.

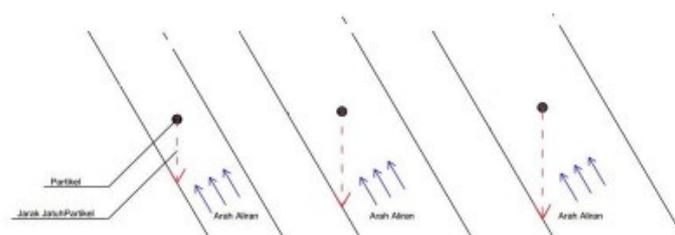


Gambar 8. Pengaruh diameter *tube settler* terhadap kekeruhan

Penyisihan kekeruhan disebabkan karena diameter *tube settler* berpengaruh pada jarak jatuh partikel. Ilustrasi jarak jatuh partikel dapat dilihat pada gambar 9 dan hasil perhitungan pada tabel 6. Jarak jatuh partikel pada diameter 4 dan 6 cm dengan kemiringan 40° lebih pendek daripada jarak jatuh partikel dengan *tube settler* berdiameter 8 cm dengan kemiringan 70°. Jika diameter *tube settler* terlalu besar maka partikel yang belum mengendap ke permukaan *tube settler* akan ikut terbawa oleh aliran air yang masuk. Jarak jatuh partikel dalam *tube settler* berpengaruh pada proses penyisihan kekeruhan. Kesempatan flok-flok yang telah terbentuk untuk jatuh ke dasar *tube settler* semakin kecil dan berakibat menurunnya persentase penyisihan kekeruhan [9].

Tabel 6. Hasil perhitungan jarak jatuh partikel

Diameter Tube Settler (cm)	Kemiringan Tube Settler	Jarak Jatuh Partikel (cm)
4	40°	5,22
4	55°	6,97
4	70°	11,70
6	40°	7,83
6	55°	10,46
6	70°	17,54
8	40°	10,44
8	55°	13,95
8	70°	23,39



Gambar 9 Ilustrasi jarak jatuh partikel pada *tube settler*

Hasil uji statistik One Way ANOVA menunjukkan bahwa nilai signifikansi pengaruh diameter *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 0,228 dan nilai signifikansi pengaruh kemiringan *tube settler* terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan sebesar 0,779. Kemiringan dan diameter *tube settler* tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan ($\alpha=0,05$).

4. KESIMPULAN

Karakteristik air limbah pada bak sedimentasi sebelum menggunakan *tube settler* didapatkan konsentrasi TSS sebesar 200 mg/L (inlet) dan 160 mg/L (outlet) serta kekeruhan sebesar 7,6 NTU (inlet) dan 4,8 NTU (outlet). Ketika dilakukan percobaan menggunakan *tube settler* pada reaktor, konsentrasi TSS yang dihasilkan mengalami penurunan. Konsentrasi TSS yang paling rendah didapatkan pada outlet sebesar 40 mg/L dan kekeruhan sebesar 6,26 NTU. Berdasarkan hasil analisis statistik didapatkan bahwa kemiringan dan diameter *tube settler* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap konsentrasi TSS dan kekeruhan yang dihasilkan. Pada penelitian juga didapatkan bahwa semakin besar diameter dan kemiringan *tube settler* menurunkan efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan. Efisiensi penyisihan TSS yang paling tinggi yaitu pada kemiringan 55° dan diameter 4 cm sebesar 57,14%. Efisiensi penyisihan kekeruhan yang paling tinggi yaitu pada kemiringan 70° dan diameter 6 cm sebesar 85,84%.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Indrawan, F., Oktawan, W., & Zaman, B. (2017). Pengaruh Rasio Panjang Dan Jarak Antar Plate Settler Terhadap Efisiensi Penyisihan Total Suspended Solids (TSS) Pada Reaktor Sedimentasi Rectangular. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 1–9.
- [2] Balwan, K., & Bhabuje, D. (2016). Study of the Effect of Length and Inclination of Tube settler on the Effluent Quality. *International Journal of Innovatice Research in Advanced Engineering*, 3(01).
- [3] Fouad, H., Elhefny, R., & Marei, A. (2016). Evaluating the Use of Tube Settlers and Lamella Plates in Increasing the Efficiency of Sedimentation Tanks. *Journal of Applied Life Sciences International*, 7(4). <https://doi.org/10.9734/jalsi/2016/28579>
- [4] Bhorakar, M. P., Bhole, A. G., & Nagarnaik, P. B. (2019). Application of Tube Settlers in Water Treatment Process—A Review. In *Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering: Vol. Part F244*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6148-7_28
- [5] 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).
- [6] Al-Dulaimi, S. M. S., & Racoviteanu, G. (2018). Performance of the Tube Settler Clarification at Different Inclination Angles and Variable Flow Rate. *Mathematical Modelling in Civil Engineering*, 14(2). <https://doi.org/10.2478/mmce-2018-0004>
- [7] Crittenden, J. C., Trussel, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). MWH's Water Treatment: Principles and Design. In *John Wiley & Sons, Inc.*
- [8] Maharani, A. D., Oktawan, W., & Zaman, B. (2017). Pengaruh Variasi Bentuk dan Diameter Tube Settler terhadap Efisiensi Penyisihan TSS pada Reaktor Sedimentasi Rectangular. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 1–10.
- [9] Novirina, Hendrasarie, Setiyo, T., & Rini. (2001). Tube Settler Sebagai Alternatif Penyisihan Kekeruhan Pada Proses Sedimentasi. *Aksial : Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 03(03).
- [10] Al-Dulaimi, S., & Racoviteanu, G. (2019). Efficiency of tube settler on removal of roagulated particles. *E3S Web of Conferences*, 85, 07012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198507012>

- [11] Purwaningsih, I.S., Chairul, & Amraini, S. Z. (2008). Kinetika Reaksi Pengolahan Limbah Cair dengan Sistem Lumpur Aktif Menggunakan EM 4 sebagai Kultur Mikroorganisme. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Oleo & Petrokimia Indonesia*.
- [12] Putri, F. E., Mulyati, S. S., Saputra, A. S., & Fikri, E. (2019). Perbedaan Waktu Operasional Aerator Lumpur Aktif terhadap Kadar COD Limbah Cair Industri Susu. *Jurnal Riset Kesehatan*, 11(1).
- [13] Fauzi, M. A., Sunardi, S. H., & Sumantri, I. (2012). Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Dengan Aerasi Dalam Menurunkan Kadar Cod Pada Limbah Biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 1(1), 320–328.
- [14] Fujisaki, K. (2004). Enhancement of settling tank capacity with inclined tube settlers. *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 30(5). <https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.30.568>
- [15] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*.
- [16] Bhatta, P., & Amatya, I. M. (2020). Efficiency of tube settler at various angle of inclinations in controlled discharges. *Journal of Innovations in Engineering Education*, 5(1). <https://doi.org/10.3126/jiee.v5i1.38711>