

EFFECTS OF ROTATION AND SLUDGE ADDITION ON ROTATING SEDIMENTATION PERFORMANCE IN REMOVING TURBIDITY

PENGARUH PUTARAN DAN PENAMBAHAN LUMPUR PADA PENGENDAP BERPUTAR DALAM PENYISIHAN KEKERUHAN

Nufikha Indriani¹ and James Nobelia I.²

Environmental Engineering Study Program
Faculty of Civil and Environmental Engineering
Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132
nufikha.indriani@yahoo.comjamesnobelia@yahoo.com

Abstrak : Salah satu alternatif untuk mengurangi biaya operasi pengolahan air dengan menggunakan teknik sedimentasi sentrifugal adalah dengan aplikasi kecepatan putaran yang rendah yang menganalogikan kecepatan pergerakan air pada dinding kolom pengendap. Namun, informasi mengenai kecepatan putaran optimum untuk teknik ini masih sedikit. Lumpur sebagai produk samplingan proses pengolahan air umumnya langsung dibuang ke badan air. Padahal, masih terdapat kandungan aluminium di dalam lumpur yang dapat dimanfaatkan sebagai koagulan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh putaran dan penambahan lumpur terhadap penyisihan kekeruhan dalam proses pengendapan berputar. Penelitian ini menggunakan sampel air baku sungai Cileueur dan sungai Citarum Atas. Lumpur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan lumpur artifisial yang dibuat dalam skala laboratorium. Kecepatan putaran 0, 4, 6, 8, 13 dan 20 rpm diterapkan pada setiap penambahan lumpur 0 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l, 15 mg/l dan 20 mg/l. Berdasarkan hasil penelitian, putaran dan penambahan lumpur tidak secara signifikan mempengaruhi efisiensi penyisihan kekeruhan pada proses pengendapan berputar. Efisiensi penyisihan kekeruhan untuk sampel air sungai Cileueur meningkat hingga 76,6% pada kecepatan putaran 8 rpm. Sedangkan pada sampel air sungai Citarum Atas penyisihan kekeruhan mencapai 91,9% untuk kecepatan putaran 20 rpm. Penambahan lumpur optimum pada sampel air sungai Cileueur meningkatkan penyisihan kekeruhan hingga 82,3% pada penambahan 10 mg/l lumpur dengan kecepatan putaran 4 rpm. Sedangkan penyisihan kekeruhan terbesar mencapai 87,3 % dengan penambahan lumpur 20 mg/l dan kecepatan putaran 20 rpm. Penambahan lumpur pada sampel air sungai Citarum Atas tidak meningkatkan penyisihan kekeruhan. Penyisihan kekeruhan optimum hanya mencapai 75,4% dengan penambahan lumpur 5 mg/l dan kecepatan putaran 8 rpm. Sedangkan penyisihan kekeruhan terbesar mencapai 95,8% pada penambahan 10 mg/l lumpur dengan kecepatan putaran 8 rpm.

Kata kunci : pengendapan berputar, kecepatan putaran, penambahan lumpur, kekeruhan

1. PENDAHULUAN

Hampir seluruh air permukaan akan membutuhkan beberapa tingkat pengolahan untuk memenuhi standar baku mutu air minum. Sifat dan cakupan pengolahan akan tergantung pada kualitas air baku dan peruntukannya (Peter, 2007). Setiap badan air membawa sedimen yang terbawa oleh arus air, sehingga di dalam badan air terkandung padatan baik materi tersuspensi maupun terlarut. Padatan ini berada di dalam air dalam berbagai macam bentuk. Pada waktu

yang bersamaan partikel-partikel ini tidak dapat mengendap bersama, tergantung pada ukuran dan massa jenisnya (Eker *et al.*, 2002). Hal utama yang sering dihadapi di badan air saat ini adalah tingginya kekeruhan air baku dengan kandungan partikel tersuspensi yang rendah. Kandungan padatan dalam air perlu disisihkan untuk mengurangi permasalahan bagi konsumen maupun dalam sistem distribusi (Fair, 1970). Air baku dengan kekeruhan yang tinggi dengan kandungan partikel tersuspensi yang rendah memiliki kecenderungan melayang di dalam air dan sulit untuk mengendap secara gravitasi (Al-layla *et al.*, 1978). Sedimentasi merupakan salah satu unit operasi yang banyak digunakan dalam pengolahan air yang umumnya digunakan untuk memisahkan partikel padat dari air (Reynolds, 1982). Berbagai penelitian mengenai sedimentasi dan pengembangannya telah banyak dilakukan. Proses pengendapan dengan memanfaatkan gaya sentrifuga baik dengan memutar kolom sedimentasi maupun memanfaatkan gerakan aliran air yang melalui dinding kolom sedimentasi pada saat ini mulai berkembang sebagai salah satu alternatif pengolahan air (Anlauf, 2007).

Pemisahan padatan dari air dengan menggunakan pengendapan sentrifuga prinsipnya sama dengan proses pengendapan secara gravitasi, bedanya pengendapan ini menghasilkan gaya dorong yang lebih besar yang disebabkan oleh putaran air (Sutherland, 2005). Dengan memutar air, kecepatan pengendapan dapat meningkat jika dibandingkan dengan pengendapan secara gravitasi pada umumnya (Svarovsky, 2000). Pengendapan sentrifuga sudah banyak digunakan untuk pemisahan partikel dan cairan atau air dalam proses pengolahan mineral seperti pada proses pengeringan materi dengan ukuran partikel yang berbeda, penyisihan partikel yang sangat kecil dalam pencucian, atau dalam menyisihkan kontaminan yang terlarut dalam larutan (Bürger, 2000). Namun, penggunaan pengendapan sentrifuga untuk penyisihan partikel atau senyawa lain di dalam proses pengolahan air masih jarang dilakukan dikarenakan tingginya biaya operasional yang dibutuhkan. Maka dari itu, pengembangan pengendapan dengan memanfaatkan gaya sentrifuga diarahkan pada pengendapan dengan memanfaatkan aliran air melalui dinding pengendap seperti prinsip kerja *hydrocyclone*.

Lumpur sebagai produk sampingan dari proses pengolahan air, hingga saat ini langsung dibuang ke badan air dan tidak dimanfaatkan kembali. Maka dari itu pemanfaatan air lumpur kembali dalam proses pengolahan air merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi volume lumpur yang dibuang. Dalam penelitian mengenai pemanfaatan lumpur sedimentasi sebagai koagulasi cair, studi kasus lumpur sedimentasi Instalasi Pengolahan Air Pusklat Migas, Cepu (Suharto, 2005), diperoleh hasil penyisihan kekeruhan sebesar 45,65%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur sebagai produk sampingan proses pengolahan air dapat dimanfaatkan kembali dalam proses pengolahan air. Kandungan lumpur terutama kandungan alum dapat dimanfaatkan kembali sebagai koagulan, sehingga selain mengurangi volume lumpur yang dibuang ke badan air, dapat pula menghemat pemakaian alum sebagai koagulan (Suharto, 2005).

Penggunaan unit pengendap berputar yang masih jarang digunakan dalam proses pengolahan air dan besarnya peluang dalam pemanfaatan lumpur yang dihasilkan dari proses pengolahan air kembali menjadi latar belakang dilakukannya penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran dan penambahan lumpur dalam proses pengendapan berputar pada efisiensi penyisihan kekeruhan

2. METODOLOGI

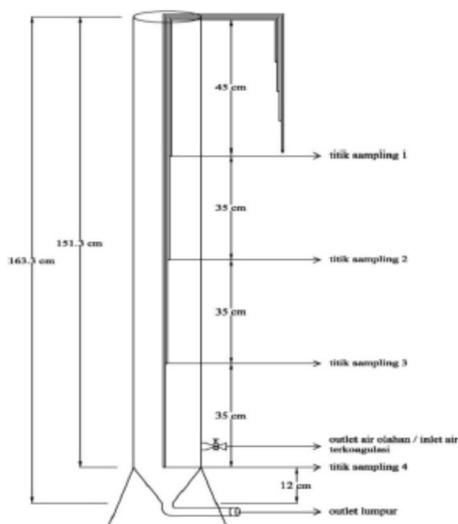
2.1 Air Baku dan Lumpur

Sampel air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dari Sungai Cileueur (Kota Ciamis) dan Sungai Citarum Atas (Kecamatan Ciparay, Kabupaten Bandung). Sampel air diambil pada intake unit pengolahan. Lumpur yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah lumpur yang dihasilkan dari proses koagulasi dan sedimentasi skala laboratorium. Lumpur yang telah terkumpul diuapkan pada *water bath* hingga kandungan air dalam lumpur berkurang. Selanjutnya lumpur yang telah kering dipanaskan pada suhu 105 °C sampai kering. Sepuluh gram lumpur kering kemudian dicampur secara

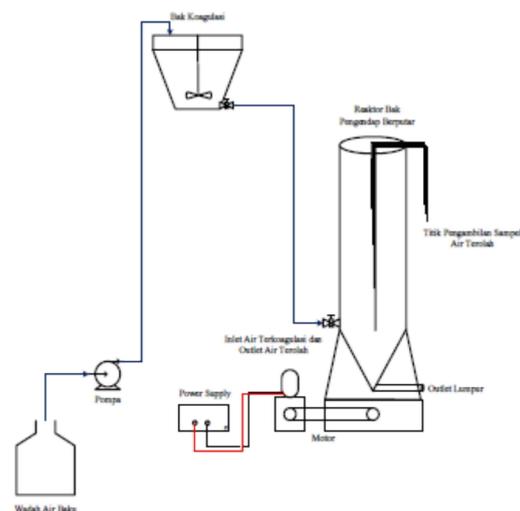
merata dalam 1 liter aquades sehingga diperoleh lumpur dengan konsentrasi 1%. Karakteristik lumpur kering kemudian dianalisa. Pemeriksaan lumpur kering meliputi parameter kadar air, kandungan bikarbonat, zat organik, aluminium, sulfat dan silika lumpur.

2.2 Reaktor Batch Pengendapan Berputar

Dalam penelitian ini reaktor yang digunakan berbentuk tabung dengan diameter 16,5 cm dan tinggi 151,3 cm, yang dilengkapi dengan kerucut pada bagian dasar dengan diameter yang sama dan tinggi 12 cm sebagai wadah penampung lumpur. Inlet reaktor ini berada pada bagian dasar tabung dan di dalam tabung reaktor telah ditentukan 4 buah titik sampling dengan perbedaan kedalaman setiap titik sampling 35 cm (**Gambar 1**). Kecepatan putaran reaktor ini diatur dengan menggunakan *power supply* tipe *Diamond Antenna DC Regulated Power Supply GSV 3000* yang dihubungkan dengan motor reaktor (**Gambar 2**). Percobaan ini dilakukan secara batch dengan menggunakan variasi kecepatan putaran dan konsentrasi penambahan lumpur. Variasi konsentrasi penambahan lumpur (0 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l, 15 mg/l dan 20 mg/l) ditambahkan pada 32 liter sampel air. Dalam percobaan ini juga ditambahkan koagulan alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan dosis optimum yang diperoleh dari hasil jar test. Campuran air, lumpur dan koagulan kemudian diperlakukan dalam pengendapan gravitasi dan pengendapan berputar dengan variasi kecepatan putaran 0, 4, 6, 8, 13, dan 20 rpm. .



Gambar 1. Reaktor Pengendap Berputar



Gambar 2. Skema Reaktor Batch Pengendapan Berputar

2.3 Pengambilan dan pemeriksaan Sampel

Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat (*grab sample*). Sampel air diambil pada empat titik sampling. Sampel air diambil pada rentang waktu putaran 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit. Parameter yang diperiksa pada sampel air adalah kekeruhan yang diperiksa mengacu pada *Standard Methods*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Air Baku dan Lumpur

Sampel air sungai Citarum Atas memiliki nilai parameter kualitas air yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel air sungai Cileueur, kecuali untuk parameter warna (**Tabel 1**). Tingginya kandungan TDS, kandungan zat organik dan HCO_3^- di dalam sampel air sungai Citarum kemungkinan disebabkan oleh peningkatan aktivitas pertanian dan domestik sepanjang aliran sungai Citarum dibandingkan dengan sungai Cileueur. Analisis karakteristik sampel air baku perlu dilakukan sebelum dilakukan pengolahan. Hal ini diperlukan untuk menentukan tingkat performansi proses pengolahan air.

Tabel 1. Karakteristik kualitas air baku

Parameter	Satuan	Sumber air	
		Sungai Cileueur	Sungai Citarum
pH	-	7,1	7,49
Kekeruhan	NTU	43,4	48,9
TDS	mg/l	46	117
Zat organik	mg/l KMnO_4	5,69	15,96
Warna	Pt-Co	278	278
CO_2	mg/l	6,35	7,48
HCO_3^-	mg/l	28,1	88,24

Penambahan lumpur dalam proses pengolahan air dapat mempengaruhi proses pengolahan maupun karakteristik air olahan. Kandungan zat organik, SiO_2 , dan SO_4 pada lumpur sampel air sungai Citarum lebih tinggi dibandingkan dengan lumpur sungai Cileueur (**Tabel 2**). Namun, lumpur sungai Citarum memiliki kadar air dan kandungan Al_2O_3 yang lebih rendah dibandingkan dengan lumpur sungai Cileueur.

Tabel 2. Karakteristik Lumpur

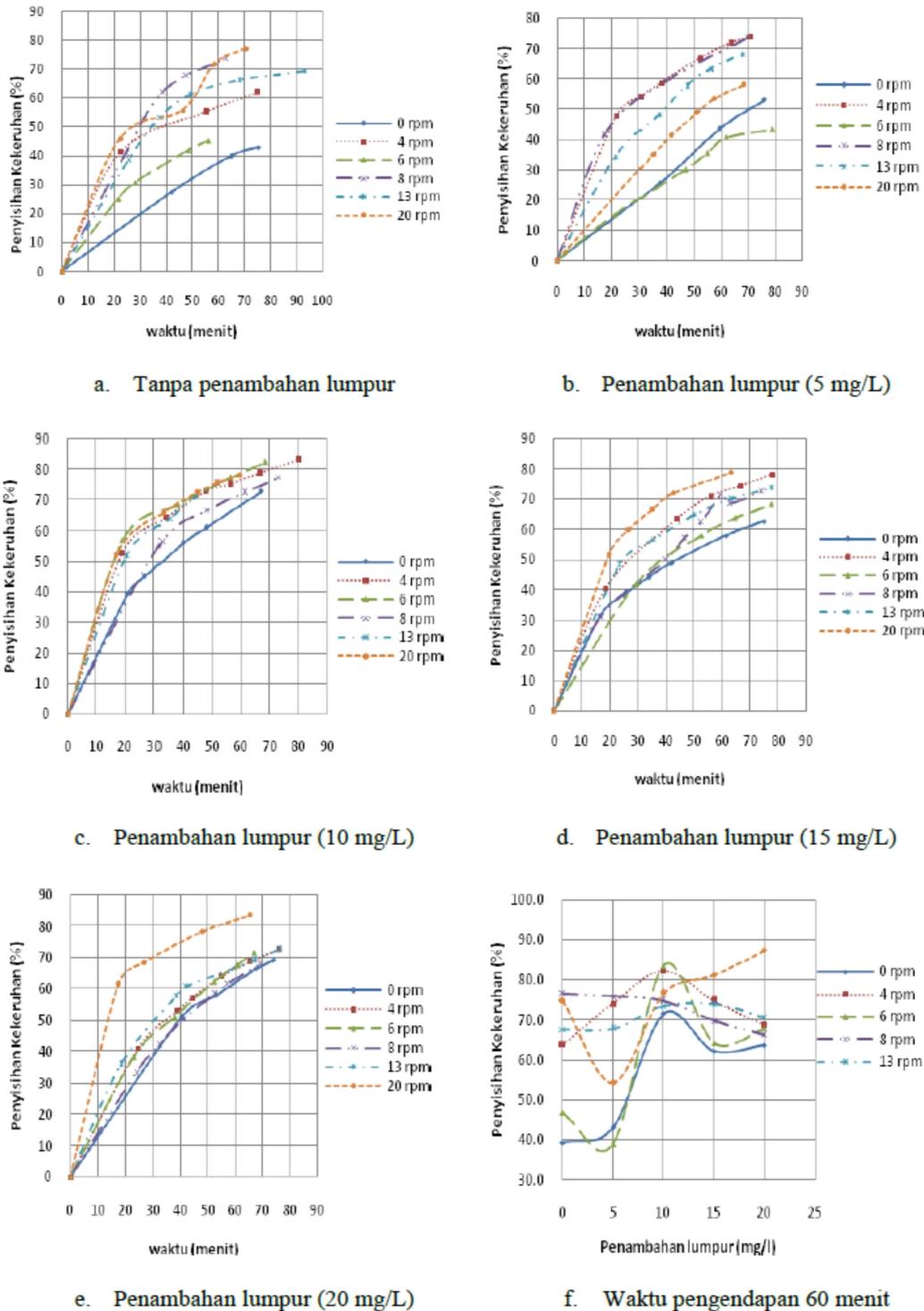
No.	Sampel	Kadar air (%)	Zat organik (mg/l)	SiO_2 (*) (%)	Al_2O_3 (*) (%)	SO_4 (*) (%)
1	Lumpur S. Cileueur	43,44	20.180	26,35	25,06	0,40
2	Lumpur S. Citarum Atas	36,00	32.680	32,06	17,64	0,55

(*) sumber: analisis laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

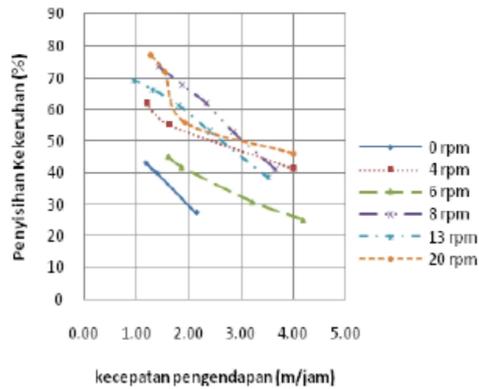
3.2 Penyisihan Kekeruhan

Sama halnya dengan proses sedimentasi secara gravitasi, penyisihan kekeruhan pada proses sedimentasi dengan memutar kolom sedimentasi untuk air dengan penambahan koagulan ditentukan dengan menggunakan prinsip perhitungan penyisihan untuk proses pengendapan tipe II. Berdasarkan hasil interpolasi dan perhitungan pada diagram pengendapan untuk pengendapan tipe II pada setiap variasi kecepatan dan variasi dosis pembubuhan lumpur dapat dilihat peningkatan tingkat penyisihan kekeruhan pada setiap variasi waktu. Proses pengendapan dengan memutar kolom sedimentasi yang dilakukan pada sampel air Sungai Cileueur dan Sungai Citarum Atas tanpa penambahan lumpur maupun dengan penambahan lumpur, menunjukkan kecenderungan peningkatan tingkat penyisihan kekeruhan jika dibandingkan dengan proses pengendapan secara gravitasi pada umumnya. **Gambar 3** sampai dengan **Gambar 6** menunjukkan efisiensi penyisihan

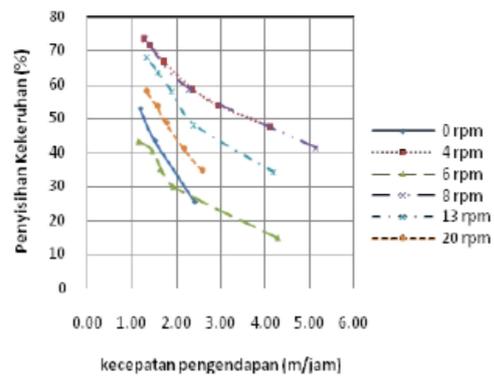
kekeruhan tanpa penambahan lumpur maupun dengan penambahan lumpur pada pengendap berputar.



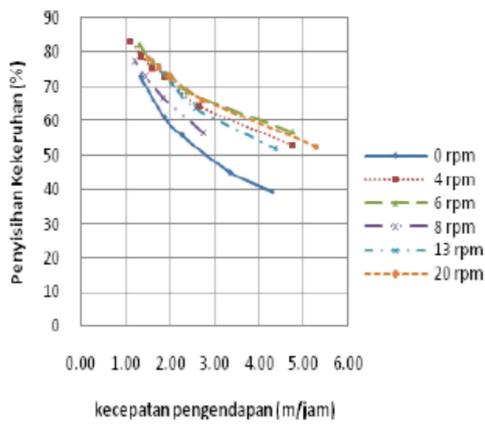
Gambar 3. Penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Cileueur dengan variasi penambahan lumpur, kecepatan putaran (a, b, c, d, e) dan waktu pengendapan (f)



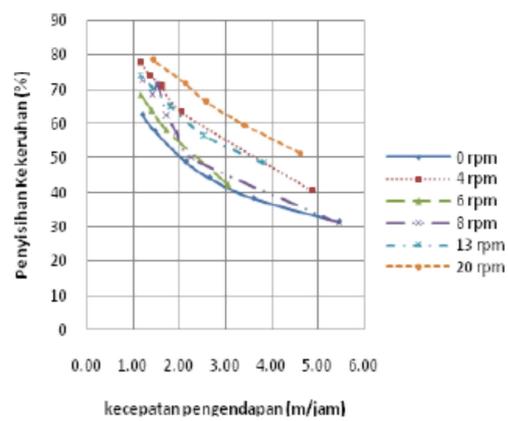
a. Tanpa penambahan lumpur



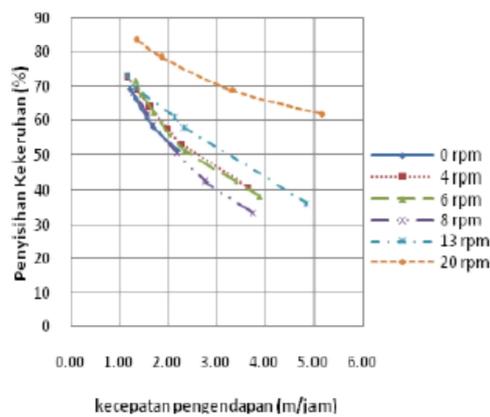
b. Penambahan lumpur (5 mg/L)



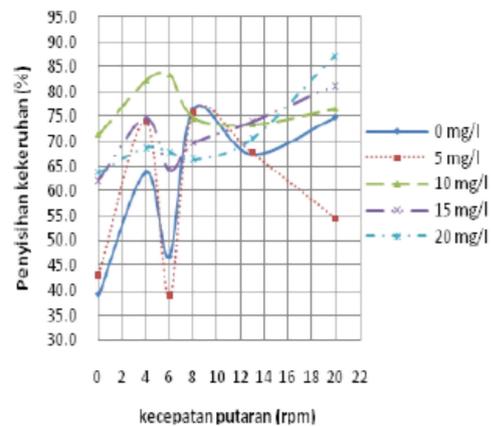
c. Penambahan lumpur (10 mg/L)



d. Penambahan lumpur (15 mg/L)

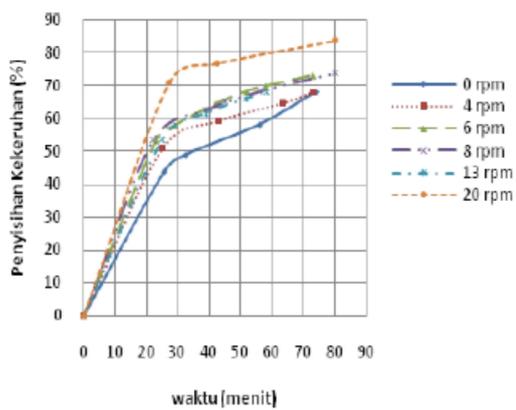


e. Penambahan lumpur (20 mg/L)

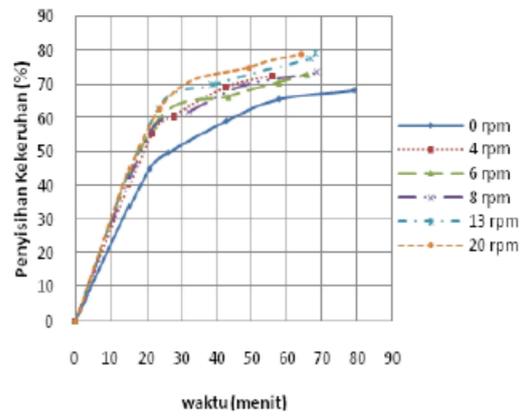


f. Waktu pengendapan 60 menit

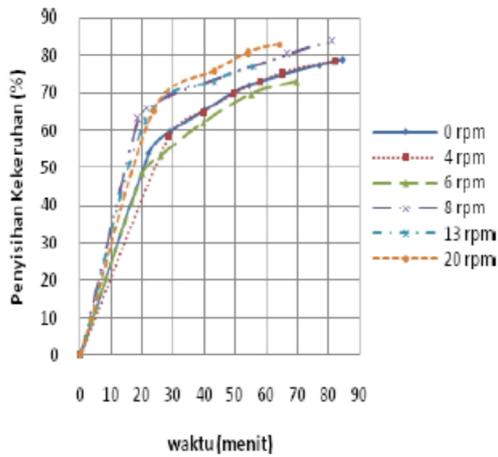
Gambar 4. Penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Cileueur dengan variasi penambahan lumpur, kecepatan putaran (a, b, c, d, e) dan kecepatan pengendapan (f)



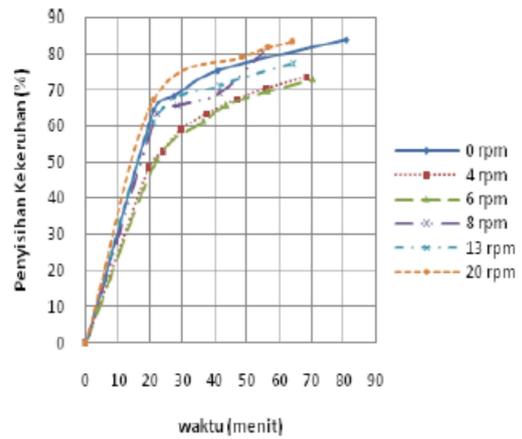
a. Tanpa penambahan lumpur



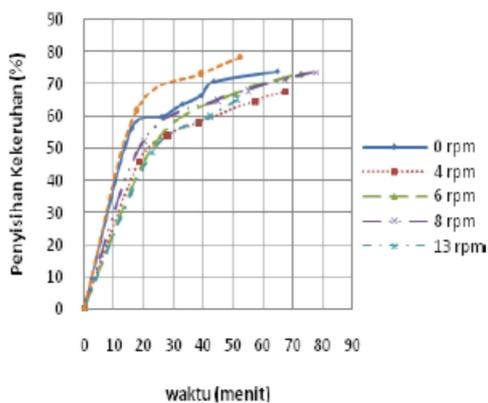
b. Penambahan lumpur (5 mg/L)



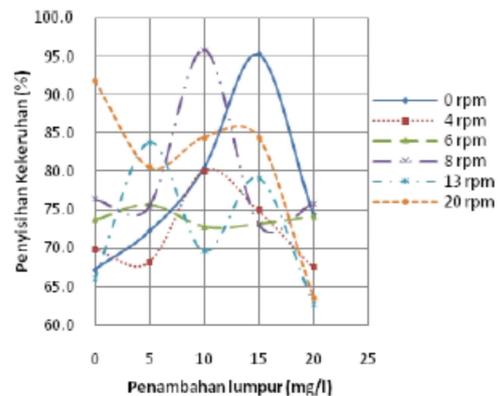
c. Penambahan lumpur (10 mg/L)



d. Penambahan lumpur (15 mg/L)

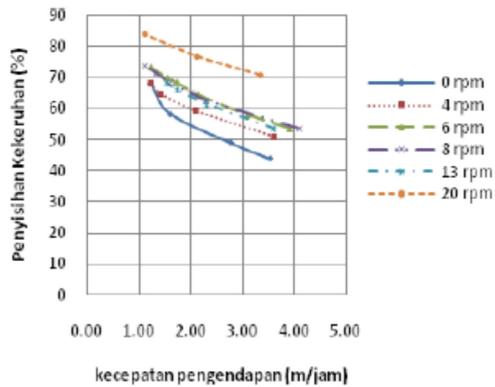


e. Penambahan lumpur (20 mg/L)

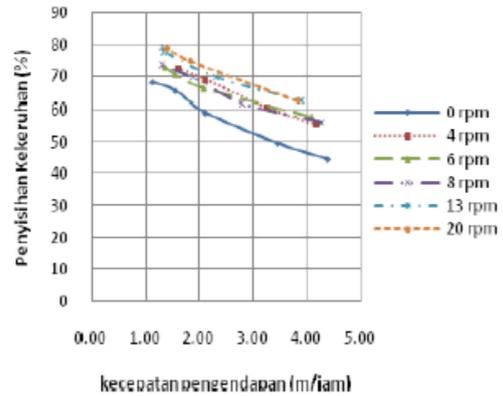


f. Waktu pengendapan 60 menit

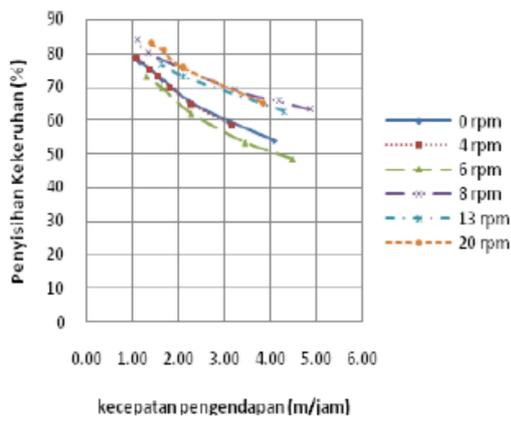
Gambar 5. Penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Citarum Atas dengan variasi penambahan lumpur, kecepatan putaran (a, b, c, d, e) dan waktu pengendapan (f)



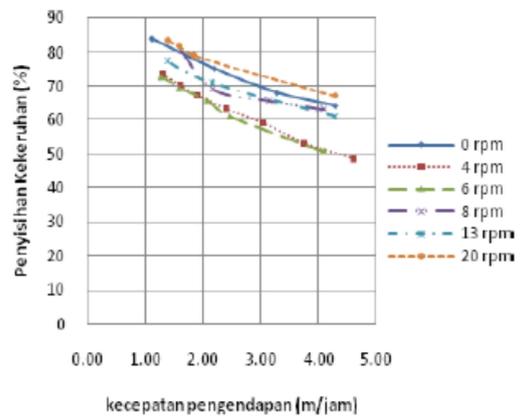
a. Tanpa penambahan lumpur



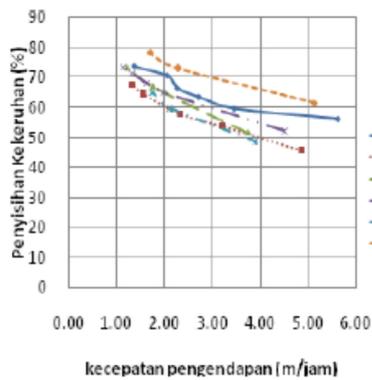
b. Penambahan lumpur (5 mg/L)



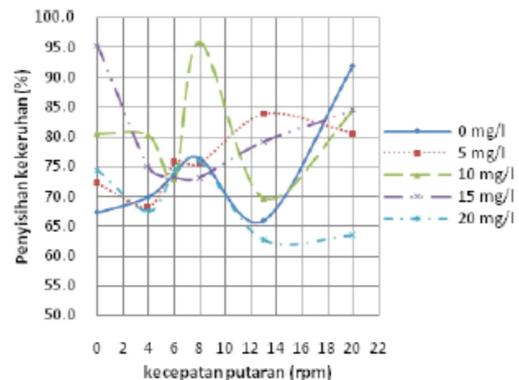
c. Penambahan lumpur (10 mg/L)



d. Penambahan lumpur (15 mg/L)



e. Penambahan lumpur (20 mg/L)



f. Waktu pengendapan 60 menit

Gambar 6. Penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Citarum Atas dengan variasi penambahan lumpur, kecepatan putaran (a, b, c, d, e) dan kecepatan pengendapan (f)

3.2 Pengaruh putaran terhadap penyisihan kekeruhan

Penyisihan kekeruhan sampel air sungai Cileueur dan Citarum Atas cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan putaran (**Gambar 3 dan 5**). Kecepatan putaran kolom pengendap sebesar 13 rpm pada sampel air sungai Cileueur menghasilkan penyisihan kekeruhan yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan putaran 8 rpm. Peningkatan penyisihan kekeruhan pada kecepatan putaran 8 rpm merupakan kecepatan putaran optimum untuk penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Cileueur. Meskipun pada kecepatan putaran 20 rpm selama 60 menit menghasilkan penyisihan kekeruhan sebesar 70%, dimana nilai ini hampir sama dengan nilai penyisihan kekeruhan pada pengendapan dengan kecepatan putaran 8 rpm selama 60 menit waktu pengendapan, persentase penyisihan kekeruhan air pada putaran 8 rpm untuk waktu pengendapan 40 menit lebih tinggi dibandingkan dengan penyisihan pada kecepatan putaran 4, 6, 13 dan 20 rpm (**Gambar 3a**). Hal ini mengindikasikan bahwa pada sampel air sungai Cileueur tanpa penambahan lumpur, kecepatan putaran optimum untuk penyisihan kekeruhan optimum adalah pada kecepatan putaran 8 rpm dengan waktu pengendapan 40 menit.

Untuk sampel air sungai Citarum, penyisihan kekeruhan tertinggi pada pengendapan tanpa penambahan lumpur dicapai pada kecepatan putaran 20 rpm dengan waktu pengendapan 70 menit (**Gambar 5**). Waktu pengendapan optimum untuk pengendapan dengan kecepatan putaran 20 rpm terlihat berada pada 40 menit waktu pengendapan, dimana tidak terjadi peningkatan penyisihan kekeruhan secara signifikan pada waktu pengendapan 40 hingga 70 menit (**Gambar 5a**). Perbedaan kecepatan putaran pada kedua sampel dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik sampel air baku. Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 1**, sampel air sungai Citarum Atas mengandung TDS dan senyawa organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel air sungai Cileueur.

Efisiensi penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Cileueur maupun Citarum Atas berkurang seiring dengan peningkatan waktu pengendapan (**Gambar 4 dan 6**). Putaran pada proses pengendapan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Hal ini terjadi karena putaran pada proses pengendapan menyebabkan gaya tangensial di dalam air. Partikel bertemu satu dengan yang lainnya dan bergabung pada saat mengendap, sehingga kecepatan mengendap partikel yang telah bergabung meningkat. Kontak antar partikel ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan pengendapan partikel dimana partikel yang besar dan mengendap lebih cepat bertemu dengan partikel yang kecil dengan kecepatan mengendap yang kecil, dan akibat adanya gerak brown (Huisman, 1974). Kontak antara partikel menjadi lebih cepat karena adanya gaya sentrifugal yang menyebabkan partikel-partikel di dalam air terbawa ke dinding kolom pengendap. Peningkatan kecepatan pengendapan diikuti dengan peningkatan penyisihan kekeruhan. Berdasarkan pada hasil regresi dan perhitungan pada diagram penyisihan kekeruhan (**Gambar 3a dan 3b**), efisiensi penyisihan kekeruhan pada pengendapan tanpa penambahan lumpur dengan 60 menit sebagai waktu ideal pengendapan dapat ditentukan (**Tabel 3**).

Tabel 3. Efisiensi penyisihan kekeruhan (tanpa penambahan lumpur, t=60 menit)

Kecepatan Putaran (rpm)	Efisiensi Penyisihan Kekeruhan (%)	
	S. Cileueur	S. Citarum Atas
0 (*)	39,2	67,2
4	63,8	69,8
6	46,7	73,7
8	76,6	76,4
13	67,5	65,9
20	74,8	91,9

(*) pengendapan secara gravitasi

Data pada tabel di atas menunjukkan bahwa penyisihan kekeruhan optimum untuk pengendapan pada sampel air sungai Cileueur tanpa penambahan lumpur adalah pada kecepatan putaran kolom pengendap 8 rpm dengan kecepatan pengendapan 1,15 m/jam (**Gambar 3a**). Sedangkan pada sampel air sungai Citarum atas, kekeruhan optimum dicapai pada kecepatan putaran 20 rpm dengan kecepatan pengendapan 0,19 m/jam (**Gambar 5a**). Dengan demikian, putaran pada proses pengendapan mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan yang disebabkan karena gaya tangensial di dalam air selama proses pengendapan.

3.3 Pengaruh putaran dan penambahan lumpur terhadap penyisihan kekeruhan

Penambahan lumpur dalam proses pengendapan berputar dapat mempengaruhi proses penyisihan kekeruhan dimana penambahan lumpur ini dapat meningkatkan proses pengendapan atau justru dapat mengganggu proses pengendapan. Berdasarkan **Gambar 3b, 3c, 3d dan 3e**, penambahan lumpur pada sampel air sungai Cileueur tidak secara signifikan menaikkan atau menurunkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Dalam **Tabel 4**, efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan lumpur pada sampel air sungai Cileueur dengan waktu pengendapan 60 menit cenderung meningkat pada dosis penambahan lumpur dan putaran pengendapan tertentu.

Tabel 4. Efisiensi penyisihan kekeruhan pada Sungai Cileueur dan Citarum Atas (penambahan lumpur, t = 60menit)

Kecepatan Putaran (rpm)	Efisiensi penyisihan kekeruhan (%)							
	Sungai Cileueur				Sungai Citarum			
	Penambahan lumpur (mg/l)							
	5	10	15	20	5	10	15	20
0 (*)	43,1	71,5	62,1	63,7	72,2	80,4	95,3	74,4
4	74,1	82,3	74,7	68,8	68,2	80,1	74,9	67,4
6	38,9	83,5	64,3	67,8	75,7	72,8	73,1	74,2
8	75,9	74,7	69,7	66,3	75,4	95,8	73,1	75,8
13	67,7	73,4	74,0	70,6	83,8	69,6	79,1	62,7
20	54,4	76,5	81,2	87,3	80,5	84,4	84,4	63,5

(*) pengendapan secara gravitasi

Berdasarkan tabel di atas, penambahan 5 mg/l lumpur pada sampel air sungai Cileueur meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan, meskipun pada beberapa putaran tertentu efisiensi penyisihan kekeruhan menurun jika dibandingkan dengan pengendapan berputar tanpa penambahan lumpur (**Tabel 3**). Efisiensi penyisihan kekeruhan optimum pada pengendap berputar dengan penambahan 5 mg/l lumpur dicapai pada pengendapan dengan kecepatan putaran pengendap 8 rpm dengan kecepatan pengendapan 1,16 m/jam (**Gambar 4b**). Secara umum, pengendapan berputar untuk menyisihkan materi-materi koloid pada

sampel air sungai Cileueur maupun Citarum Atas, tanpa atau dengan penambahan lumpur dapat meningkatkan penyisihan kekeruhan jika dibandingkan dengan pengendapan secara gravitasi (**Gambar 3, 4, 5 dan 6**). Dalam proses sedimentasi pada umumnya, kekeruhan dan warna mempengaruhi tingkat performansi proses sedimentasi (Fair, 1971). Berdasarkan efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan 5 mg/l lumpur pada pengendap berputar, efisiensi penyisihan kekeruhan meningkat jika dibandingkan dengan pengendapan gravitasi dengan penambahan lumpur yang sama. Namun jika dibandingkan dengan pengendapan tanpa penambahan lumpur, efektivitas penyisihan kekeruhan dengan penambahan 5 mg/l lumpur pada proses pengendapan berputar menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan 5 mg/l lumpur merupakan pengotor dalam proses pengendapan dan mengganggu proses penggabungan partikel. Penyisihan kekeruhan optimum untuk penambahan 10 mg/l lumpur pada pengendap berputar untuk sampel air sungai Cileueur dengan waktu pengendapan 60 menit dicapai pada pengendapan berputar dengan kecepatan putaran 6 rpm (**Tabel 4**). Sehingga berdasarkan **Gambar 4c**, kecepatan pengendapan untuk mencapai penyisihan optimum pada pengendap berputar dengan kecepatan putaran 6 rpm adalah 1,21 m/jam. Jika dibandingkan dengan nilai penyisihan kekeruhan tanpa penambahan dosis lumpur, efisiensi penyisihan kekeruhan pada pengendapan dengan penambahan dosis lumpur ini meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 10 mg/l lumpur mempengaruhi proses pengendapan berputar meskipun peningkatan penyisihan tidak terlalu signifikan.

Penyisihan kekeruhan sampel air sungai Cileueur pada pengendap berputar dengan penambahan 15 mg/l lumpur menunjukkan penurunan jika dibandingkan dengan penyisihan kekeruhan dengan penambahan 10 mg/l (**Tabel 4**). Penyisihan kekeruhan optimum pada pengendap berputar dengan penambahan 15 mg/l lumpur selama waktu pengendapan 60 menit, dicapai pada kecepatan putaran pengendap sebesar 20 rpm dengan kecepatan pengendapan sebesar 1,22 mg/l (**Gambar 4d**). Sama halnya dengan efisiensi penyisihan pada pengendapan dengan penambahan 15 mg/l lumpur, efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan 20 mg/l lumpur dalam pengendapan berputar juga menurun. Penyisihan kekeruhan pada pengendap berputar dengan penambahan 20 mg/l mencapai penyisihan yang optimum pada kecepatan putaran 20 rpm dengan kecepatan pengendapan 0,97 m/jam (**Gambar 4e**). Hasil efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan lumpur untuk sampel air sungai Cileueur menunjukkan hasil peningkatan yang tidak terlalu signifikan. Berdasarkan **Gambar 3e**, penambahan lumpur optimum dalam penyisihan kekeruhan sungai Cileueur adalah pada penambahan 10 mg/l lumpur dengan kecepatan putaran optimum 4 rpm (**Gambar 4e**). Sehingga berdasarkan **Gambar 7b**, kecepatan pengendapan pada putaran dan dosis penambahan lumpur optimum untuk sampel air sungai Cileueur adalah 1,05 m/jam.

Sama halnya dengan sampel air sungai Cileueur, berdasarkan **Gambar 5b, Gambar 5c, Gambar 5d, dan Gambar 5e**, penambahan lumpur pada sampel air sungai Citarum Atas tidak secara signifikan menaikkan atau menurunkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Berdasarkan **Tabel 4**, efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan lumpur pada sampel air sungai Citarum Atas dengan waktu pengendapan 60 menit cenderung meningkat pada dosis penambahan lumpur dan putaran pengendapan tertentu. Data pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa penambahan 5 mg/l lumpur pada sampel air sungai Citarum Atas dalam pengendap berputar meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan jika dibandingkan dengan pengendapan tanpa penambahan lumpur. Nilai penyisihan kekeruhan optimum pada pengendap berputar dengan penambahan 5 mg/l dicapai pada kecepatan putaran pengendapan 13 rpm dengan kecepatan pengendapan 0,85 m/jam (**Gambar 6b**). Penambahan 10 mg/l lumpur juga meningkatkan penyisihan kekeruhan (**Tabel 4**). Penyisihan kekeruhan optimum pada penambahan 10 mg/l lumpur dalam pengendap

berputar adalah pada kecepatan putaran kolom pengendap 8 rpm. Kecepatan pengendapan pada putaran 8 rpm mencapai 0,001 m/jam (**Gambar 6c**). Nilai penyisihan kekeruhan dengan penambahan 15 mg/l lumpur pada sampel air sungai Citarum Atas lebih besar jika dibandingkan dengan nilai penyisihan kekeruhan pada pengendapan tanpa penambahan lumpur (**Tabel 4**). Penyisihan kekeruhan optimum penambahan 15 mg/l lumpur dicapai pada pengendapan tanpa putaran dengan kecepatan pengendapan 0,001 m/jam (**Gambar 6d**). Dengan demikian putaran pada pengendap berputar dengan penambahan 15 mg/l tidak meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 5**, penambahan lumpur 20 mg/l pada sampel air sungai Citarum Atas tidak menyebabkan peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan pengendapan tanpa penambahan lumpur. Penyisihan kekeruhan optimum dengan penambahan lumpur 20 mg/l pada pengendap berputar dicapai pada kecepatan putaran kolom pengendap 8 rpm dengan kecepatan pengendapan 0,95 m/jam (**Gambar 6e**).

Hasil efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penambahan lumpur untuk sampel air sungai Citarum Atas menunjukkan fluktuasi yang tidak terlalu signifikan. Fluktuasi penyisihan kekeruhan pada sampel air sungai Citarum Atas dengan waktu pengendapan 60 menit dapat dilihat pada **Gambar 5f**. Berdasarkan gambar tersebut, penambahan lumpur optimum dalam penyisihan kekeruhan sampel air sungai Citarum Atas adalah penambahan 5 mg/l lumpur. Sedangkan berdasarkan **Gambar 6f**, kecepatan putaran optimum pada pengendapan berputar untuk sampel air sungai Citarum Atas adalah kecepatan putaran 8 rpm. Dengan menggunakan regresi pada **Gambar 6b** dan mensubstitusikan efisiensi penyisihan kekeruhan dengan waktu pengendapan 60 menit pada pengendapan berputar dengan kecepatan putaran 8 rpm dan penambahan 5 mg/l maka kecepatan pengendapan pada putaran dan dosis penambahan lumpur optimum untuk sampel air sungai Citarum Atas adalah 1,15 m/jam.

Penambahan lumpur pada proses pengendapan berputar tidak secara signifikan menaikkan maupun menurunkan efisiensi penyisihan kekeruhan pada sampel air. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dalam lumpur dapat mempengaruhi peningkatan penyisihan kekeruhan. Hal ini disebabkan keberadaan dua senyawa ini dapat mempercepat terbentuknya Flok di dalam air. Namun, kandungan zat organik dan SO_4^{2-} dalam lumpur dapat mengganggu proses pengendapan sehingga menurunkan efisiensi penyisihan kekeruhan. Penambahan lumpur pada sampel air sungai Cileueur secara tidak signifikan meningkatkan penyisihan kekeruhan. Peningkatan ini disebabkan karena masih terdapat kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang dapat dimanfaatkan. Sedangkan untuk sampel air sungai Citarum Atas, penambahan lumpur tidak meningkatkan penyisihan kekeruhan. Hal ini disebabkan karena meskipun di dalam lumpur terdapat kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 , namun kandungan Al_2O_3 di dalam lumpur yang kecil tidak mempercepat penggabungan flok. Selain itu kandungan zat organik dan SO_4^{2-} yang tinggi di dalam lumpur mengganggu penggabungan flok di dalam air.

4. KESIMPULAN

Kecepatan putaran dan penambahan lumpur pada pengendap berputar mempengaruhi efisiensi penyisihan kekeruhan. Pada sampel air sungai Cileueur, kecepatan putaran mampu meningkatkan efisiensi penyisihan hingga 76,6% pada kecepatan putaran 8 rpm. Sedangkan untuk sampel air sungai Citarum, putaran memiliki pengaruh yang besar terhadap penyisihan kekeruhan yang ditunjukkan dengan peningkatan penyisihan hingga 91,9% pada kecepatan putaran 20 rpm. Penambahan lumpur pada sampel air sungai Cileueur mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan dengan penyisihan kekeruhan optimum pada penambahan lumpur 10 mg/l dan kecepatan putaran kolom pengendap 4 rpm hingga mencapai penyisihan sebesar 82,3% dalam waktu detensi 60

menit. Efisiensi penyisihan kekeruhan paling tinggi untuk sampel air sungai Cileueur mencapai 87,3% pada kecepatan putaran 20 rpm dan penambahan 20 mg/l lumpur. Sedangkan pada sampel air sungai Citarum Atas, penambahan lumpur tidak meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan secara signifikan. Efisiensi penyisihan kekeruhan optimum yang dicapai pada kecepatan putaran pengendapan 8 rpm dengan penambahan 5 mg/l lumpur adalah sebesar 75,4%. Sedangkan penyisihan kekeruhan terbesar pada sampel air sungai Citarum Atas mencapai 95,8% yaitu pada kecepatan putaran pengendapan 8 rpm dengan penambahan 10 mg/l lumpur. Dalam penelitian ini, ukuran partikel, distribusi partikel dan viskositas larutan tidak diperhitungkan. Sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dikaji pula mengenai pengaruh ukuran dan distribusi partikel serta viskositas larutan dalam pengendapan berputar.

Daftar Pustaka

- Al-Layla, M. Anis, Shamim Ahmad, E. Joe Middlebrooks.** 1978. *Water Supply Engineering Design*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- Anlauf, Harald,** 2007. *Recent Developments in Centrifuge Technology*. Separation and Purification Technology 58, pages 242-246 Bürger,
- R., F. Concha,** 2001. *Settling velocities of particulate systems: 12. Batch centrifugation of flocculates suspensions*. Int.J. Miner. Process 63, pages 115-145 Eker, İlyas, Fahrettin GÖĞÜŞ,
- Mehmet TÜmay,** 2002. *Sedimentation Process in a Water Treatment System*. Pakistan Journal of Applied Sciences 2 (6), pages 694-697.
- Fair, Gordon M., John C. Geyer, D. Alexander Okun.** 1970. *Elements of Water Supply and Wastewater Disposal*. New York : John Wiley & Sons, Inc. Huisman, L. 1974. *Sedimentation and Flootation, Mechanical Filtration*. Delft University of Technology
- Peter, Folorunso Olatunji,** 2007. *An Investigation into Settling Pattern of Suspended Solid Matter in Fresh Water a Case Study of Ujere Rivers, Ado-Ekiti*. Research Journal of Applied Sciences 2 (7), pages 788-793.
- Reynolds, Tom D.** 1982. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. California: Wadsworth, Inc.
- Suharto.** 2005. *Pemanfaatan Lumpur Sedimentasi Sebagai Koagulan Cair*. Tesis TL-UNDIP.
- Sutherland, Ken,** 2005. *Centrifuge focus: solids removal the options*. Filtration+Separation July/August, pages 16-20. Svarovsky, Ladislav. 2000. *Solid-Liquid Separation*. Oxford: Butterworth-Heinemann