

EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR SUNGAI BENGAWAN SOLO MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE STAGE COAGULATIONS* UNTUK MENURUNKAN PARAMETER TURBIDITY DAN *TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS)*

Ganesha¹, Elvis Umbu Lolo^{1*}, Yonathan Suryo Pambudi¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Teknologi Solo, Surakarta, Indonesia

*E-mail: eumbulolo@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pengolahan air minum dengan sumber air baku sungai, diperlukan proses pengolahan lengkap yaitu proses fisika dan kimia dengan melibatkan salah satu proses terpenting yaitu koagulasi flokulasi. Sungai Bengawan Solo merupakan salah satu sumber air baku penting dalam sistem penyediaan minum, khususnya PDAM Kota Surakarta. Sebagai sumber air baku, sungai Bengawan Solo harus melalui proses pengolahan lengkap dengan melibatkan proses koagulasi flokulasi. Dalam prakteknya, proses koagulasi flokulasi yang dipergunakan dalam pengolahan air minum di PDAM Kota Surakarta masih menggunakan proses 100 % satu tahap. Proses koagulasi flokulasi 100% satu tahap memiliki kekurangan yang perlu dikaji jika dibandingkan dengan koagulasi flokulasi dua tahap, terutama pada sumber air baku permukaan yang memiliki kandungan kekeruhan dan bahan organik alami tinggi. Tujuan penelitian ini untuk mengusulkan implementasi proses koagulasi flokulasi dua tahap dalam pengolahan air minum. Metodologi dalam penelitian ini adalah dengan melakukan survei lapangan sungai Bengawan Solo, untuk menentukan titik pengambilan sampel. Alat utama yang dipergunakan adalah *jar test*, yang berfungsi sebagai prototipe dalam proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi dalam skala *scale down*. Analisis data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode koagulasi dua tahap (*double stage coagulations*) memiliki perbedaan yang signifikan serta lebih baik dibandingkan dengan metode koagulasi satu tahap (*one stage coagulation*). Dosis dan rasio pembubuhan koagulan terbaik menggunakan metode *double stage coagulations* terjadi pada dosis 50 ppm menggunakan rasio 25% - 75% dengan menunjukkan hasil *removal* kekeruhan hingga 100% dan *removal* TDS hingga 15%. Metode *double stage coagulations* mampu menurunkan angka kekeruhan maksimum hingga 100% dan menurunkan angka TDS maksimum hingga 26,43%.

Kata kunci: pengolahan; air sungai Bengawan Solo; *double stage coagulations*; kekeruhan; TDS

ABSTRACT

Processing drinking water using raw river water sources requires a complete processing process, namely physical and chemical processes, involving one of the most important processes, namely coagulation-flocculation. The Bengawan Solo River is an important source of raw water in the drinking supply system, especially in PDAM Surakarta City. As a source of raw water, the Bengawan Solo River must go through a complete processing process involving the coagulation-flocculation process. In practice, the flocculation coagulation process used in drinking water treatment at PDAM Surakarta City still uses a 100% one-stage process. The one-stage 100% flocculation coagulation process has disadvantages that need to be studied when compared with two-stage flocculation coagulation, especially in surface raw water sources that have high levels of turbidity and natural organic matter. This research proposes implementing a two-stage flocculation coagulation process in drinking water treatment. The methodology in this research is to conduct a field survey of the Bengawan Solo River to determine sampling points. The main tool used is the part test, a prototype in the coagulation, flocculation, and sedimentation processes on a scale down the scale. Analysis of the research data can conclude that the two-stage coagulation method has significant differences and is better than the one-stage coagulation method. The best dose and ratio of coagulant application using the two-stage coagulation method occurs at a dose of 50 ppm using a ratio of 25%

- 75%, showing turbidity removal results of up to 100% and TDS removal of up to 15%. The two-stage coagulation method can reduce the maximum turbidity figure by up to 100% and reduce the maximum TDS figure by up to 26.43%.

Keywords: processing; Bengawan Solo river water; double stage coagulations; turbidity; TDS

1. PENDAHULUAN

Hampir semua negara berkembang termasuk di Asia mengalami masalah pencemaran lingkungan khususnya sungai yang merupakan salah satu sumber air baku dalam pengolahan air minum, di samping untuk pemenuhan kebutuhan domestik, kegiatan pertanian dan perikanan, kebutuhan industri dan pariwisata [1]. Air adalah salah satu kebutuhan pokok manusia. Kegunaan air yang bersifat umum atau menyeluruh dari setiap aspek kehidupan menjadikan air semakin berharga, baik dilihat dari segi kuantitas maupun kualitas. Ketersediaan dan pengolahan air menjadi sangat penting untuk mendukung kehidupan masyarakat. Pengolahan air minum berdasarkan kualitas dan kuantitasnya akan mempengaruhi kualitas hidup penduduk, sehingga pemenuhan kebutuhan akan air bersih pada permukiman menjadi sebuah hak masyarakat yang harus dipenuhi secara adil [2].

Pada umumnya proses pengolahan air minum dengan sumber air baku sungai atau air permukaan terdiri dari proses koagulasi flokulasi, sedimentasi, penyaringan dengan saringan pasir, karbon aktif dan diakhiri dengan desinfeksi [3]. Proses koagulasi adalah proses pengadukan cepat untuk mendestabilkan partikel koloid dengan adanya penambahan bahan kimia koagulan [4]. Sedangkan proses flokulasi adalah proses pengadukan lambat untuk menggabungkan mikroflok menjadi makroflok sehingga membentuk flok-flok yang lebih besar dan dapat mengendap secara gravitasi akibat beratnya [5]. Bahan kimia koagulan yang biasa digunakan adalah kalsium, aluminium dan besi. Berdasarkan berbagai hasil penelitian maka yang sering dipakai dalam pengolahan air adalah koagulan *Aluminium sulfat* dan *Poly aluminium chloride* [6].

TDS merupakan kepanjangan dari *Total Dissolved Solid*, yang memberikan petunjuk adanya garam anorganik dan sejumlah kecil senyawa non *ionic* yang terdapat dalam permukaan air. Kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+ serta anion CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} dan NO_3^- merupakan bahan yang sering ditemukan. TDS diukur dengan Teknik gravimetri atau dapat menggunakan alat TDS meter [7]. Perubahan tata guna lahan, kondisi topografi, tumbuh-tumbuhan, iklim dan kondisi hidrologi akan memberikan dampak pada kualitas air permukaan termasuk sungai [8]. Aliran air permukaan dari salju dan hujan serta terjadinya kebakaran hutan akan berdampak meningkatnya padatan tersuspensi dan kekeruhan dibandingkan dengan daerah aliran sungai tidak mengalami dampak [9]. Tingginya aliran air permukaan akan memberikan kontribusi terhadap kekeruhan air, yang merupakan parameter dapat diukur dan dikaitkan dengan TSS [10] dan banyaknya mikroorganisme [11].

Menurut Hestik Astuti [12], proses pengolahan air baku dari sungai menjadi air bersih pada umumnya melalui tahapan prasedimentasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi kemudian desinfeksi. Salah tahapan proses produksi yang sangat penting adalah proses koagulasi-flokulasi. Namun metode koagulasi belum mengalami pengembangan ataupun inovasi yang signifikan. Hal tersebut terlihat dari 3 Instalasi Pengolahan Air yang ada di salah satu Kota yang dilalui sungai Bengawan Solo yaitu Kota Surakarta. Di Kota Surakarta memiliki 3 Instalasi Pengolahan Air yang seluruh metode koagulasinya menggunakan *one stage coagulation* atau koagulasi konvensional. Dua Instalasi Pengolahan Air (IPA Jebres dan IPA Jurug) di Surakarta menggunakan air permukaan yaitu air sungai Bengawan Solo sebagai air bakunya. Sungai Bengawan Solo dipilih sebagai air baku bagi IPA Jebres dan IPA Jurug karena memiliki debit yang kontinu sepanjang tahun serta karakteristik air yang ideal bila diolah menggunakan metode koagulasi karena kekeruhan yang relatif tinggi. Di sisi lain, *double stage coagulations* adalah salah satu

inovasi untuk mengembangkan metode kogulasi konvensional yang sering diaplikasikan sekarang.

Berbagai hasil penelitian tentang koagulasi menunjukkan bahwa proses koagulasi dengan *one stage coagulation* mengalami kesulitan dalam menurunkan kandungan bahan organik, kekeruhan dan partikel koloid [13]-[15]. Proses koagulasi flokulasi dengan *double staged coagulation* adalah proses koagulasi flokulasi dengan dua kali proses koagulasi dan dua kali penambahan bahan kimia koagulan pada proses pengadukan cepat dan selanjutnya dilakukan proses flokulasi [16]. Pengolahan dengan menggunakan proses koagulasi lebih sering digunakan karena biayanya yang cukup murah serta mudah untuk dioperasikan.

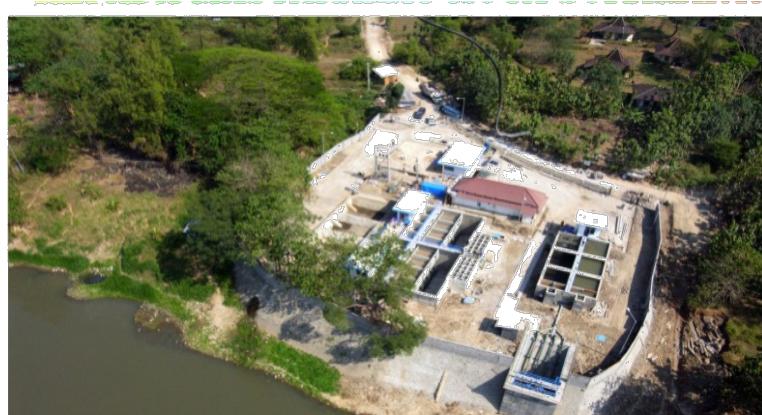
Menurut Fitria & Handayani [16] Carlson & Gregory [17], beberapa penelitian telah dilakukan untuk menemukan metode baru dalam proses koagulasi. Salah satunya memodifikasi proses koagulasi flokulasi dengan *double stage coagulations*. *Double stage coagulations* ini menunjukkan efisiensi pengolahan air baku sungai yang memiliki tingkat kekeruhan air dengan total organik yang tinggi ($>6 \text{ mg/l}$) dapat diturunkan sebesar 25%. Menurut Fitria dan Handayani [16], penggunaan lebih baik dalam menurunkan kandungan bahan organik dibandingkan dengan *one stage coagulation*. Metode pengolahan ini mampu menurunkan parameter bahan organik dalam air sungai sebesar 97,34%. Jika menggunakan *one stage coagulation* yang hanya mampu menurunkan bahan organik sebesar 58,75%.

Dilakukannya penelitian tentang *double stage coagulations* ini maka dapat membuka opsi-opsi baru yang dapat digunakan suatu hari nanti dalam desain konstruksi Instalasi Pengolahan Air yang baru. Penelitian ini dapat bermanfaat bagi Perusahaan Daerah Air Minum yang mengolah air menggunakan air baku Sungai Bengawan Solo untuk dapat mengetahui gambaran umum bagaimana respon air baku Sungai Bengawan Solo terhadap metode pengolahan *double stage coagulations*. Proses ini juga merupakan salah satu alternatif pengolahan air dengan padatan tersuspensi dan zat organik tinggi. Oleh sebab itu penulis berusaha mencoba mengaplikasikan metode *double stage coagulations* dengan sumber air baku Sungai Bengawan Solo dengan harapan dapat diketahui bagaimana karakteristik hasilnya dibandingkan dengan metode *one stage coagulation* serta dapat menjadi pertimbangan pemilihan metode pengolahan air yang lebih efektif dan efisien dengan sumber air baku yang sama di masa mendatang pada Instalasi Pengolahan Air.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian secara kuantitatif eksperimental dengan skala laboratorium. Penelitian ini dilakukan berdasarkan pada variabel-variabel yang telah ditentukan. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan *jar test* yang merupakan peralatan skala laboratorium.

Penelitian tentang penurunan kadar TDS dan kekeruhan air sungai bengawan solo menggunakan metode *double stage coagulations* ini dilakukan dengan sumber air baku dari IPA Jurug dan proses *jar test* serta analisis parameter TDS dan kekeruhan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Kristen Teknologi Solo selama Bulan Maret-Mei 2020. Deskripsi ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Instalasi pengolahan air Jurug PDAM Kota Surakarta

Air sampel diambil dari bak prasedimentasi IPA Jurug. Hal tersebut dimaksudkan untuk membantu proses *jar test* agar sesuai dengan realita karena proses koagulasi dimulai setelah air baku melalui *screening* dan prasedimentasi. Proses *jar test* menggunakan variabel bebas pertama yaitu variasi dosis koagulan PAC sebesar 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l, 40 mg/l, 50 mg/l, dan 60 mg/l. Bila variasi dosis yang digunakan belum optimal dalam proses penjernihan air, maka *range* dosis dapat dinaikkan atau diturunkan hingga didapat *range* yang optimal. Penelitian ini juga menggunakan variabel bebas yaitu rasio pembubuhan koagulan menggunakan metode *double stage coagulations* (75%-25%, 50%-50%, 25%-75%). Setelah dilakukan *jar test* dan didapatkan air hasil pengolahan maka kemudian air diuji laboratorium untuk mengetahui nilai parameter TDS dan kekeruhan.

Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas yaitu dosis koagulan dan rasio pembubuhan koagulan. Caranya yaitu membandingkan metode *double stage coagulations* dengan *one stage coagulation* sebagai variabel kontrol. Di sisi lain, variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai kekeruhan (*turbidity*) dan nilai *Total Suspended Solid* (TSS). Lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Proses	Variabel penelitian	
<i>One Stage Coagulation</i>	Dosis Koagulan (mg/l) 10, 20, 30, 40, 50 dan 60	
<i>Double stage coagulations</i>	Koagulasi I 75% total 50% total 25% total	Rasio Dosis Koagulan Koagulasi II 25% total 50% total 75% total

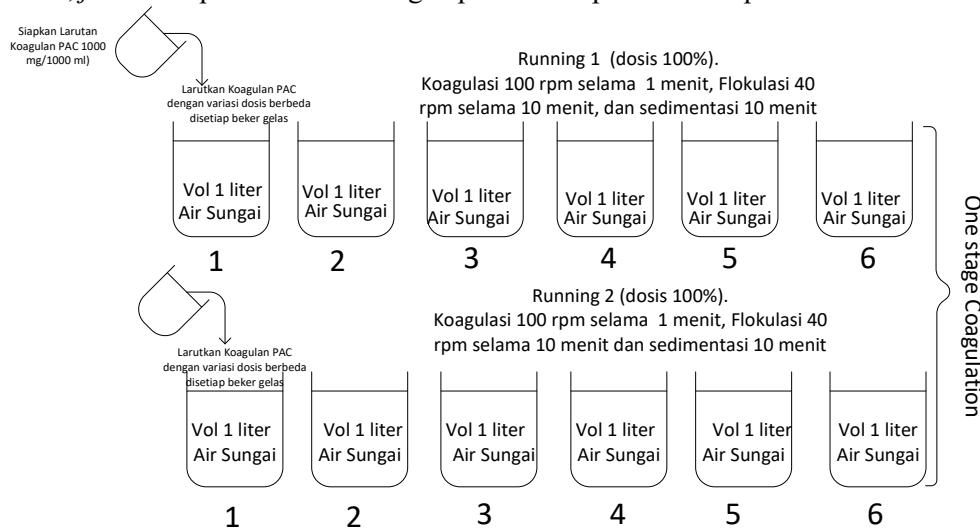
Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan diantaranya ialah pengambilan sampel air baku dari Sungai Bengawan Solo. Kemudian sampel air masuk ke pengujian kualitas air baku seperti konsentrasi TDS awal, pengukuran nilai kekeruhan awal serta pH awal. Tahap penelitian selanjutnya dilanjutkan ke proses koagulasi-flokulasi dengan metode *one stage coagulation* (sebagai kontrol) dan *double stage coagulations* dengan menggunakan *jar test* serta pada tahap akhir dilakukan analisis pengukuran nilai kekeruhan dan konsentrasi TDS. Alat *jar test* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat jar test

a. *Jar test* menggunakan metode *one stage coagulation*

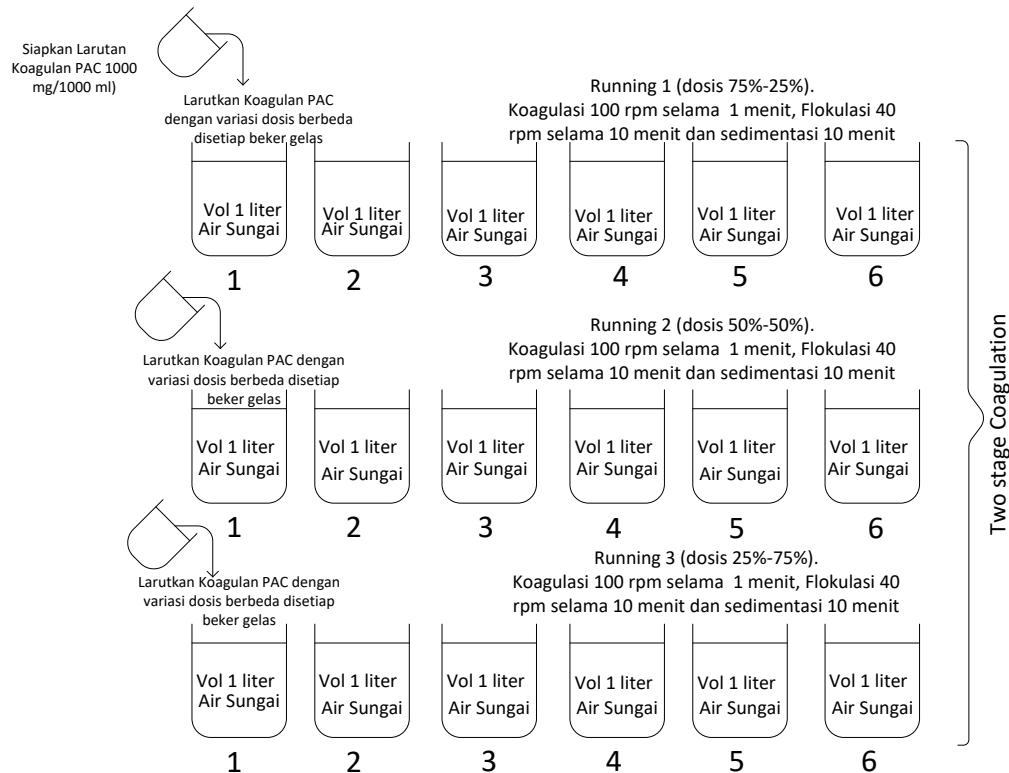
Jar test adalah prosedur untuk meniru cara kerja proses koagulasi flokulasi dalam pengolahan air minum. Hal ini guna mendapatkan dosis yang tepat dalam sekala laboratorium maka penambahan bahan kimia (koagulan) tidak dapat dilakukan sembarangan, harus dengan dosis yang tepat, bahan kimia yang cocok dan harus memperhatikan pH. Oleh sebab itu, *jar test* dapat dilakukan dengan prosedur seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses koagulasi *one stage coagulation*

b. *Jar test* menggunakan metode *double stage coagulations*

Proses *jar test* menggunakan metode *double stage coagulations* sebenarnya tidak jauh berbeda dengan metode *one stage coagulation*. Jika pada *jar test* menggunakan metode *one stage coagulation* air baku hanya sekali mengalami *rapid mixing* dan seluruh dosis koagulan dimasukan ke dalam air baku. Metode *double stage coagulations* proses *rapid mixing* dilakukan sebanyak dua kali dengan sebagian dosis dimasukan pada *rapid mixing* pertama dan dosis sisa dimasukan pada proses *rapid mixing* kedua. Oleh sebab itu, *jar test* dapat dilakukan dengan prosedur seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses koagulasi *double stage coagulations*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari permukaan Bak Prasedimentasi Instalasi Pengolahan Air Jurug. Instalasi Pengolahan Air tersebut mengambil air baku dari Sungai Bengawan Solo. Tujuan dari pengambilan sampel dari bak Prasedimentasi Instalasi Pengolahan Air Jurug adalah air baku pada Bak Prasedimentasi sudah mengalami sedimentasi partikel suspensi dan hanya menyisakan partikel koloid. Hal ini mengakibatkan angka parameter kekeruhan relatif stabil dan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan. Proses preparasi sampel air diawali dengan persiapan alat *sampling*, kemudian wadah sampel dibilas dengan air sampel sebanyak tiga kali. Tujuannya agar bahan-bahan organik maupun anorganik yang bukan berasal dari air sampel dapat terbuang dan tidak mengkontaminasi air sampel, kemudian dilanjutkan dengan mengisi wadah dengan air sampel secukupnya. Proses sampling tersebut sesuai SNI 03-7016-2004 tentang Tata Cara Pengambilan Sampel dalam rangka pemantauan kualitas air pada suatu daerah pengaliran sungai. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Bak prasedimentasi instalasi pengolahan air Jurug

Setelah pengambilan sampel maka dilakukan analisis parameter-parameter penilitian seperti, nilai kekeruhan (*turbidity*), TDS, dan derajat keasaman (pH). Pengukuran kekeruhan menggunakan alat *Turbidity Meter*, pengukuran nilai TDS menggunakan TDS Meter, sedangkan nilai derajat keasaman menggunakan kertas pH Universal. Pengukuran nilai parameter-parameter awal ini bertujuan untuk mendokumentasikan kualitas air baku sehingga dapat digunakan sebagai bahan perbandingan terhadap variabel-variabel penelitian yang dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan kualitas awal air baku disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel parameter awal

No	Parameter	Nilai
1	Kekeruhan	223 NTU
2	TDS	140 ppm
3	pH	7,5

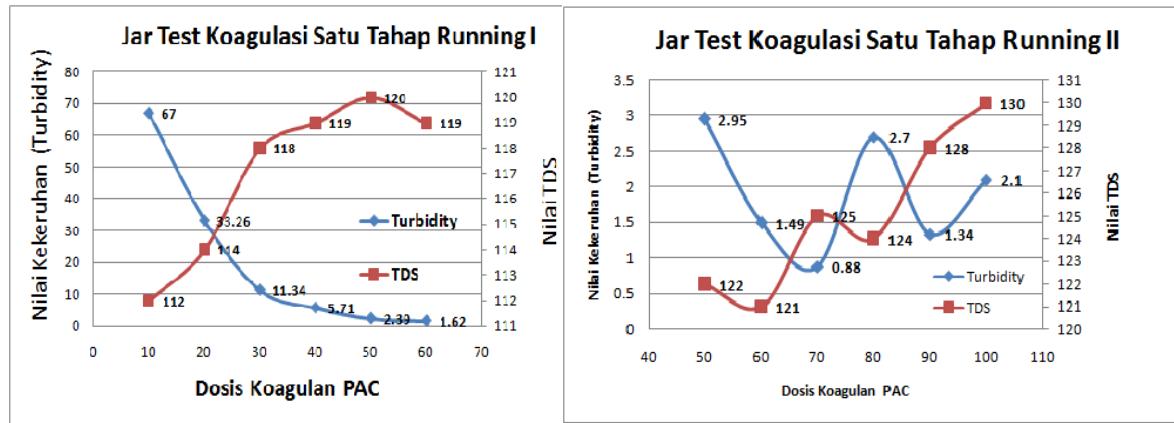
Setelah dilakukan *jar test* menggunakan metode *one stage coagulation* dan *double stage coagulations*, serta mengukur parameter kekeruhan dan TDS. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji *jar test*

Dosis	<i>One stage coagulation</i>				<i>Double stage coagulations</i>					
	Running I (100%)		Running II (100%)		75%-25%		50%-50%		25%-75%	
	Kekeruhan	TDS	Kekeruhan	TDS	Kekeruhan	TDS	Kekeruhan	TDS	Kekeruhan	TDS
10	67	112								
20	33,26	114								
30	11,34	118								
40	5,71	119			0,27	108	1,2	113	0,45	119
50	2,39	120	2,95	122	0,36	109	1,23	112	0	119
60	1,62	119	1,49	121	0,27	111	0,94	103	0,37	114
70			0,88	125	0,19	109	1,72	116	0,16	116
80			2,7	124	0,11	109	1,84	121	0,43	114
90			1,34	128	0	111	1,97	116	0,26	118
100			2,1	130						

Gambar 6 (a) menjelaskan *running* pertama terlihat bahwa nilai kekeruhan awal dengan dosis 10 mg/l adalah 67 NTU. Seiring dosis yang semakin tinggi, nilai parameter kekeruhan semakin rendah hingga menyentuh angka terendah yaitu 1.62 NTU pada dosis 60 mg/l. *Trend* pola grafik yang terus mengalami penurunan maka dapat diprediksi bahwa masih dimungkinkan air baku mengalami penurunan angka kekeruhan dengan ditingkatkannya dosis koagulan. Oleh sebab itu, maka pada *jar test running* kedua dapat ditingkatkan dosis koagulannya untuk mendapat titik optimal dari parameter tersebut.

Air baku yang menggunakan dosis koagulan yang paling rendah yaitu 10 mg/l, parameter TDS mengalami titik terendah yaitu pada nilai 112 ppm. Namun karena pembubuhan koagulan yang semakin meningkat maka nilai TDS juga mengalami peningkatan. Hal tersebut dimungkinkan karena koagulan tidak mengalami pengadukan yang sempurna dan tidak secara sempurna mendestabilisasi partikel koloid dan justru menjadi padatan terlarut yang tidak berikatan. Namun di sisi lain, parameter TDS mengalami nilai tertinggi pada dosis 50 mg/l dengan nilai TDS adalah 120 ppm, kemudian diikuti penurunan pada dosis 60 mg/l dengan nilai TDS adalah 119 ppm.

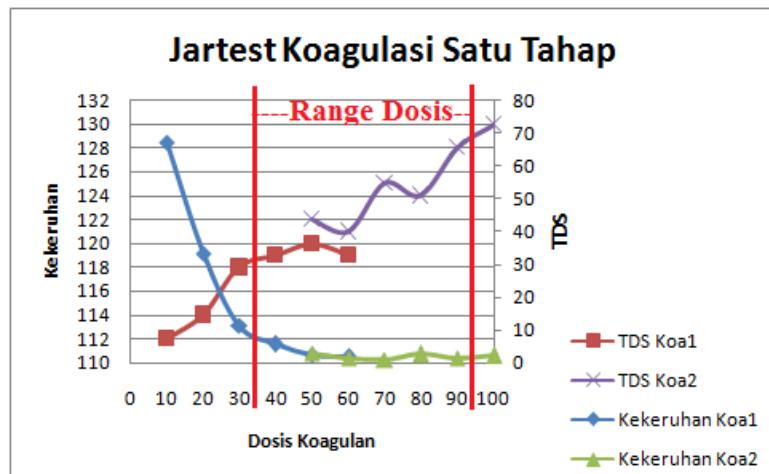


Gambar 6. (a) *One stage coagulation running I*; (b) *One stage coagulation running II*

Gambar 6 (b) menjelaskan *jar test running* kedua menggunakan metode *one stage coagulation*. Grafik parameter kekeruhan mulai mengalami fluktuasi yang menandakan bahwa mulai terjadi restabilisasi partikel koloid oleh koagulan. Hasil terbaik pada parameter kekeruhan didapatkan pada dosis 70 mg/l dengan angka kekeruhan adalah 0.88 NTU. Setelah dosis terus meningkat, nilai parameter kekeruhan cenderung meningkat dari angka 1.34 NTU hingga 2.7 NTU.

Pada parameter TDS, grafik menunjukkan terjadinya peningkatan yang relatif signifikan meskipun tidak linear dan cenderung fluktuatif. Dimulai pada dosis 50 mg/l dengan nilai TDS 122 ppm hingga angka maksimal yaitu 130 ppm pada dosis 100 mg/l koagulan.

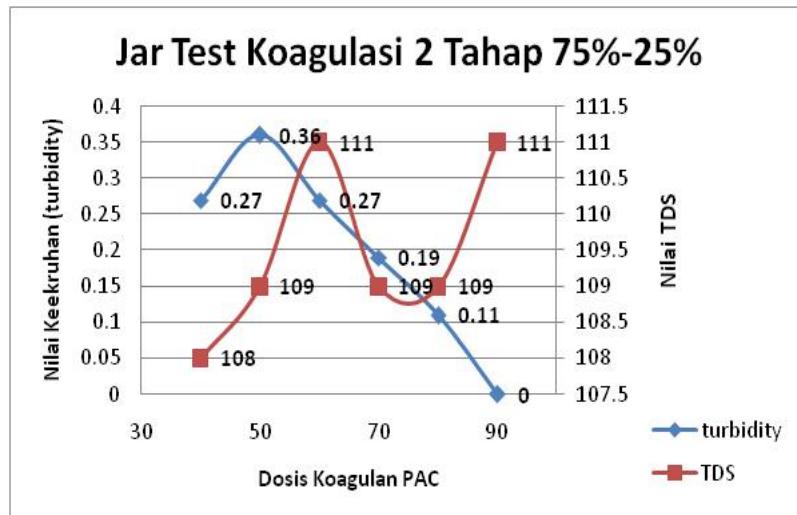
Pada Gambar 7 bila kedua grafik digabungkan maka dapat dilihat bahwa data *running* pertama dan *running* kedua memiliki korelasi yang cukup baik dan tidak signifikan. pada variabel TDS menunjukkan nilai yang cenderung terus meningkat seiring bertambahnya peningkatan dosis koagulan. Sedangkan, pada variabel kekeruhan grafik menunjukkan pola terus menurun dari dosis 10 ppm hingga 70 ppm dan kemudian grafik kembali naik. Pola tersebut menunjukkan titik dosis koagulan optimum karena dapat menurunkan angka kekeruhan hingga yang terendah dan kemudian kembali grafik naik karena restabilisasi partikel koloid. Oleh karena itu, *range* dosis yang diambil sebagai dosis *control* untuk *double stage coagulations* selanjutnya adalah dari nilai dosis 40 ppm hingga 90 ppm. *Range* dosis yang sudah ditentukan tersebut maka dapat diobservasi pengaruh rasio penambahan dosis koagulan menggunakan metode *double stage coagulations*.



Gambar 7. *Range dosis control*

Setelah dilakukan *jar test* menggunakan metode *one stage coagulation* dan dilihat hasil melalui parameter-parameternya. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan *range* dosis koagulan yang akan digunakan pada *jar test* menggunakan metode *double stage coagulations*. Oleh karena itu, setelah melihat hasil *jar test running* pertama dan kedua maka *jar test* dengan metode *double stage coagulations*. Metode ini dimulai dengan dosis 40 mg/l hingga 90 mg/l dengan kenaikan 10 mg/l pada setiap tahapnya.

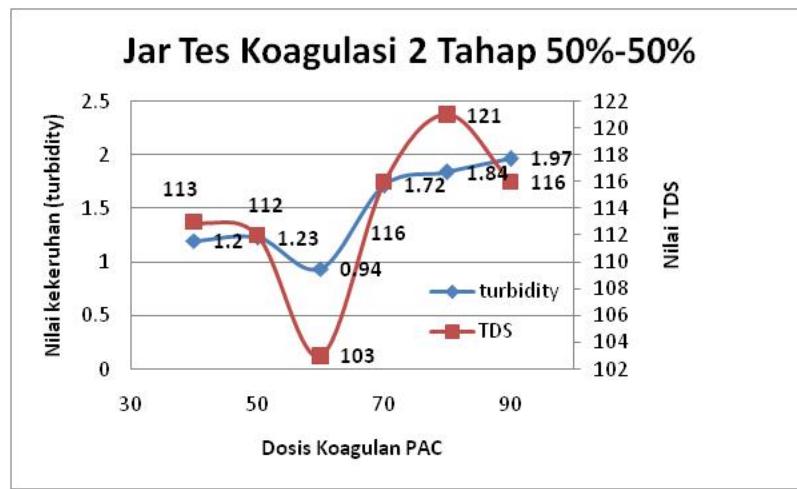
Setelah dilakukan *jar test* menggunakan metode *double stage coagulations* dengan rasio pembubuhan koagulan pertama 75% total dosis dan pembubuhan ke dua 25% total dosis maka didapat data seperti Gambar 8.



Gambar 8. Koagulasi II tahap rasio 75%-25%

Pada parameter kekeruhan terlihat bahwa dosis 40 mg/l dapat menurunkan nilai kekeruhan hingga 0,27 NTU. Meskipun nilai kekeruhan kembali naik namun diikuti penurunan nilai yang cukup linear hingga nilai 0,0 NTU pada dosis 90 mg/l

Sedangkan pada parameter TDS terlihat sangat fluktuatif meskipun jangkauannya tidak terlalu lebar. Nilai terendah yaitu 108 ppm didapat pada dosis 40 mg/l dan nilai TDS tertinggi yaitu 111 ppm pada dosis 60 mg/l dan 90 mg/l.

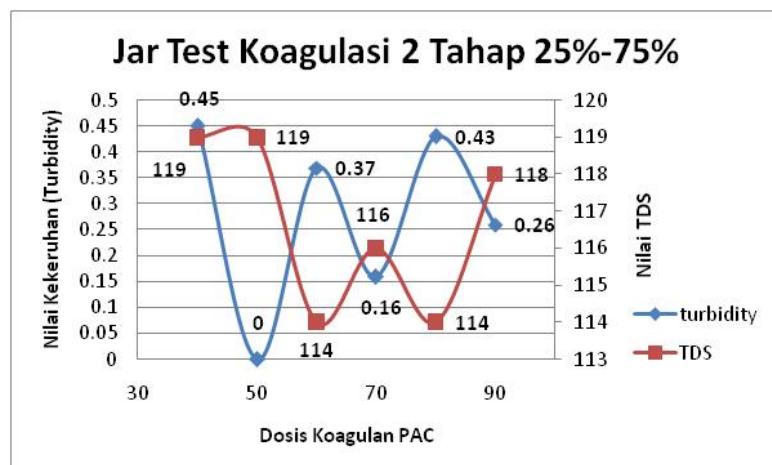


Gambar 9. Koagulasi II tahap rasio 50%-50%

Gambar 9 memperlihatkan pada *running* dengan rasio pembubuhan koagulan 50% total dosis pada koagulasi pertama. Selain hal itu, 50% total dosis pada koagulasi kedua

didapat rata-rata angka yang lebih tinggi dibanding dengan rasio 75% total dosis pada koagulasi pertama dan 25% total dosis pada koagulasi kedua. Pada dosis koagulan 40 mg/l didapat angka kekeruhan 1,2 NTU. Nilai kekeruhan terbaik didapatkan pada dosis 60 mg/l dengan 0,94 NTU. Setelah itu, parameter kekeruhan terus meningkat seiring peningkatan dosis koagulan hingga mencapai 1,97 NTU pada dosis 90 mg/l.

Sedangkan pada parameter TDS, pada dosis 40 mg/l dapat menurunkan angka TDS hingga 113 ppm. Pada dosis 60 mg/l dapat menunjukkan hasil terbaik dengan nilai 103 ppm. Kemudian terus mengalami peningkatan hingga 121 ppm pada dosis 80 mg/l.



Gambar 10. Koagulasi II tahap rasio 25%-75%

Gambar 10 pada *jar test double stage coagulations* dengan rasio 25% total dosis pada koagulasi pertama dan 75% total dosis pada koagulasi kedua didapatkan penurunan. Hal ini didapatkan pada parameter kekeruhan dibandingkan dengan rasio pembubuhan koagulan 50% total dosis pada koagulasi pertama dan 50% total dosis pada koagulasi kedua. Pada dosis awal yaitu 40 mg/l didapatkan nilai kekeruhan 0,45 NTU kemudian mengalami penurunan pada dosis koagulan 50 mg/l hingga menyentuh angka 0,0 NTU. Setelah itu, parameter kekeruhan cenderung meningkat meskipun fluktuatif seiring peningkatan dosis koagulan.

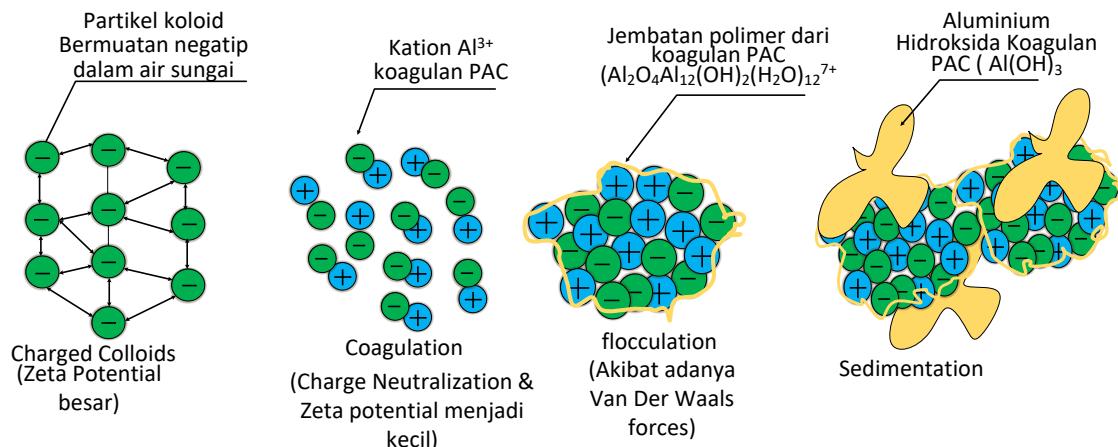
Sedangkan pada parameter TDS menunjukkan grafik yang fluktuatif. Pada dosis 40 mg/l mampu menurunkan angka TDS hingga 119 ppm. Angka terendah pada dosis 60 mg/l dan 80 mg/l, kemudian kembali mengalami peningkatan pada dosis 90 mg/l dengan angka TDS yaitu 118 ppm.

Penelitian ini juga dilakukan analisis dan pengolahan data tentang nilai persentase *removal* antara metode *one stage coagulation* dan *double stage coagulations* terhadap variabel kekeruhan. Hal ini disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persentase *removal* kekeruhan

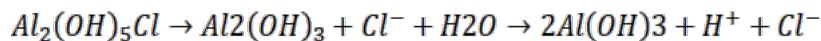
Dosis	Nilai <i>Removal</i> Kekeruhan (%)			
	Koagulasi 1 tahap (100%)	Koagulasi 2 tahap (75%-25%)	Koagulasi 2 tahap (50%-50%)	Koagulasi 2 tahap (25%-75%)
40 ppm	97.44	99.88	99.46	99.80
50 ppm	98.80	99.84	99.45	100.00
60 ppm	99.30	99.88	99.58	99.83
70 ppm	99.61	99.91	99.23	99.93
80 ppm	98.79	99.95	99.17	99.81
90 ppm	99.40	100.00	99.12	99.88

Koagulan *Poly Aluminium Chloride* adalah jenis koagulan yang memiliki unsur klorida dengan basis utamanya aluminium. Rumus molekul koagulan PAC adalah $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$ sering dipergunakan dalam pengolahan air adalah $Al_{12}Cl_{24}(OH)_{24}$ [18]. Jika dibandingkan dengan koagulan lainnya koagulan PAC memberikan tingkat efisiensi yang lebih tinggi [19]. Hal ini dapat diamati pada Gambar 10.



Gambar 11. Proses koagulasi flokulasi dan sedimentasi partikel koloid dalam air sungai

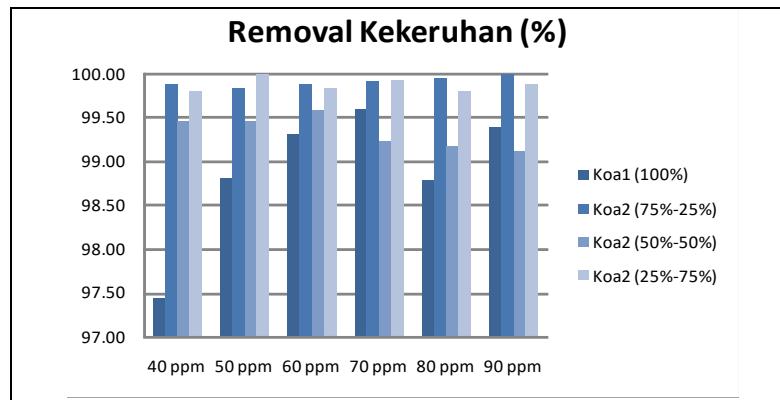
Ketika koagulan PAC ditambahkan kedalam air Sungai maka akan terjadi reaksi kimia sebagai berikut:



Secara umum *one stage coagulation* diawali ketika koagulan PAC ditambahkan ke dalam air sungai maka akan terjadi tiga reaksi yaitu reaksi disosiasi, reaksi hidrolisis dan reaksi polimerisasi. Ketiga reaksi tersebut akan menghasilkan kation Al^{3+} , senyawa aluminium hidroksida $Al(OH)_3$ yang berfungsi sebagai inti flok yang bersifat porous dan ion polimer dalam bentuk $Al_2O_4Al_{12}(OH)_2H_2O_{12}^{7+}$. Berdasarkan Gambar 8 partikel koloid dalam air sungai memiliki muatan negatif, sehingga antara partikel koloid terjadi gaya tolak-menolak atau *repulsive force*. Pada kondisi ini partikel koloid memiliki nilai Zeta potential yang besar. Ketika koagulan PAC ditambahkan ke dalam air sungai dalam proses koagulasi, maka akan menghasilkan kation Al^{3+} yang akan mendestabilkan partikel koloid (menetralisir). Hal ini dilakukan dengan menghilangkan gaya tolak-menolak antara partikel koloid dan menciptakan gaya tarik-menarik / gaya Van der Waals antara partikel koloid dalam air sungai dengan kation Al^{3+} dari koagulan PAC. Pada kondisi ini nilai Zeta potensial partikel koloid menjadi kecil bahkan nol.

Tahap selanjutnya adalah senyawa Aluminium hidroksida $Al(OH)_3$ yang memiliki sifat porous dan kemampuan adsorpsi akan menarik partikel koloid yang telah mengalami destabilisasi membentuk mikrofloks-mikrofloks menjadi makrofloks. Adanya senyawa polimer $Al_2O_4Al_{12}(OH)_2H_2O_{12}^{7+}$ dari koagulan PAC akan mempercepat proses pembentukan makrofloks-makrofloks. Hal ini disebabkan oleh polimer yang berfungsi sebagai jembatan antar partikel koloid yang saling bertumbuhan dan menggumpal satu sama lain. Makrofloks makin membesar dan berat sehingga akan mengendap secara gravitasi akibat beratnya.

Pada metode *double stage coagulations*, proses koagulasi yang lebih banyak memberikan kesempatan pada koagulan untuk teradsorbsi secara lebih sempurna ke partikel koloid sehingga dengan dosis yang sama, efektivitas *removal* partikel koloid lebih baik terjadi pada metode *double stage coagulations* dibandingkan metode *one stage coagulation*.



Gambar 12. Persentase *removal* kekeruhan

Gambar 12 menunjukkan bahwa persentase kemampuan *removal* kekeruhan terendah *one stage coagulation* adalah 97,44% sedangkan persentase tertinggi adalah 99,61%. Meskipun nilai maksimumnya cukup baik namun bila dilihat secara luas fluktuasi *removal one stage coagulation* sangat fluktuatif pada setiap variasi dosisnya. Hal tersebut dapat menjadi persoalan pada proses pengaplikasiannya di lapangan karena kualitas air sungai tidak pernah sama persis dari waktu ke waktu. Sehingga bila tiba-tiba kualitas air baku mengalami perubahan seperti peningkatan nilai kekeruhan maka proses *one stage coagulation* tidak akan mampu menjaga efektivitasnya dalam menurunkan nilai kekeruhan pada air baku.

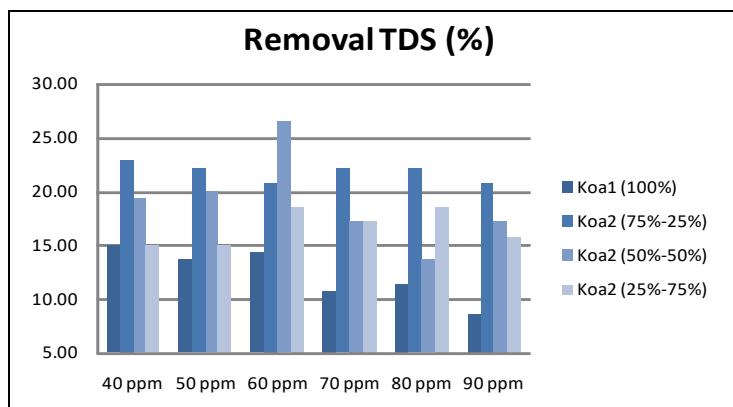
Di sisi lain, menurut grafik perbandingan keempat variabel menunjukkan metode *double stage coagulations* memiliki konsistensi yang sangat baik dalam berbagai variasi dosis dan tetap mampu menjaga persentase *removal* kekeruhan dalam angka yang mendekati maksimal. Pada Tabel 4 terlihat bahwa dengan metode *double stage coagulations* dan rasio 75%-25% mampu menurunkan angka kekeruhan hingga 100% tanpa mengalami penurunan efektifitas *removal* di bawah 99,84% pada berbagai variasi dosisnya. Sedangkan pada rasio 50%-50%, hasil pengukuran menunjukkan nilai yang cukup baik meskipun tidak sebaik dengan rasio 75%-25%. Pada rasio 50%-50% mampu menurunkan angka kekeruhan hingga maksimal 99,58% dan paling rendah adalah 99,12%. Pada rasio terakhir yaitu 25%-75% menunjukkan hasil yang sangat baik. Pada rasio ini, proses *double stage coagulations* mampu menurunkan angka kekeruhan maksimal hingga 100% pada dosis 50 ppm. Bila rasio 75%-25% dibandingkan dengan rasio 25%-75% maka dapat dilihat bahwa dalam usaha untuk menurunkan angka kekeruhan hingga 100%, rasio 25%-75% memiliki efektivitas yang lebih baik. Nilai ini ditunjukkan pada dosis 50 ppm. Sedangkan pada rasio 75%-25% terjadi pada dosis 90 ppm. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses *double stage coagulations* mampu mendestabilisasi partikel koloid lebih sempurna dibanding *one stage coagulation* dalam hal penyisihan kekeruhan.

Setelah dilakukan analisis dan pengolahan data maka didapatkan nilai persentase *removal* antara metode *one stage coagulation* dan *double stage coagulations* terhadap variabel TDS yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Removal TDS

Dosis	Nilai Removal TDS (%)			
	Koagulasi 1 (100%)	Koagulasi 2 (75%-25%)	Koagulasi 2 (50%-50%)	Koagulasi 2 (25%-75%)
40 ppm	15.00	22.86	19.29	15.00
50 ppm	13.57	22.14	20.00	15.00
60 ppm	14.29	20.71	26.43	18.57
70 ppm	10.71	22.14	17.14	17.14
80 ppm	11.43	22.14	13.57	18.57
90 ppm	8.57	20.71	17.14	15.71

Bila dilihat garis besarnya pada metode *double stage coagulations*, waktu koagulasi menjadi lebih panjang dan pembubuhan dilakukan secara bertahap. Hal ini membuat koagulan terdisosiasi secara sempurna dan sekaligus memberi kesempatan untuk partikel padatan terlarut mengabsorbsi ion Al^{3+} bebas lebih sempurna. Hal ini berakibat pada partikel bermuatan menjadi netral. Kemudian dilanjutkan dengan proses flokulasi sehingga flok-flok kecil yang terbentuk akan saling berbenturan dan membentuk partikel yang lebih besar hingga akhirnya akan terlampau berat untuk terus mengambang-ngambang di dalam air dan akhirnya mengendap.

**Gambar 13. Persentase removal TDS**

Gambar 13 menunjukkan bahwa persentase kemampuan removal TDS terendah *one stage coagulation* adalah 8,57% sedangkan persentase tertinggi adalah 15%. Bila dibandingkan dengan rasio *double stage coagulations* dapat diketahui bahwa hasil dari proses *one stage coagulation* tidak lebih baik dibandingkan *double stage coagulations*. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena proses pengadukan koagulan yang kurang merata sehingga koagulan tidak benar-benar terurai untuk mendestabilisasi partikel koloid sebanyak mungkin. Akibatnya masih banyak padatan terlarut yang tidak mengalami flokulasi dan masih melayang-layang di dalam air sehingga angka TDS menunjukkan persentase penurunan yang relatif kecil.

Di sisi lain pada metode *double stage coagulations* dapat dilihat bahwa secara keseluruhan kemampuan menurunkan TDS lebih baik dibandingkan dengan metode *one stage coagulation*. Pada rasio 75%-25%, persentase removal terendah adalah 20,71% sedangkan persentase maksimalnya adalah 22,86%. Pada rasio tersebut persentase removal TDS hampir dua kali lipat lebih efektif dibanding metode *one stage coagulation* serta jauh lebih stabil di berbagai variasi dosis. Pada rasio 50%-50% terlihat bahwa secara garis besar persentase removal lebih baik dari *one stage coagulation* namun tidak lebih baik dari

koagulasi dua tahap dengan variasi dosis 75%-25%. Pada rasio 50%-50% ini meskipun memiliki persentase maksimum yang lebih tinggi dari pada rasio sebelumnya (26,43%) tetapi tidak stabil dan mampu menjaga efisiensi di berbagai variasi dosis koagulan. Sedangkan pada rasio 25%-75% memiliki persentase *removal* yang sedikit lebih baik dibanding *one stage coagulation* namun tidak lebih baik dari rasio 50%-50%. Pada rasio 50%-50% hanya mampu mencapai persentase *removal* maksimal yaitu 18,57% sedangkan persentase terendahnya adalah 15%.

Bila dibandingkan dari ketiga variasi rasio pembubuhan koagulan menggunakan metode *double stage coagulations* terhadap metode koagulasi satu tahap maka dapat dilihat bahwa metode *double stage coagulations* memiliki kemampuan yang lebih baik dibanding metode *one stage coagulation* dalam hal penurunan angka TDS. Hal tersebut terjadi karena proses *double stage coagulations* yang menggunakan proses koagulasi yang lebih lama (turbulensi yang lebih banyak) ditambah pembubuhan koagulan secara parsial dan tidak keseluruhan dalam satu waktu. Karena pengaruh kedua hal tersebut maka proses destabilisasi terjadi lebih sempurna dan merata yang memungkinkan padatan terlarut tertangkap oleh koagulan yang terurai secara lebih baik. Rangkaian proses tersebut menghasilkan nilai TDS yang lebih rendah karena sebagian besar telah terikat dan mengalami koagulasi kemudian mengendap.

4. KESIMPULAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan metode *double stage coagulations* memiliki perbedaan yang signifikan serta lebih baik dibandingkan dengan metode *one stage coagulation*. Dosis serta rasio pembubuhan koagulan terbaik menggunakan metode *double stage coagulations* terjadi pada dosis 50 ppm menggunakan rasio 25%-75% dengan menunjukkan hasil *removal* kekeruhan hingga 100% dan removal TDS hingga 15%. Metode *double stage coagulations* mampu menurunkan angka kekeruhan maksimum hingga 100% dan menurunkan angka TDS maksimum hingga 26,43%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. M. Anawar and R. Chowdhury, “Remediation of Polluted River Water by Biological, Chemical, Ecological and Engineering Processes,” *Sustainability*, vol. 12, no. 17, p. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/su12177017>.
- [2] B. Sanim, *Sumber Daya Air dan Kesejahteraan Publik: Suatu Tinjauan Teoritis dan Kajian Praktis*, 1st ed. IPB Bogor Press, 2011. [Online]. Available: https://perpustakaan.kkp.go.id/knowledgerepository/index.php?p=show_detail&id=1074003
- [3] S. Kumari and R. N. Kumar, “River water treatment using electrocoagulation for removal of acetaminophen and natural organic matter,” *Chemosphere*, vol. 273, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128571>.
- [4] T. D. Reynolds and P. A. Richards, *Unit Operations And Processes In Environmental Engineering*, 2nd ed. PWS Publishing Company, 1996.
- [5] Degrémont and s.a, *Water Treatment Handbook, Volume 1*. 1991.
- [6] S. E. Widiyanti, “Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Tello River Water Treatment Using Poly Aluminum Chloride and Aluminum Sulfate,” *Mater. Sci. Eng.*, vol. 679, p. 1, 2019, doi: doi:10.1088/1757-899X/676/1/012026.
- [7] Mohit and Suprita, “A review on correlation between the total dissolved salts (TDS) and electrical conductivity (EC) of water samples collected from different area of Bhiwani city, Haryana, India,” *Int. J. Health Sci. (Qassim)*., p. 5432, 2022, doi: <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS6.10821>.

- [8] S. E. Morris and T. A. Moses, "Forest Fire and the Natural Soil Erosion Regime in the Colorado Front Range," *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, vol. 77, no. 2, pp. 245–254, 2010, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1987.tb00156.x>.
- [9] J. S. Hopkins, "Special Water Quality Survey Of The Pecos Andgallinas Rivers Below The Viveash Andmanuelitas Fires," Santa Fe, New Mexico, 2001. [Online]. Available: <https://www.coursehero.com/file/41755285/ViveashManuelitasFiresReport-2000pdf/>
- [10] J. J. Packman, C. K. J., and D. B. Booth, "Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in Urbanizing Streams in the Puget Lowlands," *Proc. Can. Water Resour. Assoc. Annu. Meet.*, pp. 158–165, 1999, [Online]. Available: <https://digital.lib.washington.edu/researchworks/handle/1773/16333?show=full>
- [11] D. Francy and R. Darner, *Factors affecting Escherichia coli concentrations at Lake Erie public bathing beaches*. Columbus, USA: U.S. Geological Survey, 1998.
- [12] H. Astuti, "Efektivitas dan Efisiensi Instalasi Pengolahan Air (IPA) dalam Penyediaan Air Baku Air Minum PDAM Surakarta Berdasarkan Parameter Fisika Kimia dan Biologi (Kasus Pemanfaatan Air Sungai Bengawan Solo sebagai Bahan Baku Air Minum melalui IPA Jurug dan IPA J)," Universitas Negeri Sebelas Maret, 2015.
- [13] M. R. Collins, G. L. Amy, and C. Steelink, "Molecular weight distribution, carboxylic acidity, and humic substances content of aquatic organic matter: implications for removal during water treatment," *ACS Publ.*, vol. 20, no. 10, pp. 128–132, 1986, doi: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es00152a011>.
- [14] W. D. Fearing. D. A, Banks J, "NOM control option: the next generation," *Water Sci. Technol. Water Supply*, 2004.
- [15] M. Perišić, "NOM and Arsenic Removal from Natural Water by Enhanced Coagulation," *Eur. Water Assoc.*, p. 1, 2006, [Online]. Available: https://www.ewa-online.eu/tl_files/_media/content/documents_pdf/Publications/E-Water/documents/39_2006_08.pdf
- [16] D. Fitria and L. Handayani, "Studi Two Staged Coagulation Untuk Menurunkan Kandungan Organik Pada Air Baku Air Minum Kota Padang," *J. Environ. Eng.*, vol. 33, no. 1, p. 94, 2010, [Online]. Available: http://repo.unand.ac.id/3000/1/15.dewi_fitria.pdf
- [17] K. H. Carlson and D. Gregory, "Optimizing Water Treatment with Two-Stage Coagulation," *J. Environ. Eng.*, vol. 126, no. 6, 2000, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2000\)126:6\(556\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2000)126:6(556)).
- [18] Risa Yuni Kartika, "Keefektifan Dosis Koagulan Poly Aluminium Chloride (Pac) Dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solid (Tss) Air Limbah Laundry," Universitas Muhamadiyah Surakarta, 2015. [Online]. Available: http://eprints.ums.ac.id/35447/1/Naskah_Publikasi.pdf
- [19] E. U. Lolo, Y. S. Pambudi, R. I. Gunawan, and Widianto, "Pengaruh Koagulan PAC dan Tawas Terhadap Surfaktan dan Kecepatan Pengendapan Flok Dalam Proses Koagulasi Flokulasi," *Serambi Eng.*, vol. 5, no. 4, p. 1296, 2020, doi: <https://doi.org/10.32672/jse.v5i4>.