

## THE EFFECTS OF GRADIENT VELOCITY AND DETENTION TIME TO COAGULATION – FLOCCULATION OF DYES AND ORGANIC COMPOUND IN DEEP WELL WATER

### *Pengaruh Kecepatan Gradien dan Waktu Tinggal Terhadap Koagulasi – flokulasi Warna dan Zat Organik Air Sumur Dalam*

Muhamad Lindu

The Faculty of Lancekap Architecture and Environmental Technology, Trisakti University,  
Kampus A Gedung K lantai 6 & 7, Jl. Kiyai Tapa No. 1, Jakarta 11440

Received 12 December 2007; Accepted 11 March 2008

#### ABSTRACT

The treatment of deep well water of Trisakti University by coagulation and flocculation using baffle channel system has been conducted. The detention time of hydrolyc were varied. The coagulant dose was varied as 50, 100, 150, 200, 300, 350, 400, 450 and 500 ppm. Water of well sampel was added by coagulant with rotation velocity 200 rpm for 1 minute. The optimal coagulant dose was determined by measuring turbidity, colour, total suspended solids and organic compound. The result showed that the organic compound and colour of deep well water of Trisakti University could be reduced by coagulation and flocculation process by hydrolyc system. The optimal dose of the coagulant was 250 ppm. The removal efficiency of colour and organic compound using optimal dose for continuous flow reactor reached after water flow passed the reactor for 3 – 5 times detention time in the reactor. The optimal gradient velocity (G) was 30 – 35 sec<sup>-1</sup> and collision energy (GT) was 65.000 – 79.000 to get optimal flocculation. With this condition, the removal efficiency of turbidity, colour and organic was more than 90%.

**Keywords:** coagulation, flocculation, colour, organic compound, deep well

#### PENDAHULUAN

Proses penyisihan senyawa organik air tanah dalam, yang berwarna kuning muda sampai kuning kecoklatan, kurang efektif bila diolah menggunakan filter karbon aktif. Hasil uji coba di beberapa instalasi menggunakan proses adsorpsi dengan karbon aktif sebagai adsorban sering menimbulkan kegagalan. Oleh karena itu perlu dilakukan proses alternatif. Salah satu caranya adalah dengan mengkoagulasi dan flokulasi senyawa organik penyebab warna yang ada dalam air tersebut untuk kemudian disisihkan lewat proses pengendapan dan penyaringan. Metode koagulasi dan flokulasi, sering digunakan untuk pengolahan awal air dan air limbah. Tahap koagulasi dan flokulasi dalam pengolahan air bersih maupun air limbah merupakan proses yang sangat penting [1- 3]. Dengan metode ini COD dalam air *leachete* limbah yang mengandung senyawa humin dapat diturunkan sampai 80%. Air tanah dalam dari Universitas Trisakti merupakan sumber air yang layak diolah dengan proses kimia fisika lewat

proses koagulasi dan flokulasi sebelum dilakukan proses sedimentasi partikel flok dan filtrasi. Karakteristik kimia fisik air tanah ini dapat dilihat dalam Tabel 1. Dari Tabel 1. terlihat "air tanah dalam" di Universitas Trisakti ini mengandung zat organik 13,97 ppm, kekeruhan 1,4 NTU dan zat warna 62,5 Pt-Co. Secara visual, air ini berwarna kuning. Berdasarkan persyaratan kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990, baku mutu untuk masing-masing parameter, zat organik 10 ppm, kekeruhan 5 NTU, dan zat warna 15 Pt-Co. Artinya kandungan organik dan warna dalam air ini perlu diturunkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi koagulasi dan flokulasi optimal menggunakan system "baffle channel" dengan cara memvariasi waktu tinggal hidrolis. Sistem koagulasi dengan system hidrolis merupakan cara yang relatif ekonomis karena tidak memerlukan tambahan power listrik seperti system mekanis [4-6]. Warna alami yang disebabkan oleh zat organik merupakan partikel koloid hidrofilik yang bermuatan negatif, yang diperkirakan dapat dikoagulasi menggunakan aluminium sulfat (alum/tawas) yang bermuatan positif [7-8]. Penentuan dosis optimum pembubuhan koagulan aluminium sulfat (alum/tawas) dilakukan dengan alat *jar tester*.

#### METODE PENELITIAN

##### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tanah dari Universitas Trisakti dengan

**Tabel 1.** Karakteristik air tanah Universitas Trisakti, Grogol.

Parameter	Nilai
Suhu (°C)	27,5
pH	8,19
Kekeruhan (NTU)	1,4
Warna (Pt-Co)	62,5
KMnO <sub>4</sub> ( ppm)	13,97
TSS (ppm)	6,85 x 10 <sup>-3</sup>

\* Corresponding author. Tel. : +62-21-5663232;  
Fax. : +62-21-5602575; Email: winlindu@batan.go.id

karakteristik pada Tabel 1, koagulan tawas ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ ), Asam oksalat 0.01 N,  $\text{KMnO}_4$  0.01 N, dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4 N.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain reaktor flokulasi dan koagulasi seperti terlihat pada Gambar 1 dengan karakteristik pada Tabel 2, pompa peristaltic, pH meter, spektrofotometer U-2000, turbidimeter Hach, Flokulator (*jar tester* SW1), serta peralatan gelas.

### Prosedur Kerja

#### Metode sampling

Sampel diambil dari instalasi koagulasi-flokulasi skala laboratorium (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan pada titik influen (1), outlet koagulasi (inlet flokulasi) (2), dan effluent (3). Pola aliran koagulasi dan flokulasi skala laboratorium yang digunakan dalam studi ini dapat dilihat pada Gambar 2.

#### Penentuan dosis koagulan

Sebelum dilakukan studi koagulasi-flokulasi di "baffle channel" dilakukan dulu penentuan dosis koagulan optimum menggunakan alat *jar tester*. Variasi dosis koagulan yang digunakan 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 dan 500 ppm. Sampel air tanah diaduk dengan masing-masing dosis koagulan dengan kecepatan awal 200 rpm selama 1 menit kemudian aduk lambat pada 15 – 20 rpm selama 10 menit, kemudian dibiarkan mengendap. Dosis koagulan optimum ditentukan melalui pengukuran parameter kekeruhan, warna, total padatan tersuspensi (TSS) dan zat organik terlarut, nilai parameter terendah merupakan hasil dosis optimum.

#### Pengaturan bukaan sekat flokulasi dan pengoperasian reaktor flokulasi koagulasi.

Reaktor koagulasi flokulasi dioperasikan dengan melakukan variasi waktu tinggal (td), pada Tabel 3. Waktu tinggal (td) ditentukan dengan cara membagi volume reaktor dengan debit air yang melewati reaktor. Pada saat td divariasi, dosis koagulan yang digunakan adalah dosis optimum yang didapat dari percobaan sebelumnya yaitu sebesar 250 ppm.

Cara pengoperasian reaktor untuk masing-masing td sebagai berikut :

#### a. Reaktor koagulasi

Reaktor dioperasikan dengan 1 td, yaitu 100 detik. Volume reaktor koagulasi telah diketahui, sehingga debit Q dapat dihitung dari rumus sebagai berikut:

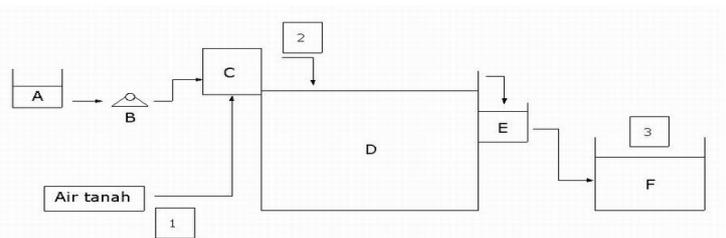
$$\text{Debit (m}^3/\text{detik)} = \frac{\text{volume (m}^3\text{)}}{\text{waktu tinggal (detik)}} \quad (1)$$

**Tabel 2.** Karakteristik reaktor.

Karakteristik Dimensional	Ukuran
Pompa	Jenis: peristaltic Kapasitas maksimum: 257 liter/hari Tekanan : 4,2 kg cm <sup>2</sup> Merk : Chem-Tech
Reaktor koagulan	Panjang = lebar = tinggi = 20 cm Ø inlet : ¾ inchi Ø lubang bukaan = Ø inlet : 9,44 mm Jarak lubang dari samping dan bawah : 2 cm Ø dop atas dan bawah : ½ inchi Ø kran : ½ inchi Pressure gauge : 2,5 bar (kg/cm <sup>2</sup> )
Reaktor flokulasi	Panjang : 81 cm Lebar : 80 cm Tinggi : 70 cm Bukaan : panjang : 10 cm Jarak dari samping : 2 cm Ø dop : ½ inchi
Bak penampung	Panjang = lebar = 20 cm Tinggi : 23 cm Ø kran : 4 inchi
Bak pengendap	Panjang = lebar : 44 cm Tinggi 58 cm

**Tabel 3.** Waktu tinggal (td) koagulasi dan flokulasi

Td koagulasi (detik)	Td flokulasi (menit)
100	73
50	43
34	30
25	22

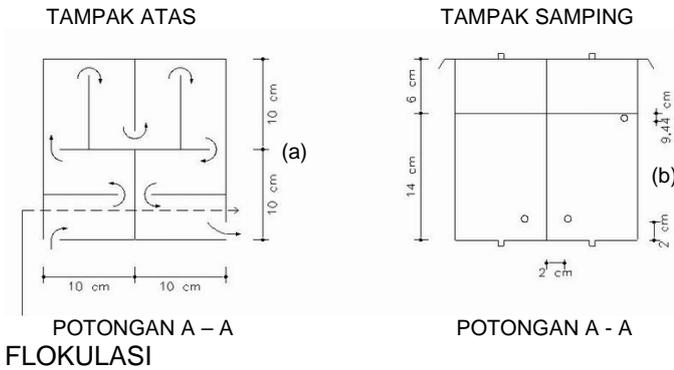


**Gambar 1.** Skema instalasi koagulasi dan flokulasi skala laboratorium

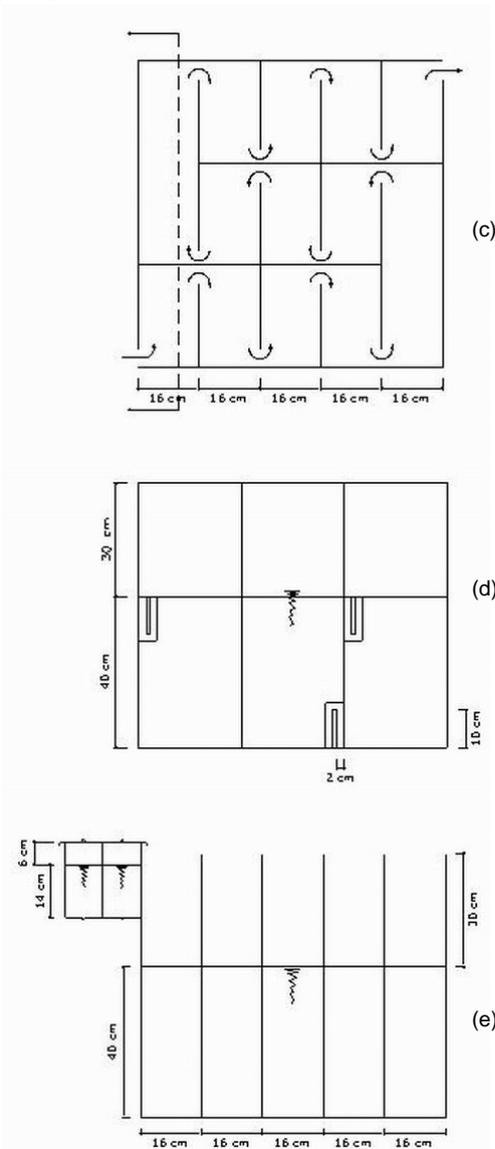
#### Keterangan :

- A. : Bak Dosing  
B. : Pompa Dosing  
C. : Reaktor Koagulasi  
D. : Reaktor Flokulasi  
F. : Bak Pengendap  
1. : Titik Sampling Influen  
2. : Titik Sampling Outlet Koagulasi (Inlet Flokulasi)  
3. : Titik Sampling Effluent

KOAGULASI



FLOKULASI



**Gambar 2.** Tangki koagulasi (TK) (a). tampak atas, (b). tampak samping, Tangki Flokulasi (TF) c). tampak atas (d). Posisi lubang di TF, (e). TK dan TF tampak samping.

Head loss didapatkan dengan mengukur beda tekanan air pada inlet dan outlet koagulasi. Sebagai berikut :

$$\text{Head loss} = \text{head inlet} - \text{head outlet} \quad (2)$$

Kecepatan gradient (G) didapatkan dari rumus :

$$G^2 = \frac{\rho q h f}{\mu t d} \quad (3)$$

- G : kecepatan gradient (/detik)
- $\rho$  : densitas/berat jenis air (995 kg/m<sup>3</sup> pada 26,7 °C)
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/detik<sup>2</sup>)
- hf : head loss (meter)
- $\mu$  : viskositas air (0,862 x 10<sup>-3</sup> Pa detik pada 26,7 °C)
- td : waktu tinggal (dt)

Kostanta friksi (k) didapatkan dari rumus :

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

- $h_L$  : head loss (meter)
- k : konstanta friksi
- v : kecepatan air (m/dt)
- g : percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>)

Nilai  $h_L$  di tentukan dari perbedaan tinggi air yang masuk di sekat pertama dan tinggi limpasan pada sekat terakhir reaktor flokulasi.

b. Reaktor flokulasi

Volume air pada reaktor flokulasi didapatkan dengan menghitung volume air di masing-masing ruang sekat, yaitu dengan rumus sebagai berikut,

$$\text{Volume air reaktor flokulasi} = \Sigma (\text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi air masing-masing ruang sekat}). \quad (5)$$

Debit (Q), head loss dan kecepatan gradient dihitung dengan rumus sama seperti reaktor koagulasi.. Bukaan sekat flokulasi didapatkan dengan mencari  $V_2$  dengan rumus sebagai berikut,

$$hf = \frac{15(V_1)^2}{2g} + \frac{13(V_2)^2}{2g} \quad (6)$$

Selanjutnya luas (A) bukaan dapat dicari dengan rumus:

$$A = \frac{Q}{V_2} \quad (7)$$

c. Dari data yang didapatkan di atas, reaktor koagulasi flokulasi dioperasikan dengan td gabungan koagulasi dan flokulasi. Td reaktor koagulasi flokulasi = td koagulasi + td flokulasi.

Tinggi bukaan sekat flokulasi yang didapatkan dari perhitungan diatas, dapat diperbesar atau diperkecil sesuai dengan kondisi di Lapangan. Jika flok yang terbentuk kecil atau tidak terbentuk, maka bukaan dapat diperbesar atau diperkecil. Pengambilan sampel yaitu pada td ke - 1 sampai td ke - 5. Pada setiap td, dilakukan pengambilan sampel pada tiga titik, yaitu pada inlet koagulasi, outlet koagulasi (inlet flokulasi) dan outlet flokulasi, dalam satu kali operasi dilakukan 15 kali pengambilan sampel

**Tabel 4.** Nilai kekeruhan, warna,  $\text{KMnO}_4$ , dan TSS pada air sampel sebelum dan sesudah proses koagulasi.

Parameter	Nilai awal*	Nilai setelah koagulasi pada dosis (ppm)									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Kekeruhan (NTU)	1,4	3,15	1,6	0,61	0,53	0,32	0,38	0,45	0,59	0,83	0,68
Warna (Pt-Co)	62,5	78	31,5	17	5,5	1	6,5	17	13	17,5	24
$\text{KMnO}_4$ (ppm)	13,98	13,97	10,33	7,90	8,31	6,07	7,70	6,48	7,49	8,10	7,29
TSS( $10^{-3}$ ,ppm)	6,8	10	6,5	2,5	1,6	0,76	8,8	1,0	2,0	4,4	2,7

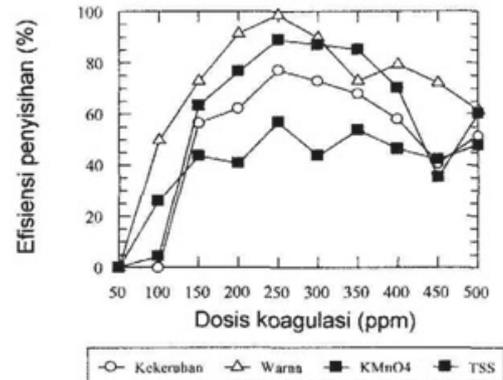
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Dosis optimum koagulan

Dosis koagulan dianggap optimal, apabila air sampel yang mempunyai kualitas terbaik yaitu air yang mempunyai nilai kekeruhan, warna, zat organik terlarut (nilai  $\text{KMnO}_4$ ) dan TSS paling rendah. Hasil dari percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4, ini selanjutnya dihitung efisiensi penurunan masing-masing parameter, dan hasilnya disajikan dalam bentuk kurva efisiensi penurunan kekeruhan, warna, nilai  $\text{KMnO}_4$  dan TSS. Kurva efisiensi penurunan kadar masing-masing parameter terhadap dosis koagulan dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa dosis koagulan yang optimal dalam menurunkan kadar kekeruhan terjadi pada pembubuhan dosis alum sebesar 250 ppm. Pada dosis tersebut masing-masing efisiensi penurunannya sebesar 77,14 %. Hal yang sama juga terjadi pada penurunan kadar total padatan tersuspensi (TSS) dalam air sampel. Pada dosis alum sebesar 250 ppm, efisiensi penurunan TSS, sebesar 88,89 %. Untuk menurunkan kadar warna air sampel, juga diperlukan dosis koagulan sebesar 250 ppm dimana efisiensi penurunan warna pada dosis ini mencapai 98,4%.

Penurunan kadar zat organik yang optimal dicapai pada dosis koagulan 250 ppm. Pada dosis ini efisiensi penurunan warna sebesar 56,55%. Fenomena meningkatnya efisiensi penyisihan kekeruhan, warna, Organik- $\text{KMnO}_4$  serta TSS mulai dosis koagulan 50 ppm sampai 250 ppm, adalah terjadi proses netralisasi muatan. Koloid hidrofilik yang diduga berasal dari senyawa organik seperti kelompok humin yang bermuatan negatif mengalami netralisasi karena adanya ion  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  yang ditambahkan dalam bentuk larutan alum,  $\text{Al}(\text{SO}_4)_3$  pada pH 6,5–7.5 (pH perlakuan), selanjutnya koloid yang telah mengalami netralisasi muatan ini berkontak dengan suspensi  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang cukup banyak terbentuk pada dosis mendekati 250 ppm sebagai inti kristal. Proses ini juga disebut dengan "sweep floc". Penambahan alum di atas dosis 250 ppm sampai 500 ppm, menyebabkan ion positif dari aluminium bertambah banyak, sehingga koloid yang sudah mengalami proses netralisasi sempurna atau dikenal dengan *titik isoelektrik* menjadi bermuatan kembali menjadi muatan positif dan selanjutnya ikut



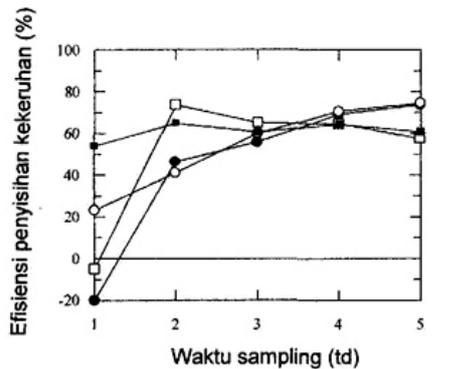
**Gambar 3.** Kurva efisiensi penurunan kekeruhan, warna,  $\text{KMnO}_4$  dan TSS pada berbagai dosis koagulan

terdispersi kembali di dalam air, akibatnya nilai kekeruhan, warna, organik- $\text{KMnO}_4$  serta TSS ikut naik nilainya.

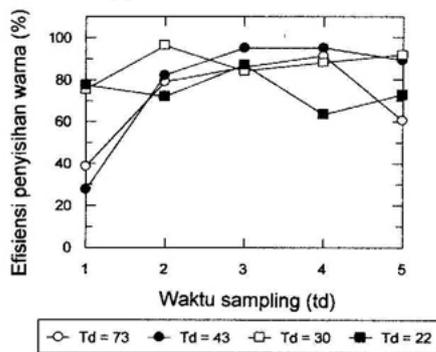
### Kestabilan kinerja reaktor.

Kinerja reaktor dapat diketahui dari hasil obesarvasi terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan, warna dan organik dari sampel air baku pada berbagai waktu tinggal. Semakin tinggi efisiensi penyisihan kekeruhan, warna dan organik, maka kinerja reaktor semakin baik. Data hasil pengoperasian reaktor koagulasi dan flokulasi disajikan pada Gambar 4-6.

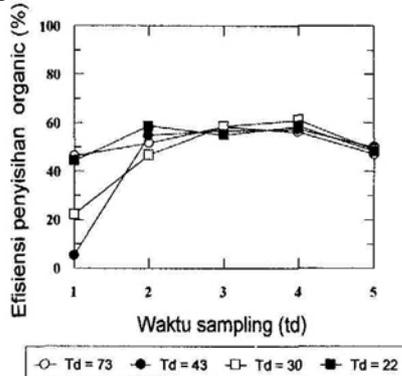
Dari Gambar 4-6, dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan organik dan kekeruhan meningkat dengan bertambahnya waktu sampling dari 1 td sampai 5 td pada berbagai waktu tinggal, 1 td artinya waktu yang diperlukan air dengan volume tertentu untuk 1 kali melewati reaktor. Dengan kata lain, 5 td artinya waktu yang diperlukan air dengan volume tertentu untuk 5 kali melewati reaktor. Efisiensi penyisihan mencapai optimal dan cenderung stabil setelah air yang memasuki reaktor telah melewati waktu kerja tiga kali waktu tinggal hidrolisis (3 td). Hal ini berarti kinerja reaktor koagulasi flokulasi pada waktu operasi kurang dari tiga kali waktu tinggal hidrolisis belum seluruhnya secara total mengeluarkan air yang diproses di dalam reaktor yang sebelumnya diolah tersebut. Waktu tinggal optimal proses flokulasi terjadi antara 30 – 40 menit. Keberhasilan penyisihan warna dan organik sangat ditentukan oleh proses tumbukan antara partikel koloid yang telah dikoagulasi, sehingga mampu



**Gambar 4.** Efisiensi penyisihan kekeruhan pada berbagai waktu tinggal



**Gambar 5.** Efisiensi penyisihan warna pada berbagai waktu tinggal



**Gambar 6.** Efisiensi penyisihan organik pada berbagai waktu tinggal.

membentuk partikel flok yang berukuran lebih besar dan kompak, sehingga mudah di endapkan. Kecepatan tumbukan yang dinyatakan sebagai gradien kecepatan,  $G$  dalam percobaan ini diatur antara 20–40  $\text{detik}^{-1}$ , memberikan hasil terbaik pada kisaran 30–35  $\text{detik}^{-1}$ , seperti terlihat pada Gambar 7. Hal ini tidak jauh berbeda untuk proses flokulasi untuk partikel koloid yang terkandung dalam air sungai yang berkisar 20–60  $\text{detik}^{-1}$  [4]. Pengaruh energi tumbukan total (GT) pada proses

flokulasi dalam penyisihan warna dan organik dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan gambar ini terlihat energi tumbukan sebagai gradien kecepatan x waktu tinggal optimum yang diperlukan untuk flokulasi terjadi pada kisaran 65.000–79.000. Kondisi ini sama dengan kebanyakan pengolahan air bersih dari sungai, khususnya pada proses flokulasi yang berkisar 10.000–100.000. [8]

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa air baku yang berasal dari sumur dalam (200 m), Universitas Trisakti yang mengandung organik dan warna dapat dilakukan proses koagulasi dan flokulasi dengan sistem hidrolis. Dosis koagulan tawas optimal mencapai 250 ppm. Kinerja reaktor mencapai kesetabilan setelah air melewati reaktor selama 3–5 kali waktu tinggal hidrolis air dalam reaktor. Gradien kecepatan,  $G$  untuk flokulasi mencapai optimal pada 30–35  $\text{detik}^{-1}$  dan total energi tumbukan,  $GT = 65.000$ –79.000. Dengan kondisi ini efisiensi penyisihan kekeruhan, warna dan organik mencapai lebih dari 90%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan FAL-TL Universitas Trisakti atas fasilitas yang digunakan selama penelitian berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tatsi, A.A., Zoubaulis, A.J., Matis K.A., and Samaras, P., 2003, *Chemosphere*, 53, 737-744.
2. Tapas nandy, Sunita Shastri, Pathe, P.P., and Kaul, S.N., 2003, *Water, Air & Soil Pollution*, 148, 5-30.
3. Ozkan, 2003, *Mineral engineering*, 16, 1, 59 - 66.
4. Benefield, L. D., Judkins, J.F., and Barron, L., 1982, *Process Chemistry for Water and Waste Water Treatment*, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
5. Dyamond, B., 1987, *Flocculation Theory and Application*, West Yorkshire, London.
6. Hammer, M.J, 1992, *Water and Waste Water Technology*, John Wiley and Sons Inc, London.
7. Montgomery, J.M., 1985, *Water Treatment Principles and Design*, John Wiley and Sons Inc, London.
8. Qasim, Syed R. 1985, *Water Treatment Plants, Planning, Design and Operation*, CBS College Publising, London.