

PENGARUH OZONISASI TERHADAP DOSIS KOAGULAN PADA PERUSAHAAN AIR MINUM DI REDLAND, AUSTRALIA

Oleh : Adi Mulyanto ^{*)}

Abstract

The experiments were conducted in the Environmental Engineering laboratory, Griffith University, Brisbane, Australia on samples provided by Redland Shire Council Waterworks. The result showed that ozonation has positive effect towards alum dosages as a coagulant. Ozone dosages were 2.86 ppm, 6.25 ppm, and 11.22 ppm, while alum dosages were 5 ppm, 10 ppm, and 15 ppm. Ca(OH)₂ was utilized as pH regulator with the dosages in the range of 4 ppm – 12 ppm. Effects of ozonation on coagulant dosages were measured by color level expressed in Pt-Co units. Maximum color removal was 87% and 89% determined spectrophotometrically with the wavelength of 360 nm and 400 nm respectively.

Kata kunci: ozonisasi, ozonator, koagulan, pH, derajat warna.

1. PENDAHULUAN

Saat ini penerapan ozon tidak saja digunakan sebagai disinfektan di dalam pengolahan air, tetapi beberapa manfaat ozon telah dicoba untuk menghilangkan kontaminan yang dapat dioksidasi di dalam air, baik air untuk keperluan domestik maupun industri.

Di Australia banyak air permukaan yang dipakai sebagai bahan baku air minum berwarna kuning kecoklatan. Hal ini disebabkan karena adanya kandungan senyawa bahan organik kompleks dari alam yang disebut sebagai senyawa humic. Warna adalah merupakan salah satu indikator yang menunjukkan bahwa air sudah mengalami polusi. Oleh karena itu, ada standard nilai warna yang harus dipenuhi. Standard warna tersebut dimuat di dalam tabel 1. (Bablon *et al*, 1991). Bahan baku air di Perusahaan Air Minum Pemerintah Daerah Redland mempunyai derajat warna tinggi karena kandungan senyawa humic. Senyawa ini dapat dihilangkan melalui proses koagulasi, pengendapan dan penyaringan. Kegunaan lain dari proses koagulasi adalah untuk mengurangi terbentuknya senyawa organik terchlorinasi, mengurangi kebutuhan chlorine dan menambah efektifitas penggunaan carbon aktif (Dempsey *et al*, 1984).

Secara umum, koagulan yang dipakai di perusahaan air minum adalah untuk :

- Destabilisasi padatan.
- Menghilangkan pewarna organik.
- Membantu terbentuknya gumpalan.
- Meningkatkan proses penyaringan.

Tabel 1. Beberapa standar warna untuk air minum (Bablon *et al*, 1991).

Institusi	Standar Warna (ppm Pt-Co)
Perancis.	MAC ^{*)} : 15
Masyarakat Ekonomi Eropa.	Pedoman : 1 MAC ^{*)} : 10
WHO.	Pedoman : 15

MAC^{*)}: Maximum Admissible Concentration (Konsentrasi Maksimum yang Di-perbolehkan).

Untuk menjadikan air layak minum, kontaminan yang disebabkan oleh erosi tanah, mineral yang berlebihan dan proses pelarutan bahan-bahan organik yang berasal dari tumbuhan harus dihilangkan. Upaya menghilangkan kontaminan ini biasa dilakukan melalui proses pengendapan dan penyaringan. Proses lain seperti adsorpsi, aerasi, penukar ion, oksidasi, dan destilasi juga perlu dipertimbangkan untuk menghilangkan kontaminan tersebut (Cohen dan Hannah, 1971). Holden (1970)

^{*)} Ajun Peneliti Muda bidang Teknologi Ramah Lingkungan untuk Industri Kecil Menengah dan Daur Ulang Komponen Industri

menyatakan bahwa proses klarifikasi merupakan faktor utama untuk menentukan besarnya biaya pengolahan air minum. Selanjutnya ia mengemukakan bahwa derajat warna dan kekeruhan air merupakan faktor yang menentukan kinerja pada proses klarifikasi.

Secara praktis, aluminium sulfat (alum) biasa digunakan sebagai koagulan karena kemampuannya yang sudah ter-bukti, harganya relatif murah dan mudah penggunaan dan penanganannya. Namun Kawamura (1991) mendapatkan beberapa kerugian dari pemakaian alum ini, antara lain:

- Sangat tergantung pada nilai pH air.
- Menghasilkan gumpalan alum yang lemah pada temperatur rendah.
- Menghasilkan sisa alum dengan konsentrasi tinggi apabila alum ditam-bahkan pada pH yang tidak tepat.
- Menghasilkan lumpur alum yang cukup banyak, sehingga memerlukan penanganan khusus.

Reckhow *et al.* (1986, diambil dari Farvardin dan Collins, 1989) menyimpulkan beberapa alasan mengenai bagaimana ozon dapat mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi, ialah:

- Tingkat adsorpsi terhadap gumpalan alum menjadi lebih tinggi.
- Bertambahnya endapan kalsium dan magnesium karena bertambahnya kandungan senyawa karboxylic.
- Berkurangnya gangguan steric dari partikel sebagai akibat dari pengurangan ukuran molekul dari partikel organik yang ter-adsorpsi.
- Ozon akan memecah senyawa kom-pleks dari besi dan mangan yang menyebabkan produksi koagulan 'in-situ'.
- Berbagai jenis biopolimer, yang juga merupakan senyawa pembantu proses koagulasi, akan dilepaskan sebagai akibat dari pemecahan dan peluruhan sel-sel ganggang.
- Menghasilkan proses koagulasi-flokulasi yang lebih baik sebagai akibat dari berlangsungnya proses oksidasi-polymerisasi sehingga membentuk partikel yang stabil.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh ozonisasi terhadap dosis koagulan pada proses pembuatan air minum di Redland.

2. BAHAN DAN METODA PENELITIAN

Sampling.

Contoh air dikirim oleh Perusahaan Air Minum Pemerintah Daerah Redland. Perusahaan

tersebut mengirim contoh air sebanyak lebih kurang 20 liter. Contoh air tersebut di-ozonisasi dengan dosis ozon yang bervariasi sebelum dilakukan 'jar test' untuk menentukan dosis alum yang dibutuhkan. Kemudian sisa warna yang masih ada diukur menggunakan spektrofotometer. Sebelum ozonisasi tidak dilakukan perlakuan apapun terhadap air.

Ozonisasi.

Ozon dihasilkan dari udara kering di dalam bejana bertekanan yang dialirkan ke dalam ozonator jenis 'corona discharge'. Secara lengkap diagram alir dari penelitian skala laboratorium dapat dilihat pada gambar 1. yang terdiri dari bejana udara bertekanan, ozonator, kolom kontak, botol Drexel dan pengukur gas. Ozonator dilengkapi dengan pendingin untuk mencegah naiknya temperatur. Kecepatan alir udara kering adalah 1,36 l/min. Kolom kontak berdiameter 7,45 cm dan tinggi 115 cm. Larutan kalium iodida (KI) di dalam botol Drexel mempunyai ketinggian 11 cm dan pipa dimasukkan ke dalam botol sampai setinggi 0,5 cm diatas permukaan bagian bawah botol. Hal ini disesuaikan dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Komite Standarisasi IOA yang menyatakan bahwa ketinggian reagent di dalam botol Drexel ialah antara 10-15 cm (Masschelein, 1989). Ozonisasi ini dilakukan secara 'batch'.

Penentuan konsentrasi ozon di dalam gas umpan dilakukan sebelum ozonisasi terhadap contoh air dengan volume udara ter-ozonisasi sebanyak 0,5168 liter melalui larutan KI di dalam botol Drexel. Setelah konsentrasi ozon di dalam gas diketahui, baru dilakukan ozonisasi terhadap contoh air. Kolom kontak yang bervolume 5 l diisi dengan contoh air sebanyak 4,9 l untuk menyediakan rongga udara di permukaan kolom kontak. Setelah ozonisasi selesai, kolom kontak kemudian dikocok untuk menjamin homogenitas dari ozon di dalam kolom. Setelah itu kemudian diambil contoh sebanyak 100 ml untuk diukur kandungan ozon yang tersisa di dalam air hasil ozonisasi. Akhirnya air yang telah selesai di-ozonisasi ditampung dalam jerigen plastik berukuran 5 l untuk keperluan proses koagulasi-flokulasi dan pengukuran derajat warna.

Metoda Analisa

Konsentrasi ozon di dalam gas umpan dan di dalam air yang sudah di-ozonisasi dilakukan berdasarkan penentu-an secara iodometri. Prinsipnya adalah bahwa ozon membebaskan iodin dari KI. Kemudian dengan

penambahan asam sulfat, iodine yang dibebaskan dititrasi dengan sodium tiosulfat yang sudah distandarisasi. Indikator yang digunakan adalah larutan kanji (APHA, AWWA, WEF, 1992). Reaksi antara ozon dan ion iodida dapat digambarkan sebagai berikut (Kirk-Othmer, 1967):



Konsentrasi dan dosis ozon ditentukan sebagai berikut:

Konsentrasi ozon di dalam gas (ppm O_3) =

$$\frac{\text{ml larutan } 0,1\text{N tiosulfat} \times 0,1 \times 48/2}{\text{Volume udara}}$$

Dosis ozon (ppm O_3) =

$$\frac{\text{Volume udara} \{(\text{O}_3)_{\text{gas umpan}} - (\text{O}_3)_{\text{gas keluar}}\}}{\text{Volume air di dalam kolom kontak}}$$

Konsentrasi ozon di dalam air terozonisasi (ppm O_3) =

$$\frac{\text{ml larutan } 0,005\text{N tiosulfat} \times 0,005 \times 48/2}{0,1}$$

Koagulasi dan Flokulasi.

Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan setelah proses ozonisasi terhadap contoh air. Proses ini menggunakan metoda 'jar test'. Peralatannya terdiri dari deretan beaker glass bervolume 600 ml yang dilengkapi dengan pengaduk yang dapat diatur kecepatannya (antara 0-100 rpm). Ke dalam beaker glass yang berisi contoh air ditambahkan larutan 1% alum. Untuk mengatur pH, dilakukan dengan penambahan larutan 1% kalsium hidroksida. Metoda pengadukan yang diterapkan adalah sebagai berikut: pengadukan cepat (100 rpm) dilakukan selama 2 menit, diikuti dengan kecepatan sedang (60 rpm) selama 8 menit dan pengadukan lambat (10 rpm) selama 10 menit. Proses selanjutnya yang dilakukan adalah pengendapan selama 15 menit. Kemudian diambil contoh 100 ml untuk diukur derajat warnanya.

Pengukuran Derajat Warna.

Pengukuran derajat warna dilakukan terhadap contoh air yang sudah dihilangkan kekeruhannya (APHA, AWWA, WEF, 1992). Penghilangan kekeruhan dilakukan dengan menggunakan filter membran dengan porositas $0,45 \mu\text{m}$ berdiameter 2,5 cm. Pengukuran derajat warna dilakukan terhadap contoh air tanpa perlakuan, air ter-ozonisasi, contoh air

tanpa perlakuan dengan koagulasi dan air ter-ozonisasi dengan koagulasi.

Larutan standar warna dibuat dari pengenceran dengan aquadest terhadap larutan standar yang mempunyai derajat warna 500 unit Pt-Co. Pengenceran dengan berbagai konsentrasi akan menghasilkan berbagai derajat warna, yaitu: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 dan 70 unit Pt-Co (APHA, AWWA, WEF, 1992).

Derajat warna diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang bervariasi, yakni 340, 360, 390, 400, 420 dan 440 nm. Hal ini dilakukan karena di Australia, Perusahaan Air Minum menggunakan metoda pengukuran derajat warna dengan panjang gelombang yang berbeda-beda (Bennet dan Drikas, 1993), sedangkan metoda standar belum ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara praktis, proses koagulasi dilakukan dengan menambah koagulan ke dalam air yang diikuti dengan terbentuknya gumpalan. Komposisi gumpalan tersebut terdiri dari padatan tersuspensi dan senyawa humic serta produk hidrolisis dari koagulan. Optimasi penambahan koagulan dilakukan dengan menggunakan 'jar-test' di laboratorium (Holden, 1970).

Biasanya tujuan utama ozonisasi sebelum proses koagulasi adalah untuk mengendapkan besi dan mangan; memperbaiki warna, rasa dan bau dan menghilangkan ganggang serta pembentukan trihalometana (Klein, 1988).

Sebagaimana sudah disebutkan di atas, bahwa ada beberapa kerugian dari pemakaian alum untuk proses koagulasi. Untuk mengurangi kerugian tersebut, maka perlu diaplikasikan suatu bahan pembantu proses koagulasi. Tujuan dari penggunaan bahan pembantu ini adalah untuk menghasilkan gumpalan yang lebih besar dan kuat untuk meningkatkan proses pengendapan dan penyaringan (Holden, 1970).

Bahan pembantu koagulasi pertama yang diperkenalkan untuk pengolahan air minum adalah silika aktif (Baylis, 1937, diambil dari Holden, 1970). Sejak itu berbagai upaya untuk menemukan bahan pembantu koagulasi terus dilakukan, misalnya dengan diketemukannya poly-electrolyte baik sintetis maupun alami (Holden, 1970; Kawamura, 1991). Dengan pemberian bahan-bahan pembantu tersebut maka akan dihasilkan volume lumpur yang lebih rendah bila dibandingkan dengan penggunaan alum saja. Penambahan tersebut juga mengurangi ketergantungan

terhadap derajat keasaman (pH) dari air yang akan diolah. Namun demikian, Kawamura (1991) menyatakan bahwa polyelectrolyte sintetis mempunyai kelemahan, ialah: selektifitasnya terhadap beberapa jenis koloid, hasil air yang kurang jernih karena ketidakmampuannya untuk menjaring semua partikel koloid di dalam air, tidak dapat dirombak secara biologis, dan membutuhkan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian alum. Kelemahan lain dari penggunaan polyelectrolyte sintetis ini adalah kemungkinan timbulnya masalah karena ketidakpastiannya tentang toksisitas, karsinogenisitas dan mutagenisitasnya terhadap manusia. Sehingga Kawamura (1991) memberikan rekomendasi kuat untuk menggunakan polyelectrolyte alami, seperti chitosan (polyelectrolyte kationik) dan sodium alginat (polyelectrolyte anionik) sebagai bahan pembantu koagulan. Bahan-bahan alami ini digunakan karena efektif, mudah dirombak secara biologis dan aman untuk kesehatan manusia.

Ozon bukan merupakan koagulan (Richard, 1982). Walaupun demikian, ozonisasi menyebabkan proses koagulasi secara spontan, bertambahnya kecepatan pengendapan dari partikel yang terbentuk dan menghilangkan karbon organik total (Reckhow dan Singer, 1984; Edwards dan Benjamin, 1991). Tambahan pula, ozonisasi dapat digunakan untuk membantu proses koagulasi terhadap senyawa-senyawa humic (Farvardin dan Collins, 1989; Wilczak *et al.*, 1992). Lebih jauh, pengaruh ozonisasi secara positif sudah diketemukan, ialah dengan berkurangnya kebutuhan alum sekitar 13-30% (dilakukan di laboratorium). Percobaan tersebut dilakukan di laboratorium dengan pH air 5,5 dan konsentrasi senyawa humic 20 ppm dengan konsentrasi karbon organik total sekitar 10 ppm. Selanjutnya Kuhn *et al.* (1978) menyatakan bahwa dengan dosis ozon yang rendah akan menghasilkan pembentukan gumpalan yang cepat dengan tidak perlu menambah dosis ozon yang lebih tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Kuhn *et al.* (1978) menunjukkan bahwa asam-asam humic yang lebih polar akan terbentuk selama ozonisasi. Sebagai akibatnya, senyawa-senyawa humic tersebut dengan sempurna teradsorpsi pada alum hidroksida, sehingga senyawa-senyawa tersebut mudah dihilangkan dengan proses flokulasi. Hasil penelitian ini menunjang hipotesa bahwa ozonisasi menambah afinitas permukaan koagulan terhadap senyawa organik terlarut dan mengurangi kebutuhan dosis koagulan (Grasso dan Weber, 1988; Dowbiggin dan Singer, 1989).

Air yang belum diolah di Perusahaan Air Minum Pemerintah Daerah Redland relatif mempunyai derajat warna yang tinggi, yaitu 37,5; 32,5; 36,8; 47,2; 140 dan 110 unit Pt-Co dengan masing-masing pengukuran derajat warna pada panjang gelombang $\lambda = 340, 360, 390, 400, 420$ dan 440 nm. Air tersebut juga mempunyai pH yang rendah (5,93). Tabel 2. memuat dosis ozon, penambahan alum dan kalsium hidroksida yang menggambarkan pengaruh penambahan bahan-bahan kimia tersebut terhadap nilai pH air. Penambahan kalsium hidroksida dimaksudkan untuk mengatur pH menjadi netral. Penambahannya beragam, mulai dari 4 ppm sampai dengan 12 ppm. Dari tabel tersebut, ternyata bahwa ozonisasi tidak memberikan pengaruh nyata pada nilai pH.

Pengaruh ozonisasi terhadap dosis koagulan dapat dilihat pada gambar 2-7. Gambar-gambar tersebut merupakan hasil pengukuran spektrofotometri pada berbagai panjang gelombang. Secara umum, ozonisasi yang diikuti dengan proses koagulasi memberikan pengaruh yang positif terhadap pengurangan derajat warna. Sebagai contoh, pengukuran warna pada $\lambda = 400$ nm. Dengan penambahan dosis alum hanya 5 ppm, tanpa ozonisasi, derajat warna menunjukkan 37,3 unit Pt-Co. Namun dengan ozonisasi dengan dosis masing-masing 2,86; 6,25 dan 11,22 ppm, maka derajat warna turun menjadi masing-masing 25; 16,1 dan 6,2 unit Pt-Co. Apabila dibandingkan dengan pemberian dosis alum sebesar 15 ppm, tanpa ozonisasi, maka derajat warna turun menjadi 12,2 unit Pt-Co. Dengan demikian, derajat warna yang sama (12,2 unit Pt-Co), sesungguhnya dapat dicapai hanya dengan dosis alum sebesar 5 ppm yang didahului proses ozonisasi dengan dosis sekitar 8,75 ppm. Dengan kata lain penghematan penggunaan alum untuk mencapai derajat warna 12,2 unit Pt-Co, dapat mencapai sekitar 66%.

Gambar 8. dan 9. menunjukkan dengan jelas pengaruh ozonisasi terhadap dosis alum dengan mengukur derajat penghilangan warna. Dalam pembahasan ini hanya diambil derajat penghilangan warna pada pengukuran dengan $\lambda = 360$ nm dan 400 nm. Pada $\lambda = 360$ nm, penghilangan warna mencapai 24,8; 53 dan 71% dengan penambahan alum masing-masing sebesar 5, 10 dan 15 ppm tanpa ozonisasi. Sebaliknya, apabila tanpa penambahan alum, penghilangan warna yang dicapai adalah 22; 59,5 dan 67% dengan dosis ozon sebesar masing-masing 2,86; 6,25 dan 11,22 ppm. Apabila dilakukan ozonisasi dan penambahan alum, maka efisiensi penghilangan warna akan sangat nyata. Dengan dosis ozon sebesar

11,22 ppm dan dosis alum sebesar 15 ppm, maka efisiensi penghilangan warna mencapai 87%. Namun dengan pengurangan dosis alum (menjadi sebesar 5 dan 10 ppm) dengan dosis ozon 11,22 ppm, akan diperoleh derajat penghilangan warna masing-masing sebesar 84 dan 86%. Pengurangan dosis alum yang nyata ini hanya menurunkan efisiensi penghilangan warna sebesar 1-3% saja. Dengan dosis alum dan ozon tersebut, derajat warna mencapai 4,3 dan 5,1 unit Pt-Co.

Kecenderungan serupa juga terjadi pada pengukuran dengan $\lambda = 400$ nm. Efisiensi derajat penghilangan warna tertinggi dicapai pada 89% dengan dosis ozon dan alum masing-masing sebesar 11,22 ppm dan 15 ppm. Dengan dosis alum 5 dan 10 ppm serta dosis ozon 11,22 ppm, maka diperoleh efisiensi derajat penghilangan warna sama, yaitu 87%.

4. KESIMPULAN

Upaya mengurangi atau menghilangkan kontaminan yang dihasilkan akibat terjadinya erosi tanah, pelarutan mineral-mineral dan proses pelarutan dari tumbuh-tumbuhan perlu dilakukan dengan se-efisien mungkin untuk memenuhi standar kualitas air minum. Dari percobaan di laboratorium, efisiensi derajat penghilangan warna tertinggi yang dicapai pada pengukuran $\lambda = 360$ dan 400 nm masing-masing sebesar 87% dan 89%. Namun dosis ozonisasi sebesar 11,22 ppm dengan dosis pemberian alum sekitar 5-10 ppm, dapat dicapai efisiensi derajat penghilangan warna sebesar 84-87%.

Untuk menghemat pemakaian alum sebagai koagulan pada Perusahaan Air Minum, pemakaian ozon sebagai bahan pembantu koagulasi patut dipertimbangkan. Dengan diturunkannya pemakaian dosis alum, maka hasil lumpur dari proses pengendapan dan penyaringan akan berkurang. Namun demikian, studi kelayakan perlu dilakukan berdasarkan aspek-aspek ekonomi, lingkungan dan keamanan.

DAFTAR PUSTAKA

- APHA, AWWA, dan WEF. (1992). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Baltimore: Victor Graphics, Inc.
- Bablon, G. et al. (1991). 'Fundamental Aspects' dalam Langlais, B., Reckhow, D.A., dan Brink, D.R. (eds). *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*. Chelsea: Lewis Publishers, Inc.
- Bennet, L.E. dan Drikas, M. (1993). 'The Evaluation of Color in Natural Waters'. *Wat. Res.*, 27(7): 1209-1218.
- Cohen, J.M. dan Hannah, S.A. (1971). 'Coagulation and Flocculation' dalam Church, B. dan Kesti, K. (eds). *Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supplies*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Dempsey, B.A., Ganho, R.M., dan O'Melia, C.R. (1984). 'The coagulation of Humic Substances by Means of Aluminum Salts'. *J. Am. Water Works Assoc.*, April: 141-150.
- Dowbiggin, W.B. dan Singer, P.C. (1989). 'Effects of Natural Organic Matter and Calcium on Ozone-Induced Particle Destabilization'. *J. Am. Water Works Assoc.*, June: 77-84.
- Edwards, M. dan Benjamin, M.M. (1991). 'A Mechanistic Study of Ozone-Induced Particle Destabilization'. *J. Am. Water Works Assoc.*, June: 96-105.
- Farvardin, M.R. dan Collins, A.G. (1989). 'Preozonation as an Aid in the Coagulation of Humic Substances – Optimum Preozonation Dose'. *Wat. Res.* 23(3): 307-316.
- Grasso, D. dan Weber Jr, W.J. (1988). 'Ozone-Induced Particle Destabilization'. *J. Am. Water Works Assoc.*, August: 73-81.
- Holden, W.S. (1970). *Water Treatment and Examination*. London: J. & A. Churchill.
- Kawamura, S. (1991). 'Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment'. *J. Am. Water Works Assoc.*, October: 88-91.
- Kirk-Othmer. (1967). *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley.
- Klein, H.P. (1988). 'Ozone in Water Treatment Processes' dalam Stucki, S. (ed). *Process Technologies for Water Treatment*. New York: Plenum Press.
- Kuhn, W., Sontheimer, H., Steiglit, L., Meier, D., dan Kurz, R. (1978). 'Use of Ozone and Chlorine in Water Utilities in the Federal Republic of Germany'. *J. Am. Water Works Assoc.*, June: 326-331.
- Masschelein, W.J. (1989). 'Present State of Standardization of Ozone Measurements in Europe' dalam Bollyky, L.J. (ed). *Ozone in Wastewater Treatment and Industrial Application*. Proceedings, 9th Ozone World Congress, Vol. 2. New York: International Ozone Association.
- Reckhow, D.A. dan Singer, P.C. (1984).

'The Removal of Organic Halide Precursors by Preozonation and Alum Coagulation'. *J. Am. Water Works Assoc.*, April: 151-157.

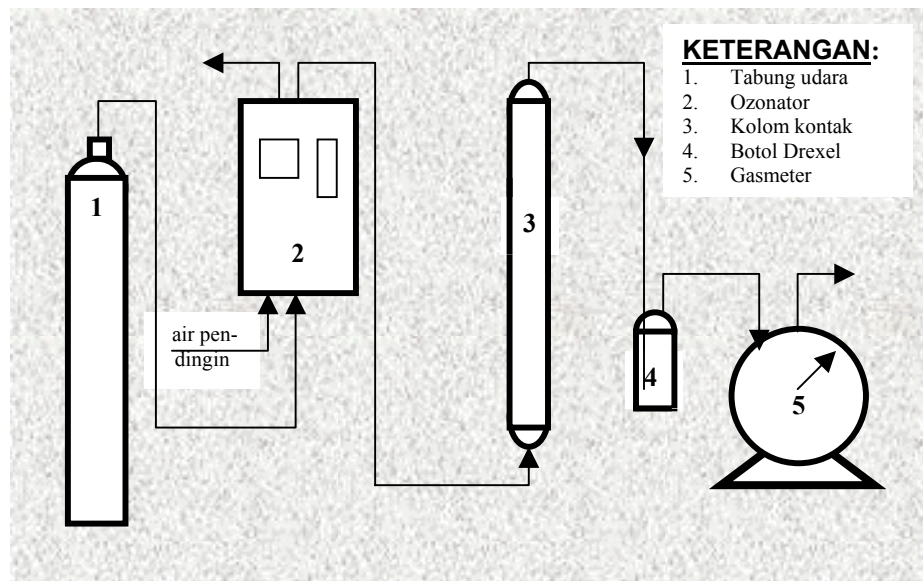
Richard, Y. (1982). 'Micellization and Improvement of Coagulation by Ozonization' *dalam* Masschelein, W.J. (ed). *Ozonization Manual for Water and Wastewater Treatment*. Chichester: John Wiley & Sons.

Wilczak, A., Howe, E.W., Aiet, E.M., dan Lee, R.G. (1992). 'How Preoxidation Affects Particle Removal During Clarification and Filtration'. *J. Am. Water Works Assoc.*, December:85-94.

RIWAYAT PENULIS

Adi Mulyanto, Lahir di Surakarta tanggal 26 Oktober 1956. Menyelesaikan pendidikan S1 jurusan kimia proses Universitas Diponegoro Semarang tahun 1982, pendidikan S2 jurusan teknik lingkungan di Griffith University Brisbane Australia tahun 1994. Bekerja di Direktorat Teknologi Lingkungan Deputy Bidang TIEM, BPP Teknologi sejak 1986 sampai sekarang.

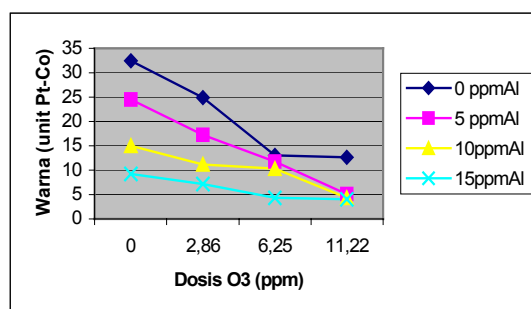
LAMPIRAN



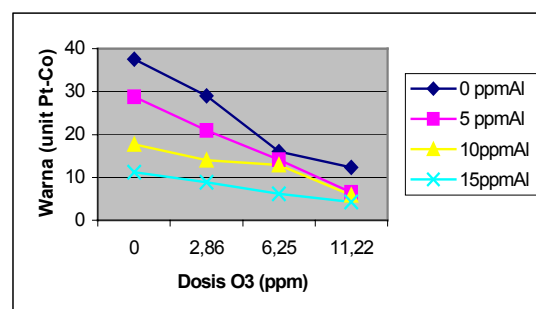
Gambar 1. Diagram alir ozonisasi skala laboratorium.

Table 2. Pengaruh dosis bahan-bahan kimia terhadap nilai pH.

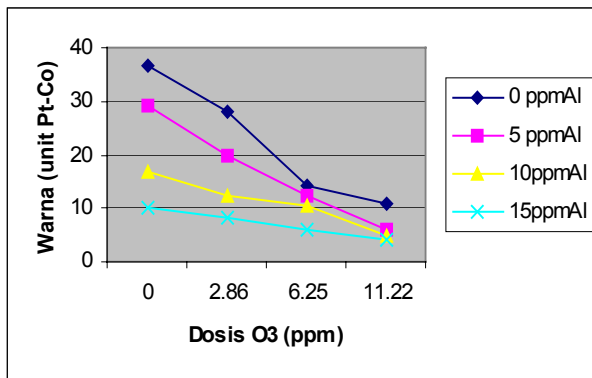
Dosis O ₃ (ppm)	Dosis Alum (ppm)	Dosis Ca(OH) ₂ (ppm)	pH awal	pH akhir
0	0	0	5.93	5.93
	5	8		7.95
	10	8		7.43
	15	8		7.34
2.86	0	0	5.68	5.68
	5	8		7.52
	10	8		7.20
	15	8		6.81
6.25	0	0	6.49	6.49
	5	8		7.19
	10	10		7.25
	15	12		7.17
11.22	0	0	5.76	5.76
	5	4		7.38
	10	6		7.44
	15	8		7.33



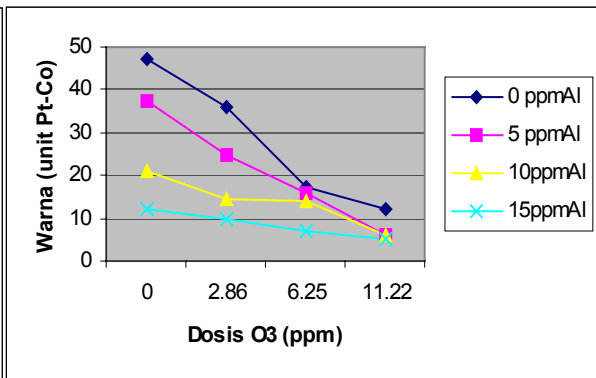
Gb. 2. Penentuan warna pada $\lambda = 340$ nm.



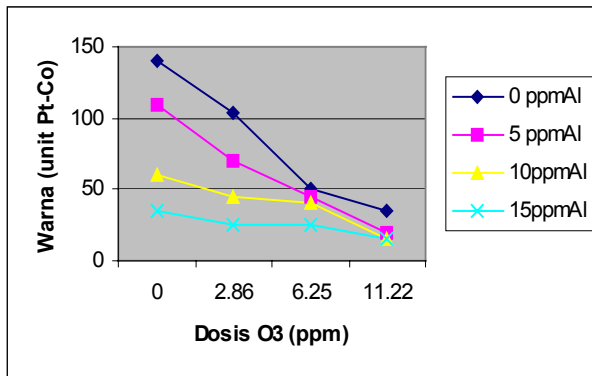
Gb. 3. Penentuan warna pada $\lambda = 360$ nm.



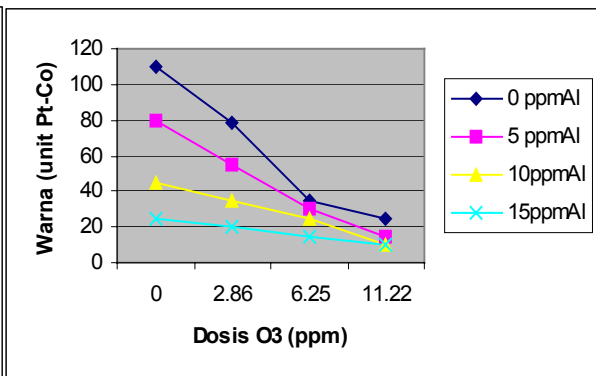
Gb. 4. Penentuan warna pada $\lambda = 390$ nm.



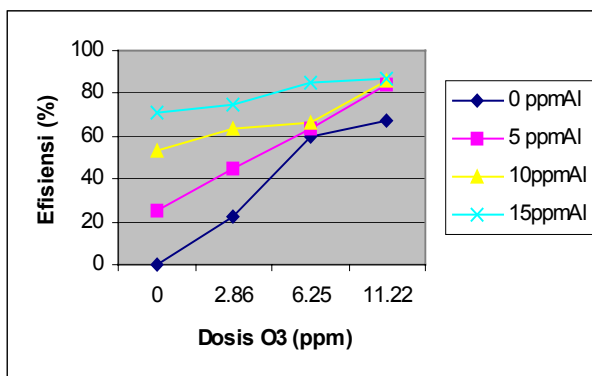
Gb. 5. Penentuan warna pada $\lambda = 400$ nm.



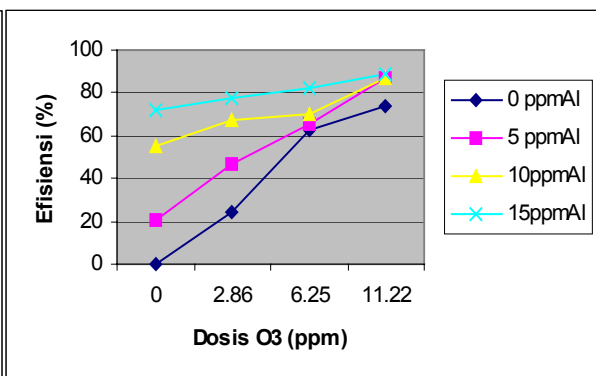
Gb. 6. Penentuan warna pada $\lambda = 420$ nm.



Gb. 7. Penentuan warna pada $\lambda = 440$ nm.



Gb. 8. Penghilangan warna pada $\lambda = 360$ nm.



Gb. 9. Penghilangan warna pada $\lambda = 400$ nm.