

Pengolahan Logam Berat Kromium dalam Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Koagulasi, Adsorpsi, dan Ozonasi

Aynuiddin¹, dan Rosalina^{1*}

¹Industrial Pollution Treatment, AKA Bogor Polytechnic,
Jl. Pangeran Asogiri 283, Bogor, 16154, West Java

*E-mail: rosalinahasan89@gmail.com

(Received : 31 Mei 2022; Accepted: 29 Desember 2022; Published: 31 Desember 2022)

Abstrak

Kromium (VI) merupakan unsur logam berat yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Salah satu sumber limbah kromium (VI) yaitu limbah laboratorium. Penelitian mengenai kombinasi metode koagulasi, adsorpsi, dan ozonasi belum banyak diteliti, terutama yang spesifik tentang penyisihan kromium (VI). Kombinasi proses koagulasi dan adsorpsi menggunakan aluminium sulfat dan *organoclay* serta ozonasi berpotensi dalam penyisihan kromium (VI). Tujuan penelitian yaitu untuk: (1) menganalisis kondisi optimum proses koagulasi, adsorpsi dan ozonasi dalam mengolah limbah kromium (VI) yang berasal dari laboratorium, dan (2) menentukan efisiensi proses penyisihan kromium (VI) dengan proses koagulasi, adsorpsi, dan ozonasi. Penetapan kromium (VI) dilakukan dengan metode spektrofotometri. Hasil percobaan menunjukkan kondisi optimum pengolahan limbah kromium (VI) dengan aluminium sulfat yaitu pada pH 8 dan dosis 1,5 g/L; sementara kondisi optimum untuk pengolahan dengan *organoclay* yaitu pada pH 4 dan dosis 2 g/L; ozonasi paling optimum pada pH 4 dengan durasi 1 jam. Penyisihan kromium (VI) dengan koagulan aluminium sulfat memberikan efisiensi pengolahan yang lebih baik (33,47%) dibandingkan dengan *organoclay* (7,65%) dan ozonasi (0,65%). Meskipun demikian kombinasi perlakuan *organoclay* dan ozonasi memberikan efisiensi yang sangat signifikan sebesar 94,77%.

Kata kunci: Kromium; Koagulasi; Adsorpsi; Ozonasi

Abstract

Chromium (VI) is a heavy metal element that can endanger human health. One source of chromium (VI) waste is laboratory waste. Research on coagulation, adsorption, and ozonation methods has not been widely studied, especially chromium (VI) removal. The combination of coagulation and adsorption processes using aluminum sulfate, clay, or ozonation treatment has the potential to be carried out to remove chromium (VI). The research objectives were to: (1) analyze the optimum conditions for the coagulation, adsorption, and ozone processes in treating chromium (VI) waste from the laboratory and (2) determine the efficiency of the chromium (VI) removal process by coagulation, adsorption, and ozonation processes. Determination of chromium (VI) was carried out by the spectrophotometric method. The experimental results show that the optimum conditions for processing chromium (VI) waste with aluminum sulfate are at pH eight and a dose of 1.5 g/L; while the optimum conditions for processing with clay are at pH four and a dose of 2 g/L; The most optimum ozonation was at pH 4 with a duration of 1 hour. Removal of chromium (VI) with aluminum sulfate as coagulant gave better processing efficiency (33.47%) compared to clay (7.65%) and ozone (0.65%). However, organoclay and ozonation treatment combined gave a very significant efficiency of 94.77%.

Keywords: Chromium; Coagulation; Adsorption; Ozonation

PENDAHULUAN

Antroposfer memiliki pengaruh yang besar terhadap keberlangsungan Bumi. Berbagai aktivitas manusia di seluruh permukaan bumi baik secara langsung maupun tidak dapat menimbulkan berbagai masalah. Salah satu masalah yang paling sulit dihadapi yaitu senyawa logam berat beracun krom (Cr). Senyawa tersebut dapat dengan mudah masuk

ke dalam sistem air, udara, tanah, dan organisme hidup (Manahan, 2000). Konsentrasi alami Cr di kulit bumi diketahui berkisar pada 122 mg/kg, sementara konsentrasi lebih rendah ditemukan di tanah (11-22 mg/kg), di air permukaan (1 µg/L), dan di air tanah (100 µg/L) (Zhang, 2007). Kromium (VI) tergolong logam berat yang mudah larut dalam

air pada semua rentang pH. Berdasarkan alasan tersebut U.S. EPA mengklasifikasikan Cr (VI) ke dalam “Group A human carcinogenic” sehingga tergolong polutan berbahaya (Nurfitriyani, 2013). Paparan Cr (VI) dapat menyebabkan gejala mual, muntah, diare akut, pendarahan, sampai kanker usus dan paru-paru.

Metode yang umum digunakan dalam proses penyisihan ion logam berat terlarut antara lain metode presipitasi kimia, oksidasi-reduksi, filtrasi, pertukaran ion, elektrokimia, dan aplikasi teknologi membran. Kekurangan dari metode tersebut yaitu proses penghilangan logam berat kurang maksimal, memerlukan sistem peralatan yang tergolong mahal, dan memerlukan bahan kimia dan energi yang banyak, serta adanya *by-product* berupa *sludge* atau yang lainnya yang memerlukan penanganan lebih lanjut (Baran et al, 2006; Aksu et al, 2002; Demiral et al, 2008). Pengembangan metode tersebut berjalan secara terpisah dan belum ada pengembangan metode penyisihan yang terintegrasi antara metode yang satu dan lainnya. Mengingat dampaknya bagi lingkungan, metode penyisihan kromium telah banyak dikembangkan, tetapi belum ada metode yang dapat 100% menyisihkan logam tersebut (Belay, 2010).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa koagulasi, adsorpsi dan ozonasi merupakan teknik penyisihan dengan efektivitas yang tinggi dan murah. Teknik koagulasi sudah berkembang lama dan telah sampai tahap efisiensi penyisihan lebih dari 95%; dengan menggunakan berbagai koagulan seperti *poly aluminium chloride* (Esmaeili et al, 2014), bio-flokulan jus kaktus (Taa et al, 2016), ferro sulfat (Nugroho, 2011), *ferric chloride* (Nurhasni et al, 2013; Verma et al, 2015), dan elektrokoagulasi (Martin-Dominguez et al, 2018).

Salah satu adsorben yang digunakan dalam penyisihan Cr (VI) yaitu karbon aktif. Penelitian penyisihan Cr (VI) oleh Ahsan and Erabee (2019) menggunakan karbon aktif yang berasal dari bahan limbah pertanian dilakukan dengan tingkat efisiensi 93%. Sementara itu, metode ozonasi digunakan untuk mereduksi kadar Cr(VI) pada limbah industri *electroplating* sebesar 97% (Prasetyaningrum et al, 2017). Berdasarkan Batagoda et al (2019) metode *ozon-nanobubbles* dapat mereduksi Cr(VI) sebesar 97,54%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel yang berpengaruh terhadap perlakuan ozonasi logam Cr(VI) adalah pH dan laju alir ozon. Proses ozonasi dipilih karena prosesnya sederhana, tidak membutuhkan lahan yang luas, dan biaya yang relatif murah.

Limbah cair laboratorium merupakan limbah sisa-sisa bahan kimia yang telah digunakan, sisa-sisa sampel yang telah diuji ataupun air bekas cucian peralatan. Karakteristik limbah cair laboratorium dapat dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Logam krom banyak digunakan sebagai oksidator di laboratorium seperti $K_2Cr_2O_7$. Berdasarkan hal tersebut dipandang perlu dilakukan

penelitian dengan tujuan: (1) menganalisis kondisi optimum proses koagulasi, adsorpsi dan ozonasi dalam mengolah kromium (VI) dalam limbah cair laboratorium, dan (2) menghitung efisiensi proses penyisihan kromium (VI) dengan proses koagulasi, adsorpsi, dan ozonasi serta kombinasi ketiga proses tersebut.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada skala laboratorium pada Agustus 2019. Laboratorium yang digunakan adalah Laboratorium Lingkungan, Politeknik AKA Bogor, Jawa Barat. Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain Spektrofotometer Uv-Vis, kuvet, kertas saring, jar test, ozonizer, pH-meter, serta turbidimeter, COD reactor, dan peralatan gelas, sementara itu beberapa bahan yang digunakan adalah akuades, kalium dikromat (pa), 1,5 difenil karbazid 0,01%, H_2SO_4 97% (pa), NaOH (pa), HNO_3 98% (pa), *ferro aluminium sulfate* (FAS), Ag_2SO_4 (pa), koagulan aluminium sulfat, dan arang aktif *organoclay*.

Eksperimen dijalankan secara batch dengan empat jenis pengolahan. Pengolahan tersebut terdiri dari pengolahan dengan koagulasi aluminium sulfat (P1), adsorpsi arang aktif (P2), ozonasi (P3), kombinasi koagulasi arang aktif dan ozonasi (P1+P3). Larutan dikromat stok 1000 mg/L dipersiapkan dari padatan potasium dikromat yang dilarutkan pada aquabides. H_2SO_4 0,1 N dan NaOH 0,1 N digunakan untuk pengaturan pH larutan dengan dosis aluminium sulfat sebanyak 1 ppm. Setelah didapatkan pH optimum, dosis koagulan kemudian ditambahkan dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm, dan diteruskan proses adsorpsi dan ozonasi. Data dari keempat jenis pengolahan tersebut kemudian dibandingkan untuk melihat efektifitas dan efisiensi dari proses pengolahan. Pengukuran konsentrasi kromium dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis setelah sampel ditambahkan senyawa pengompleks difenil karbazid. Selain itu dilakukan juga pengukuran parameter pH, COD, TDS, dan kekeruhan. Efisiensi kemudian dihitung berdasarkan persamaan:

$$Efisiensi (\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

C_0 : Kadar Krom, COD, TDS dan Kekeruhan dalam limbah sebelum diolah

C_t : Kadar Krom, COD, TDS dan Kekeruhan dalam limbah setelah diolah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyisihan logam kromium dari air limbah laboratorium dilakukan untuk mengetahui efektifitas perlakuan yang dilakukan terhadap konsentrasi akhir limbah kromium. Percobaan diawali dengan penentuan pH dan dosis optimum kemudian dilanjutkan sesuai dengan variasi perlakuan yang ditentukan. Perlakuan dibagi ke dalam 4 (empat),

yaitu (1) penambahan *organoclay* sebanyak 1; 1,5; dan 2 g/L; (2) penambahan aluminium sulfat sebanyak 1; 1,5; dan 2 g/L; (3) ozonasi dengan durasi 1; 2; dan 3 jam; serta (4) kombinasi penambahan *organoclay* dan ozonasi.

Limbah laboratorium yang digunakan memiliki konsentrasi awal sebesar 15,5 ppb dengan DHL 1098 $\mu\text{mos}/\text{cm}^2$. Penentuan pH dan dosis optimum didahului dengan penyesuaian pH sampel dengan menggunakan asam (H_2SO_4) dan basa (NaOH) sampai dicapai pH yang diinginkan.

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan parameter pH awal sampel adalah 8,58. Semua perlakuan yang dilakukan memiliki kecenderungan menurunkan pH sampai tingkat tertentu. Perlakuan *organoclay* paling sedikit mempengaruhi pH sampel sebesar $\pm 2,7\%$ dari skala 14; disusul ozonasi $\pm 2,9\%$ dari skala 14; dan aluminium sulfat paling banyak menurunkan pH $\pm 20,4\%$ dari skala 14. Parameter TDS dan COD memiliki kecenderungan meningkat setelah perlakuan. Nilai TDS sampel setelah perlakuan sebagian besar mengalami kenaikan menjadi >1000 ppm dari sebelumnya 549 ppm sebagai akibat pengadukan dan proses koagulasi. Sementara itu nilai COD rata-rata mengalami peningkatan menjadi 43 ppm dari sebelumnya 23,2 ppm.

Penentuan pH Optimum

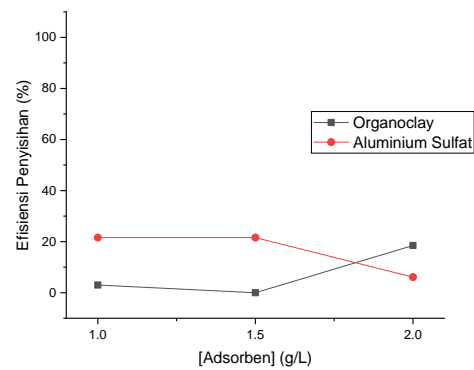
Jartest dilakukan untuk mengetahui pH optimum untuk penyisihan logam kromium. Variasi yang digunakan adalah pH 4, 6, dan 8 yang dikombinasikan dengan perlakuan (*organoclay*, alum, dan ozonasi). Penambahan NaOH dan H_2SO_4 ke dalam sampel dilakukan untuk mengkondisikan sampel agar berada pada pH yang diinginkan. Setiap perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan. Berdasarkan percobaan didapatkan hasil pH optimum perlakuan *organoclay* dan ozonasi pada pH 4 sementara aluminium sulfat pada pH 8. Perbandingan antara ketiga perlakuan dapat dilihat sebagai berikut:

Durasi Ozonasi Optimum

Variasi perlakuan ozonasi dilakukan berdasarkan durasi, yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Setiap perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan dengan variasi pH 4, 6, dan 8. Berdasarkan percobaan didapatkan hasil ozonasi paling optimum selama 1 jam.

Penentuan Dosis Optimum

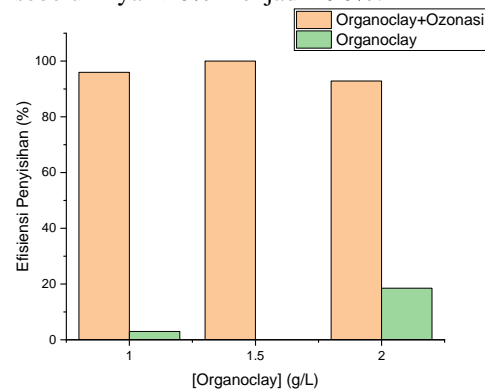
Sesuai dengan penentuan pH optimum untuk *organoclay* didapatkan pada pH 4. Untuk mengetahui konsentrasi adsorben yang paling optimum dibuat variasi perlakuan dengan konsentrasi 1 g/L; 1,5 g/L; dan 2 g/L. Berdasarkan percobaan didapatkan hasil bahwa dosis *organoclay* optimum pada 1,5 g/L (Gambar 1).



Gambar 1. Penentuan Dosis Optimum

Perlakuan Kombinasi

Berdasarkan hasil dari penentuan pH, durasi, dan dosis dilakukan perlakuan lanjutan. Perlakuan lanjutan yaitu kombinasi dari perlakuan *organoclay* dan ozonasi. Variasi konsentrasi *organoclay* yang digunakan yaitu 1; 1,5; dan 2 g/L dengan durasi ozonasi 1 jam. Efisiensi penyisihan kromium (VI) dengan adsorben *organoclay* meningkat secara signifikan ketika dikombinasikan dengan ozonasi, dari sebelumnya $<20\%$ menjadi $>90\%$.



Gambar 2. Perbandingan Perlakuan Kombinasi dengan Perlakuan Biasa

Pembahasan

Berdasarkan hasil percobaan didapatkan perlakuan optimum untuk pH, *organoclay*, aluminium sulfat, dan ozonasi. Nilai pH optimum untuk *organoclay* dan ozonasi adalah 4. Hal tersebut sejalan dengan penelitian dari Gottipati dan Mishra (2012) yang menyatakan bahwa pH 3-5 sangat optimum untuk adsorpsi Cr(VI). Senada dengan pernyataan tersebut, Kumar et al (2012) juga menyatakan bahwa rentang pH adsorpsi kromium berkisar pada 3,8-5,5 dimana pada rentang tersebut Cr(VI) umumnya ada dalam bentuk anion bikromat (HCrO_4^-), sementara dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) dominan pada pH yang lebih rendah. Permukaan *organoclay* pada pH asam akan bermuatan sangat positif sehingga akan mudah mengikat Cr(VI) yang umumnya ada dalam bentuk anion. Pada kondisi pH lebih dari 5, akan terjadi deprotonasi pada permukaan hidroksil pada biopolimer seperti *organoclay* sehingga terjadi penurunan adsorpsi kromium. Pada kondisi pH yang

lebih tinggi, akan terjadi kompetisi antara anion hidroksil dan bikromat untuk teradsorpsi dengan adsorben.

Pada pH rendah dominan terjadi reaksi secara langsung antara ozon dengan ikatan yang ada pada molekul yang ingin diolah, sementara itu pada pH tinggi dominan terjadi reaksi tidak langsung sehingga cenderung kurang efisien (Adams and Gorg, 2002). Berdasarkan hasil penelitian, ozonasi optimum pada pH 4 dengan durasi 1 jam. Hasil ini konsisten dengan penelitian Pan et al (1984) yang menyatakan bahwa dekomposisi ozon terjadi lebih lambat pada pH 3 dibandingkan pada pH 7.

Kondisi optimum pH untuk aluminium sulfat didapatkan pada pH 8. Penelitian Malhbtra et al (1997) menemukan bahwa kemampuan alum dalam menyisihkan beberapa logam berat (Fe, Mn, Cd, Cr, dan Pb) meningkat jika limbah yang diolah memiliki nilai alkalinitas tinggi. Penyisihan tersebut disebabkan oleh kombinasi proses koagulasi dan presipitasi. Menurut Said (2017), aluminium sulfat bersifat asam dan ketika dilarutkan di dalam air akan bereaksi dengan HCO_3^- menghasilkan aluminium hidroksida yang bermuatan positif sehingga mudah menarik partikel-partikel koloid yang bermuatan negatif. Rentang pH kerja aluminium sulfat yaitu antara 5,5-8,5.

Dosis adsorben optimum *organoclay* dan aluminium sulfat yang digunakan untuk pengolahan kromium didapatkan antara 1,5-2 g/L. Berdasarkan penelitian Kumar et al (2012) dosis adsorben optimum didapatkan antara 2-2,4 g/L. Penambahan adsorben lebih dari nilai tersebut tidak menyebabkan kenaikan persen adsorpsi yang signifikan yang mengindikasikan terjadinya saturasi pada bahan adsorben yang digunakan.

Berdasarkan hasil penentuan pH optimum didapatkan bahwa derajat keasaman optimum untuk perlakuan *organoclay* dan ozonasi memiliki nilai yang sama, yaitu 4 sehingga dilakukan kombinasi perlakuan antara keduanya. Hasil dari perlakuan tersebut diperoleh data bahwa kombinasi *organoclay* dan ozonasi mampu menurunkan konsentrasi kromium dengan efisiensi sampai 100% (rata-rata efisiensi 94,77%). Penurunan tersebut mengindikasikan bahwa karbon yang ada di dalam *organoclay* mengalami aktivasi karena perlakuan ozonasi. Menurut studi Sugashini dan Begum (2015), ozonasi dapat digunakan untuk aktivasi adsorben dimana ozon dapat menyebabkan pengayaan karbon, perenggangan silika, dan peningkatan area permukaan. Ketiga hal tersebut menyebabkan kadar Cr(VI) dalam limbah dapat teradsorpsi dengan optimal oleh *organoclay*.

Berdasarkan data diperoleh bahwa perlakuan dengan efisiensi paling tinggi sampai paling rendah yaitu berturut-turut perlakuan dengan kombinasi *organoclay* dan ozonasi, penambahan aluminium sulfat, penambahan *organoclay*, dan ozonasi. Berdasarkan Tabel hasil pengukuran kromium (VI)

paling rendah didapatkan pada perlakuan kombinasi *organoclay* dan ozonasi, yaitu sebesar $0,81 \pm 1,19$ ppb. Jika dilihat dari segi perlakuan secara terpisah, pengolahan dengan metode penambahan aluminium sulfat lebih baik dibandingkan dengan *organoclay* dan ozonasi terbukti dari konsentrasi kromium hasil pengolahan yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih tinggi. Efisiensi tertinggi (100%) didapatkan pada perlakuan penambahan 1,5 gr/L *organoclay* dengan durasi ozonasi 1 jam.

Tabel 1. Perbandingan Antar Perlakuan

Variasi Perlakuan	Konsentrasi \pm sd (ppb)	Efisiensi Rata-rata (%)
<i>Organoclay</i>	14.31 \pm 1.17	7.65
Aluminium sulfat	10.31 \pm 5.13	33.47
Ozonasi	15.43 \pm 4.31	0.45
<i>Organoclay</i> + Ozonasi	0.81 \pm 1.19	94.77

Pengolahan kromium dengan metode ozonasi memberikan hasil yang negatif, terutama jika dilakukan dalam durasi lama. Ozonasi disarankan dilakukan hanya sebagai pelengkap dari proses pengolahan. Durasi ozonasi untuk pengolahan limbah kromium (VI) disarankan tidak lebih dari 1 jam. Perbandingan konsentrasi kromium sampel setiap perlakuan memiliki perbedaan, meskipun tidak cukup signifikan. Kecenderungan data yang didapat yaitu perlakuan dengan koagulan aluminium sulfat lebih baik dalam menurunkan konsentrasi kromium dalam sampel dibandingkan dengan penambahan *organoclay* dan ozonasi.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi optimum pengolahan limbah kromium (VI) dengan aluminium sulfat yaitu pada pH 8 dan dosis 1,5 g/L; sementara kondisi optimum untuk pengolahan dengan *organoclay* yaitu pada pH 4 dan dosis 2 g/L; ozonasi paling optimum pada pH 4 dengan durasi 1 jam. Penyisihan kromium (VI) dengan koagulan aluminium sulfat memberikan efisiensi pengolahan yang lebih baik (33,47%) dibandingkan dengan *organoclay* (7,65%) dan ozonasi (0,65%). Meskipun demikian kombinasi perlakuan *organoclay* dan ozonasi memberikan peningkatan efisiensi yang sangat signifikan (94,77%).

Perlakuan ozonasi untuk penyisihan kromium (VI) kurang efektif. Perlakuan ozonasi disarankan hanya sebagai perlakuan aktivasi adsorben. Selain itu perlu melakukan penelitian lebih lanjut dengan mereduksi kromium (VI) menjadi kromium (III) terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

Adam, C.D. and S. Gorg. (2002). Effect of pH and Gas-Phase Ozone Concentration on the Decolorization of Common Textile Dyes.

- Journal of Environmental Engineering* 128:293-298.
- Ahsan, A., I.K. Erabee. (2019). Performance of Agricultural Activated Carbon in Removing of Pollutants from Wastewater. *Proc. 2nd International Conference on Water and Engineering* (ICWEE2019).
- Aksu, Z., F. Gönen, Z. Demircan. (2002). Biosorption of chromium(VI) ions by Mowital®B30H resin immobilized activated sludge in a packed bed: comparison with granular activated carbon, *Process. Biochem.* 38: 175–186.
- Baran, A., E. Bıçak, S. Hamarat-Baysal, S. Oñal. (2006). Comparative studies on the adsorption of Cr(VI) ions on various sorbents, *Bioresour. Technol.* 98: 661–665.
- Barakat, M.A. (2011). New Trends in Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Arabian Journal of Chemistry* 4: 361-377.
- Batagoda, J.H., S.D.A. Hewage, J.N. Meegoda. (2019). *Journal of Environmental Engineering and Science* 14(2): 130-138. ICE Publishing.
- Belay, A.A. (2010). Impacts of Chromium from Tannery Effluent and Evaluation of Alternative Treatment Options. *Journal of Environmental Protection* 1: 53-58.
- Corbitt, R.A. (2004). *Standard Handbook of Environmental Engineering* 2nd Edition. McGraw-Hill Handbooks.
- Gebbie, P. (2005). A Dummy's Guide to Coagulants. 68th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference. Schweppes Centre, Bendigo: 75-83.
- Gottipati, R. and S. Mishra. (2012). Simultaneous Removal of Trivalent and Hexavalent Chromium by Activated Carbon: Effect of Solution pH and Pore Size Distribution of Adsorbent. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Wiley Online Library.
- Hartono, R. dkk. (2010). Pemutihan Pulp Enceng Gondok Menggunakan Proses Ozonasi. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN: 1411-4216. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Kumar, A.S.K., S. Kalidhasan, V. Rajesh, and N. Rajesh. (2012). Application of Cellulose-Clay Composite Biosorbent toward the Effective Adsorption and Removal of Chromium from Industrial Wastewater. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 51:58-69.
- Malhbtra, S. D.N. Kulkarni, and S.P. Pande. (1997). Effectiveness of Poly Aluminium Chloride (PAC) vis-à-vis Alum in The Removal of Fluorides and Heavy Metals. *Journal of Environmental Science and Health Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology* 32: 2563-2574.
- Manahan, S.E. (2000). *Environmental Chemistry* 7th Edition. CRC Press LLC. Florida.
- Martin-Dominguz, A., M.L. Rivera-Huerta, S. Perez-Castrejon, S.E. Gerrido-Hoyos, L.E. Villegas-Mendoza, S.L. Gelover-Santiago, P. Drogui, G. Buelna. (2018). Chromium Removal from Drinking Water by Redox-Assisted Coagulation: Chemical versus Electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*.
- Nurfitriyani, A., E. Wardhani, et al. (2013). Penentuan Efisien penyisihan Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) dengan Adsorpsi menggunakan Tempurung Kelapa secara kontinyu.
- Pan, G.Y., C.L. Chen, H.M. Chang, and J.S. Gratzl. (1984). Studies on Ozone Bleaching: The Effect of pH, Temperature, Buffer Systems and Heavy Metal-Ions on Stability of Ozone in Aqueous Solution. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 4(3): 367-387.
- Prasetyaningrum, A., M. Djaeni, B. Jos, Y. Dharmawan. (2017). Optimasi Proses Ozonasi untuk Penurunan Kadar Krom (Cr) dalam Limbah Cair Elektroplating dengan Metode Respon Permukaan.
- Risdianto, D. (2007). Optimalisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul). Program Pascasarjana Universitas Diponegoro. Semarang. Tesis.
- Said, N.I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Sarkar, B., R. Naidu, and M. Megharaj. (2013). Simultaneous Adsorption of Tri- and Hexavalent Chromium by Organoclay Mixtures. *Water Air Soil Pollution* 224: 1704.
- Spellman, F.R. (2011). *Spellman's Standard Handbook for Wastewater Operators Volume I Fundamental Level* 2nd Edition. CRC Press LLC. Florida.
- Sugashini, S., and K.M.M.S. Begum. Preparation of Activated Carbon from Carbonized Rice Husk by Ozone Activation for Cr(VI) Removal. *New Carbon Materials* 30(3).
- Sururi, M.R., (2008). Pembentukan Low Molekul Weight (LMW) Organic: Aldehyd, Sebagai Hasil Samping Proses Desinfeksi dengan Ozon. Bandung. Institut Teknologi Bandung (ITB)
- Verma, S.K., V. Khandegar, A.K. Saroha. (2013). Removal of Chromium from Electroplating Industry Effluent Using Electrocoagulation. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste* 17(2).
- Yasmine, A.O., M. Chabani, A. Amrane, A. Bensmaili. (2012). Integration of Electro Coagulation and Adsorption for the Treatment of Tannery Wastewater – The Case of an Algerian Factory, Rouiba. *Procedia Engineering* 33: 98-101.
- Zhang, C.C. (2007). *Fundamentals of Environmental Sampling and Analysis*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey.