

KOMPOSIT NANO TiO₂ DENGAN PCC, ZEOLIT ATAU KARBON AKTIF UNTUK MENURUNKAN TOTAL KROM DAN ZAT ORGANIK PADA AIR LIMBAH INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT

(COMPOSITE OF NANO TiO₂ WITH PCC, ZEOLIT OR ACTIVATED CARBON TO DECREASE THE TOTAL CHROME AND ORGANIC MATTERS IN TANNERY INDUSTRIAL WASTEWATER)

Bumiarto Nugroho Jati, Siti Naimah, Silvie A.A, dan Rahyani Ermawati

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian
Jl. Balai Kimia No.1 Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail: ermakyoto@yahoo.com

Received : 11 April 2012; revised : 24 April 2012; accepted : 27 April 2012

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk menurunkan total krom dan zat organik pada limbah industri penyamakan kulit dengan menggunakan nano TiO₂ yang dikompositkan dengan adsorben karbon aktif, zeolit, dan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dalam suatu reaktor fotokatalitik yang disusun secara *batch* dan dilengkapi dengan 6 buah lampu UV dan *magnetic stirrer*. Penurunan kadar krom total diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan penurunan zat organik dianalisa dengan menggunakan titrasi permanganatometri. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan terbaik untuk penurunan kadar krom total adalah dengan menggunakan komposit TiO₂:PCC = 8:2 yang dapat menurunkan total krom hampir 100% pada menit ke-170 dengan konsentrasi awal 214,35 mg/L. Untuk penurunan kadar zat organik, pengolahan terbaik dengan menggunakan komposit TiO₂:PCC = 9:1 yang dapat menurunkan kadar zat organik hingga 100% pada menit ke-180.

Kata kunci : Krom, Industri penyamakan kulit, *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC), Karbon aktif, TiO₂, Fotokatalitik

ABSTRACT

The aims of this study is to determine the reduction level of chromium and organic matters from tannery industrial wastewater. Decreased levels of total chromium and degradation of organic matters from the leather tanning industry waste were done by using nano TiO₂ which is respectively composted with activated carbon, zeolite, or *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) in a photocatalytic reactor and arranged in a batch, equipped with six UV lamps and magnetic stirrer. The research was carried out by adding TiO₂-PCC, TiO₂-zeolite, or TiO₂-activated carbon to determine the reduction levels of total chromium and organic matter. Furthermore, reduction levels of total chromium were measured using *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) and a decrease in organic matter was analyzed using titration permanganatometri. The results of this study suggest the best treatment for reduction levels of total chromium occurred by using composite TiO₂ : PCC = 8:2, which could decrease up to 100% at minute 170 with the initial concentration of 214.35 mg/L. Moreover, reduction levels of organic matter processed by using composite TiO₂ : PCC = 9:1 could achieve a reduction levels of organic matter up to 100% at minute 180.

Key words : Chrom, Leather tanning industry, *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC), Activated carbon, Photocatalytic

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah memiliki nilai penting dalam suatu kegiatan industri, terutama dengan semakin ketatnya peraturan lingkungan dan juga berkembangnya kesadaran di masyarakat. Hal yang penting dalam konsep pengolahan limbah

industri adalah usaha mencegah atau menekan beban pencemaran seminimal mungkin, yaitu melalui pengendalian proses produksi. Pada tahap selanjutnya adalah pengolahan limbah

yang dihasilkan agar tidak mencemari lingkungan.

Dengan semakin pesatnya perkembangan industri dan semakin ketatnya peraturan mengenai limbah industri serta tuntutan untuk mewujudkan pembangunan yang berwawasan lingkungan maka teknologi pengolahan limbah yang efektif dan efisien menjadi sangat penting dan utama. Salah satu limbah yang berbahaya adalah limbah logam berat kromium (Cr) dan limbah bahan organik yang berasal dari industri penyamakan kulit. Logam berat kromium dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati, dan ginjal. Jika kontak dengan kulit maka dapat menyebabkan iritasi bahkan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kanker kulit dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut, muntah, dan pada konsentrasi yang tinggi dapat menyebabkan kanker pada saluran pencernaan (Santi 2004).

Adanya logam berat dalam lingkungan perairan telah diketahui menyebabkan beberapa kerusakan pada kehidupan air. Dengan banyaknya zat pencemar yang ada di dalam air limbah, maka akan menyebabkan menurunnya kadar oksigen yang terlarut di dalam air limbah. Dengan demikian akan menyebabkan kehidupan di dalam air yang membutuhkan oksigen akan terganggu (Santi 2004). Di samping itu terdapat fakta bahwa logam berat krom dapat membunuh mikroorganisme selama perlakuan biologis pada limbah sebagai akibat kelambatan proses pemurnian air. Hampir semua garam-garam logam berat larut dalam air dan membentuk larutan sehingga tidak dapat dipisahkan dengan pemisahan fisik biasa (Hussein 2004).

Pada industri penyamakan kulit, selain dihasilkan berbagai macam produk utama untuk kebutuhan manusia juga dihasilkan hasil samping yang merugikan manusia sendiri dan lingkungan yaitu berupa limbah cair penyamakan kulit. Limbah cair ini mengandung total padatan, padatan tersuspensi, garam sulfida, zat organik, dan logam krom sehingga memerlukan penanganan secara tepat agar tidak mengganggu lingkungan (Hartanto *et al.* 2002).

Pada dasarnya kadar krom dalam limbah industri penyamakan kulit dapat mengalami degradasi secara alamiah oleh adanya cahaya matahari namun berjalan lebih lambat sehingga laju akumulasi krom lebih tinggi dari degradasinya. Proses fotodegradasi krom dapat dipercepat oleh keberadaan fotokatalis seperti TiO_2 , CdO , dan Fe_2O_3 (Aisawati 2011).

Fotokatalis adalah suatu proses yang dibantu oleh cahaya dan material katalis.

Dengan pencahayaan ultraviolet (254 nm) permukaan TiO_2 mempunyai kemampuan mengionisasi reaksi kimiawi. Dalam media air, kebanyakan senyawa organik dapat dioksidasi menjadi karbondioksida dan air, berarti proses tersebut dapat membersihkan air dari pencemar organik.

Penggunaan titanium dioksida akan lebih efektif jika digunakan dengan menggunakan adsorben. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif, zeolit dan *Precipitated Calcium Carbonate (PCC)*. Karbon aktif adalah bahan padat berpori yang berwarna hitam sebagai hasil pembakaran tidak sempurna dalam bentuk granular atau bubuk yang telah melalui proses aktivasi sehingga pori-porinya lebih terbuka dan memiliki luas permukaan yang besar yaitu 300 sampai 3500 m^2/g . Sedangkan zeolit adalah mineral alam yang pada keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang membentuk bulatan di sekitar kation. Bila kristal tersebut dipanaskan selama beberapa jam, biasanya pada temperatur 25°C sampai 900°C, maka kristal zeolit yang bersangkutan berfungsi menyerap gas atau cairan.

Daya serap (adsorbansi) zeolit tergantung dari jumlah ruang hampa dan luas permukaan. Selanjutnya nilai KTK dari zeolit juga sangat ditentukan sifat pergerakan logam-logam alkali tanah yang ada di dalamnya K, Na, Ca, Mg, dan Fe (Nurimaniwathy 2004). Biasanya mineral zeolit mempunyai luas permukaan beberapa ratus meter persegi untuk setiap gram berat. Beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas sebanyak 30% dari beratnya dalam keadaan kering. *PCC* adalah kalsium karbonat yang dihasilkan dari proses presipitasi dengan kemurnian yang tinggi. *PCC* merupakan senyawa kimia yang memiliki rumus kimia CaCO_3 , akan tetapi *PCC* memiliki struktur kristal yang berbeda dengan kalsium karbonat lainnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan TiO_2 dan adsorben karbon aktif, zeolit, dan *PCC* terhadap penurunan kadar krom total (Cr-T) dan zat organik dalam limbah industri penyamakan kulit.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap masalah pencemaran lingkungan oleh limbah industri dan dapat mengembangkan pengetahuan dan teknologi, sehingga dapat diterapkan pada penanganan limbah cair yang mengandung krom maupun zat organik dalam industri penyamakan kulit dengan penggunaan katalis TiO_2 .

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah TiO_2 , zeolit alam Lampung (ZAL), karbon aktif, *Precipitated Calcium Carbonat (PCC)*, HF 2%, HCl 6 M, NH_4Cl 0.1 M, *aquadest*, *Tetraethylenorthosilicate (TEOS)*. Sedangkan alat-alat yang digunakan adalah reaktor fotokatalitik, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), *hotplate and stirrer*, alat sonikasi, tanur.

Metode

Preparasi Zeolit Alam Lampung

Preparasi zeolit alam Lampung (ZAL) ini diawali dengan mencuci 50 gram ZAL dengan air. Kemudian dilarutkan dengan HF 2% sebanyak 200 mL lalu dilakukan sentrifuse selama kurang lebih 10 menit. Lalu dilakukan pencucian bebas asam dengan *aquadest* sampai larutan atasnya menjadi jernih tak berwarna. HCl 6 M ditambahkan sebanyak 200 mL. Lalu dilakukan refluks pada suhu 90°C selama 30 menit kemudian lakukan sentrifuse selama 10 menit dan dilanjutkan dengan pencucian bebas Cl^- dengan *aquadest* sampai larutan atasnya jernih tak berwarna. Selanjutnya endapan diambil, dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan NH_4Cl 0,1 M kurang lebih 200 mL.

Endapan direndam sehari semalam dan dilakukan refluks terhadap endapan tersebut selama 3 jam/hari selama 5 hari. Kemudian dipanaskan di atas *hotplate* 90°C dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam. Penambahan asam dan garam disini bertujuan untuk mempermudah terjadinya proses pertukaran kation-kation pada zeolit (Breck 1974, Sceneider 1974), sedangkan pemanasan bertujuan untuk memperluas permukaan bidang kontak adsorben zeolit (Othmer 1981).

Preparasi Nanokomposit TiO_2 -Adsorben (PCC, Karbon Aktif dan Zeolit)

Cara kerja pembuatan nanokomposit TiO_2 dan adsorben adalah sebagai berikut: timbang masing-masing TiO_2 dan adsorben secara terpisah sesuai dengan perbandingannya dengan berat maksimum keseluruhan 5 gram. TiO_2 yang telah ditimbang dilarutkan dengan 100 mL *aquadest*, dilanjutkan dengan mensonikasi TiO_2 tersebut selama 30 menit dan dilanjutkan dengan menambahkan *Tetraethylenorthosilicate (TEOS)* sebanyak 0,10 mL (2 tetes), dan disonikasi kembali selama kurang lebih 2 menit. Selanjutnya ditambahkan adsorben (PCC, karbon aktif atau zeolit) yang telah ditimbang sesuai perbandingan yang dibutuhkan

yaitu 9:1 atau 8:2 lalu diaduk sampai homogen. Selanjutnya disonikasi kembali selama 30 menit. Dilanjutkan dengan dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 80°C sampai 90°C sambil diaduk dengan *stirrer* sampai airnya bersisa kurang lebih 20 mL sampai 30 mL, kemudian dikalsinasi dalam tanur pada suhu 300°C selama 1 jam dan didinginkan serta digerus dalam lumpang.

Aplikasi Nanokomposit TiO_2 -Karbon Aktif, TiO_2 -PCC, dan TiO_2 -Zeolit Pada Industri Penyamakan Kulit

Sampel limbah industri penyamakan kulit dihomogenkan lalu 100 mL air limbah diencerkan hingga 400 mL dengan *aquadest*, selanjutnya ditutup dan dihomogenkan. Dilanjutkan dengan pengolahan limbah menggunakan reaktor fotokatalitik dan nanokomposit (TiO_2 -adsorben). Sampel air limbah yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam wadah kaca tahan panas. Kemudian ditambahkan nanokomposit TiO_2 -adsorben yang telah siap sebanyak 3 gram ke dalam wadah. Sebanyak 300 mL sampel air limbah kulit dimasukkan ke dalam reaktor fotokatalitik. Selanjutnya dilakukan sampling setiap 10 menit. Sampel yang telah diambil selanjutnya dianalisa total krom dan total zat organik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan yang akan dibahas meliputi karakterisasi katalis komposit dan zeolit alam sebelum dan sesudah hasil *treatment*, pengaruh konsentrasi awal polutan terhadap pengurangan total krom, keberadaan adsorben dan fotokatalis, pengaruh komposisi katalis komposit terhadap pengurangan total krom dan zat organik.

Karakterisasi Zeolit Alam, Zeolit Yang Telah Diaktifkan dan Komposit TiO_2 -Zeolit

Zeolit dapat dihasilkan dari sintesis sendiri maupun aktivasi dari alam, yang masing-masing mempunyai aspek kelebihan dalam kehandalan dan aspek ekonomi. Zeolit dengan sifat adsorben yang akan diteliti lebih lanjut untuk mendukung proses fotokatalitik.

Ketersediaan zeolit di Indonesia yang cukup melimpah juga menjadi salah satu pertimbangan dipakainya zeolit sebagai adsorben dalam mendukung proses fotokatalitik. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa zeolit alam Lampung sebelum aktivasi terdiri dari beberapa senyawa kimia dengan SiO_2 dan Al_2O_3 sebagai penyusun utama. Dari Tabel 1 terlihat dari zeolit alam dengan komposisi yang dominan adalah Si dan Al sebesar 70,78% dan 11,53%. Setelah dilakukan aktivasi terhadap zeolit alam tersebut

maka komposisi hanya bergeser menjadi 69,03% dan 10,79% untuk Si dan Al.

Dari Tabel 1 dan 2, dapat dihitung rasio Si/Al dari sebelum dan sesudah proses aktivasi pada zeolit alam. Ternyata dengan proses aktivasi berhasil meningkatkan secara signifikan rasio Si/Al zeolit alam yaitu dari 5,5 menjadi 5,74. Hal ini terutama diakibatkan adanya proses dealuminasi dengan larutan HCl dalam proses aktivasi zeolit alam (Slamet *et al.* tt)

Tabel 3. Hasil karakterisasi XRF pada zeolit alam

Formula kimia	% Berat	Formula kimia	% Berat
Al	6,10	Al ₂ O ₃	11,53
Si	33,09	SiO ₂	70,78
K	1,89	K ₂ O	2,28
Ca	1,58	CaO	2,21
Ti	0,07	TiO ₂	0,11
Fe	1,41	Fe ₂ O	2,02
Na	0,54	NaO ₂	0,73
Mg	0,37	MgO	0,61
Mn	0,02	MnO	0,02

Tabel 2. Hasil karakterisasi XRF pada zeolit alam setelah aktivasi

Formula kimia	% Berat	Formula kimia	% Berat
Al	5,71	Al ₂ O ₃	10,79
Si	32,28	SiO ₂	69,03
K	1,78	K ₂ O	2,14
Ca	1,41	CaO	1,97
Ti	0,07	TiO ₂	0,11
Fe	1,36	Fe ₂ O	1,95
Na	0,60	NaO ₂	0,80
Mg	0,33	MgO	0,55
Mn	0,02	MnO	0,02

Pengaruh Konsentrasi Air Limbah Awal Terhadap Penurunan Total Krom dan Total Zat Organik

Pengaruh konsentrasi air limbah awal terhadap penurunan total krom dan total zat organik dapat diketahui dengan membandingkan air limbah awal dan air limbah setelah diencerkan dengan air kran sebanyak empat kali. Hasil pengujian untuk mengetahui seberapa jauh penurunan total krom dan zat organik pada berbagai interval waktu limbah kontak dengan komposit dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal limbah cair, setelah

180 menit, konsentrasi total krom masih 397,61 mg/L sedangkan total zat organik 93,22 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa ada batas maksimum dalam penurunan total krom dan total zat organik dengan komposit TiO₂-PCC. Sedangkan dengan konsentrasi awal sebesar 214,35 mg/L, setelah 180 menit, total krom tereliminasi secara sempurna, demikian juga total zat organik.

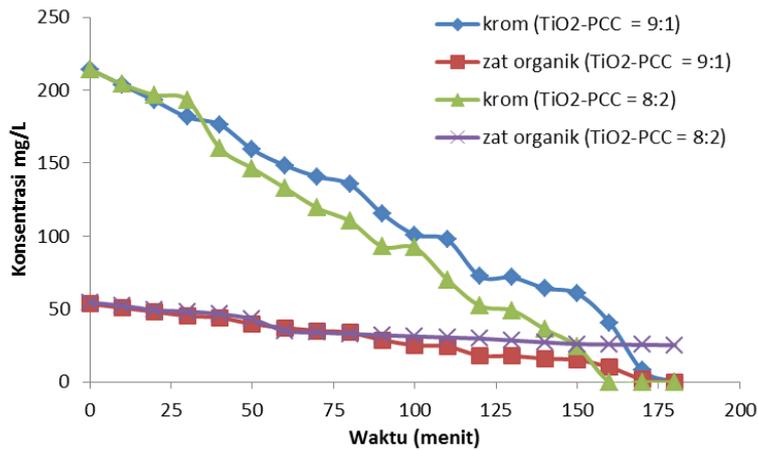
Tabel 3. Hasil pengolahan limbah penyamakan kulit dengan Komposit TiO₂ : PCC = 9:1

Waktu (menit)	Konsentrasi awal		Konsentrasi air limbah setelah pengenceran empat kali	
	Krom total (mg/L)	Konsentrasi zat organik (mg/L)	Krom total (mg/L)	Konsentrasi zat organik (mg/L)
0	815,4200	345,0700	214,3500	53,5875
10	800,6900	270,1800	203,5600	50,8900
20	774,1200	243,3200	192,7300	48,1825
30	739,5400	189,6000	181,5200	45,3800
40	692,3050	169,0600	176,4000	44,1000
50	621,1500	164,3200	159,3200	39,8300
60	590,2100	132,7200	148,4700	37,1175
70	575,0900	129,0000	140,6700	35,1675
80	560,2100	126,0000	135,4400	33,8600
90	543,6640	123,2400	115,3600	28,8400
100	520,1500	119,0000	100,9700	25,2425
110	490,3800	114,5000	97,5100	24,3775
120	479,2050	110,6000	72,4550	18,11375
130	462,0600	107,0000	71,6500	17,9125
140	445,2400	104,0000	64,2800	16,0700
150	420,0650	101,1200	60,6000	15,1500
160	412,1100	99,0000	40,6100	10,1525
170	404,2300	96,5000	7,9400	1,9850
180	397,6100	93,2200	0,0000	0,0000

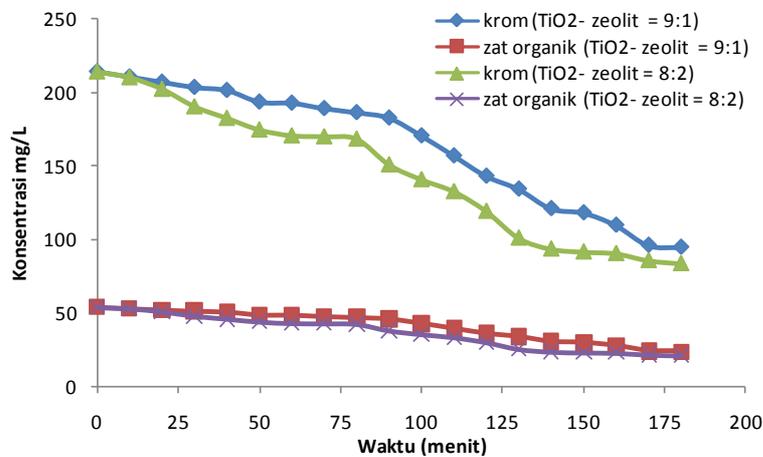
Hasil pengujian penggunaan nano-komposit TiO₂-PCC dengan perbandingan 9:1 dan 8:2 terhadap penurunan total krom dan total zat organik pada limbah cair industri penyamakan kulit dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 terlihat setelah perlakuan selama 180 menit, baik dengan nanokomposit TiO₂-PCC 9:1 maupun TiO₂-PCC 8:2, total krom sudah sempurna tereliminasi. Walaupun pada menit ke-170, untuk nanokomposit TiO₂ : PCC = 9:1 baru menurunkan 96,296% sedangkan TiO₂ : PCC = 8:2 sudah bisa menurunkan hampir sempurna sampai dengan 99,997%.

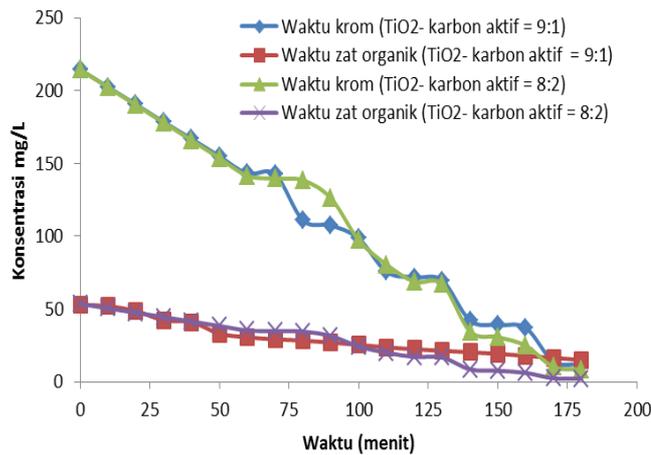
Sedangkan perlakuan dengan menggunakan nanokomposit TiO₂ : zeolit dengan perbandingan 9:1 dan 8:2, hasil analisisnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Penurunan total krom dan total zat organik setelah pengolahan dengan menggunakan nanokomposit TiO_2 : PCC



Gambar 2. Penurunan total krom dan total zat organik setelah pengolahan dengan menggunakan nanokomposit TiO_2 : zeolit



Gambar 3. Penurunan total krom dan total zat organik setelah pengolahan dengan menggunakan nanokomposit TiO_2 : karbon aktif

Gambar 2 memperlihatkan bahwa setelah perlakuan dengan nanokomposit TiO_2 : zeolit setelah waktu berjalan 180 menit, hasil analisa

total krom memperlihatkan bahwa total krom belum tereliminasi sempurna atau dengan kata lain masih ada sisa total krom sebesar kurang

lebih 55,98% dengan perbandingan TiO₂ : zeolit = 9:1 dan 61,12 % dengan menggunakan TiO₂ : zeolit = 8:2. Sedangkan untuk sisa total zat organik sebesar 55,98% untuk TiO₂ : zeolit = 9:1 dan 61,12% untuk TiO₂ : zeolit = 8:2.

Gambar 3 menunjukkan hasil analisa pengolahan dengan menggunakan nanokomposit TiO₂:karbon aktif dengan perbandingan 9:1 dan 8:2. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa setelah 180 menit, total krom yang bisa dieleminasi adalah 94,29% sedangkan untuk zat organik sebesar 71,54% dengan menggunakan nanokomposit TiO₂ : karbon aktif dengan perbandingan 9:1. Sedangkan untuk nanokomposit dengan perbandingan TiO₂ : karbon aktif = 8:2, krom total yang bisa dieliminasi adalah 95,93% sedangkan zat organik yang dapat dieliminasi sebesar 95,93%.

KESIMPULAN

Dari keseluruhan hasil, dapat disimpulkan bahwa pengolahan terbaik untuk penurunan kadar krom total adalah dengan menggunakan komposit TiO₂ : PCC = 8 : 2 dengan hasil presentasi penurunan mencapai 100% pada menit ke-170. Sedangkan untuk penurunan zat organik, pengolahan terbaik menggunakan komposit TiO₂ : PCC = 9:1 yang dapat menurunkan zat organik hingga 100% pada menit ke-180.

DAFTAR PUSTAKA

Anisawati, R. 2011. Pengaruh ion Kromium (VI) terhadap degradasi fotokatalisis zat warna tekstil congo red dengan suspensi TiO₂. *Tugas Akhir*. Malang: Universitas Airlangga.

Breck, D.W. 1974. *Zeolite molecular sieves, structure, chemistry, and use*. New York: John wiley & sons, inc.

Hartanto, B.S., S. Bastaman, P. Citoreksoko. 2002. *Pengaruh penambahan khitosan dan lama pengendapan terhadap hasil penanganan limbah cair industri penyamakan kulit*. Bogor: BBPIP.

Hussein. 2004. Biosorption of heavy metal from waste water using *Pseudomonas sp*. *Electronic Journal of Technology* 7 (1).

Kementerian Lingkungan Hidup.1995. *Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan*

Lingkungan Hidup No. 582 tahun 1995 tentang standard baku mutu air limbah di Indonesia. Keputusan Gubernur DKI Jakarta.

Kismolo, E. 2003. Pemanfaatan lempung Nanggulan untuk mengolah limbah chrom. *Dalam: Prosiding seminar nasional II Perkembangan teknologi keramik*. Bandung: Balai Besar Keramik.

Kismolo, E. 2008. Optimasi pemanfaatan zeolit alam dari Gunung Kidul untuk reduksi kadar cesium dalam limbah radioaktif. *Dalam: Prosiding seminar nasional, penelitian dan pengelolaan perangkat nuklir*. Yogyakarta: PTATB Batan.

Nurimaniwathy. 2004. Karakterisasi kapasitas tukar kation zeolit dari gedangsari Gunung Kidul. *Dalam: Prosiding seminar pranata nuklir*. Yogyakarta: P3TM-Batan.

Othmer, K. 1981. *Encyclopedia of chemical technology*, 3th ed., vol. 15. New York: John Wiley & Sons.

Pemerintah Republik Indonesia. 2001. *Peraturan pemerintah RI nomor 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air*. Jakarta.

Santi, D.N. 2004. *Pengelolaan limbah cair pada industri penyamakan kulit, industri pulp dan kertas industri kelapa sawit*. Laporan belum dipublikasikan. Universitas Sumatera Utara.

Schneider, K. 1974. *Use of local minerals in the treatment of radioactive waste*. Technical report series no. 136. IAEA.

Slamet, Ikha Muliawati, Muhamad Ibadurrohman. Tanpa tahun. *Rekayasa masker anti polutan gas buang kendaraan berbasis katalis komposit Tio₂-ac-zal*. Laporan belum dipublikasikan. Universitas Indonesia.

Susetyaningsih, R., Kismolo, E., dan Prayitno. 2009. Karakterisasi zeolit alam pada reduksi chrom pada limbah cair. *Dalam: Prosiding seminar V SDM nuklir*. Yogyakarta, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Batan: 741-747.