



Pengaruh pH dan Dosis NaOCl terhadap Penurunan Kadar COD dan Klor Bebas pada Pengolahan Limbah Cair

The Effect of pH and NaOCl Dose on the Reduction of COD and Free Chlorine at Wastewater Treatment

Ratnawati*, Linda Aliffia Yoshi, Surya Aji Wibawa

Program Studi Teknik Kimia, Jalan Raya Puspipetek Serpong, Institut Teknologi Indonesia

*E-mail: rnwt63@yahoo.co.id

Terima draft: 6 Juni 2018; Terima draft revisi: 20 Juli 2018; Disetujui: 18 Agustus 2018

Abstrak

Limbah cair dari produksi monomer vinil klorida mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang tinggi yaitu sekitar 1000 ppm dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) sekitar 500 ppm. Sedangkan nilai standar mutu air buangan ke badan air adalah di bawah 250 ppm untuk COD dan 100 ppm untuk BOD sesuai dengan Permen LH No. 10 Tahun 2006. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh pH dan dosis NaOCl terhadap penurunan COD dan kadar klor bebas. Limbah cair produksi monomer vinil klorida yang digunakan berasal dari Pabrik X yang berada di Cilegon. Kadar COD yang tinggi disebabkan oleh kandungan senyawa Na(COOH) dalam limbah cair tersebut. Penurunan kadar COD telah dilakukan dengan penambahan NaOCl sebesar 10 gram/jam pada pH 2, namun hasilnya belum memenuhi persyaratan. Variasi pH yang digunakan yaitu 2, 5, dan 8 dengan dosis NaOCl sebesar 10; 20; 30; 40; dan 50 gram/jam dengan laju alir limbah cair yang diolah di unit pengolahan limbah sebesar 20 m³/jam. Hasil terbaik diperoleh pada pH 5 dengan dosis NaOCl 40 dan 50 gram/jam karena dapat menurunkan kadar COD dari 1034 hingga 190 dan 130 ppm (efisiensi penurunan 81,6 dan 87,4%). Kadar klor bebasnya sebesar 0,8 dan 1 ppm, yang telah memenuhi nilai baku mutu sesuai peraturan pemerintah.

Kata Kunci: COD, klor bebas, NaOCl, pH, vinil klorida

Abstract

Liquid waste from the production of vinyl chloride monomer contains high Chemical Oxygen Demand (COD) around 1000 ppm and Biological Oxygen Demand (BOD) around 500 ppm. However, the value of standard quality of wastewater discharged into water is below 250 ppm for COD and 100 ppm for BOD as in the Environmental Ministry regulation of No. 10 in 2006. This research aims to determine the effect of pH and NaOCl dose on the reduction of COD and free chlorine content. Liquid waste from vinyl chloride monomer production is from Factory X located in Cilegon. High COD content is caused by Na(COOH) compound content in the liquid waste. The reduction of COD content is carried out by the addition of 10 gram/h NaOCl at pH 2; however, the result does not fulfill the requirement. The various pHs used are 2, 5, and 8 with the NaOCl doses of 10, 20, 30, 40, and 50 gram/h and liquid waste flow rate treated in the wastewater treatment unit of 20 m³/h. The best results is obtained at pH 5 with NaOCl dose of 40 and 50 gram/h because it can reduce the COD content from 1034 to 190 and 130 ppm (removal efficiency were 81.6 and 87.4%). The free chlorine contents are 0.8 and 1 ppm, respectively, and fulfills the quality standard value as in government regulation.

Keywords: COD, free chlorine, NaOCl, pH, vinyl chloride

1. Pendahuluan

Pertumbuhan industri kimia di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Pertumbuhan ini dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat, namun di sisi lain juga bisa menimbulkan masalah pencemaran lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak diolah dengan baik. Proses distilasi *crude ethylene dichloride* (EDC) pada pabrik monomer vinil klorida di Cilegon

menghasilkan hasil atas berupa EDC dengan kemurnian 99,9% dan hasil bawah berupa limbah cair dengan kandungan COD sekitar 900–1100 ppm. Kandungan COD yang tinggi disebabkan oleh adanya senyawa organik NaCOOH yang berasal dari reaksi samping pada pembentukan EDC. Disamping itu, NaCOOH juga bisa bereaksi dengan oksigen sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut atau *Dissolved Oxygen/DO* (Dhira dkk., 2012) dan

kondisi ini sangat dihindari karena dapat mematikan biota dalam air. Kandungan COD yang tinggi juga menyebabkan kandungan BOD yang tinggi. Oleh sebab itu, limbah ini harus diolah di bagian *Waste Water Treatment*.

Secara umum, pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu cara fisika, kimia, biologi dan bahkan kombinasi di antara tiga proses tersebut. Cara fisika dan biologi jarang mencapai hasil yang diinginkan (Thasilu dan Karthikeyan, 2016). *Advance oxidation process* dengan menggunakan NaOCl sebagai oksidator merupakan proses alternatif pengolahan limbah yang sangat efisien (Thasilu dan Karthikeyan, 2016; Lalwani dan Devadasan, 2013). Pada dasarnya proses kimiawi lebih dipilih dibandingkan dengan proses biologi karena proses pengolahan ini lebih cepat dan biaya investasi yang lebih rendah (Rahardjo, 2012). Untuk proses kimia diperlukan suatu zat yang dapat mengoksidasi kontaminan yang ada di dalam limbah. Salah satu oksidator senyawa kontaminan organik adalah HOCl, yang berfungsi sebagai oksidator (Komala dan Yanarosanti, 2014). Zat ini (HOCl) diperoleh dari reaksi antara NaOCl dengan air (Jain dan Khambete, 2013). Selain itu, klor juga bisa diambil dari bahan kaporit/kalsium hipoklorit (CaOCl) (Behin dkk., 2017; Lestari dkk., 2008). Kadar CaOCl atau NaOCl yang ditambahkan harus tepat agar tidak terjadi akumulasi zat klor. Zat klor di dalam air limbah dapat mereduksi beberapa zat kimia yang menyebabkan turunnya nilai DO (Mulyani, 2012). Selain kadar CaOCl/NaOCl, tingkat keasaman (pH) juga harus diperhatikan dalam pengolahan air limbah (Said, 2009; Muhammad dkk., 2008; Zou dkk., 2017; Tosik dkk., 2004; Karaouglu dan Ulugurlu, 2010). Hal ini dikarenakan pH juga menjadi salah satu syarat keberhasilan proses pengolahan limbah disamping dosis Ca/NaOCl yang ditambahkan (Lestari dkk., 2008). Dalam oksidasi zat organik di dalam limbah, apabila kondisi pH tidak tepat maka klor yang bereaksi dengan zat organik hanya sedikit sehingga penurunan COD tidak maksimal. Berdasarkan beberapa penelusuran pustaka, penurunan COD dengan penambahan oksidator NaOCl sudah dilakukan, namun masih terbatas pada limbah tapioka, tekstil, farmasi, dan limbah yang berwarna. Penurunan kadar COD dengan penambahan NaOCl yang disebabkan adanya NaCOOH dalam limbah belum pernah dilakukan dan dibahas secara detail. Oleh sebab itu, pabrik petrokimia ini menggunakan NaOCl sebagai sumber klor untuk mengoksidasi zat organik yang ada di dalam

limbah. Disamping itu, NaOCl merupakan produk samping dari pabrik petrokimia tersebut. Zat NaOCl ini diperoleh dari reaksi NaOH dengan excess Cl_2 pada reaksi pembentukan monomer vinil klorida. Selain sebagai oksidator, klor juga dikenal sebagai desinfektan sehingga penambahan NaOCl selain bisa menurunkan nilai COD juga secara simultan bisa membunuh bakteri.

Selama ini, proses yang dilakukan untuk menurunkan COD di pabrik VCM adalah pada kondisi pH reaksi 2 dan kadar NaOCl sebesar 10 gram/jam. Namun hasil keluaran nilai COD masih di atas nilai yang disyaratkan. Sesuai dengan Permen LH nomor 10 tahun 2006, hasil buangan limbah harus memiliki antara lain kadar maksimal COD 250 ppm serta klor bebasnya 1 ppm. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh pH (divariasikan pada nilai 2; 5; dan 8) dan dosis NaOCl (divariasikan pada nilai 10; 20; 30; 40; dan 50 gram/jam) terhadap penurunan COD dan kadar klor bebas sehingga memenuhi baku mutu serta didapatkannya nilai pH dan dosis NaOCl yang optimal. Dosis NaOCl dan nilai pH harus tepat agar penurunan kadar COD maksimal tanpa menambah kadar klor bebas melebihi ambang batas. Sedangkan untuk persyaratan lain dari air buangan limbah yang harus disesuaikan dengan Permen Lingkungan Hidup nomor 10 tahun 2006 seperti nilai BOD, *Total Suspended Solid (TSS)*, kadar Cu serta pH hanya diukur pada kondisi awal dan akhir proses untuk nilai pH dan dosis NaOCl yang optimal.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah: limbah pabrik monomer vinil klorida yang berasal dari hasil bawah distilasi *crude EDC*, NaOCl 10%, HCl 33%, NaOH 20%, $Na_2S_2O_3$ 25%, *ortho tolidine* (C_7H_9N) 0,14% sebagai bahan untuk mengetahui kadar klor bebas, larutan *buffer phosphate* dan larutan *potassium chromate* (K_2CrO_4)-*potassium dichromate* ($K_2Cr_2O_7$) sebagai bahan baku dalam pembuatan deret standar klor, asam asetat (CH_3COOH) 1:1, larutan KI 10%, indikator kanji 1%, padatan merkuri sulfat ($HgSO_4$), larutan standar *ferro ammonium sulfate* ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0,025 N, indikator *ferroin* ($C_{36}H_{24}FeN_6O_4S$), larutan perak sulfat dalam asam sulfat ($Ag_2SO_4 \cdot H_2SO_4$), larutan kalium dikromat $K_2Cr_2O_7$ 0,1N, larutan *bioseed* (mengandung makro nutrient N, P, serta mikroba), HNO_3 , serta air demin. Asam asetat 1:1 dibuat

dengan mengencerkan asam astatat glasial (pekat) dengan air pada perbandingan volume 1:1. Bahan-bahan tersebut dibeli dari Merck dan Sigma Aldrich. Beberapa zat kimia merupakan produksi pabrik petrokimia tersebut adalah NaOCl 10%, HCl 33%, NaOH 20% dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 25%. Penurunan COD dari limbah dilakukan dalam tiga buah reaktor (reaktor pengaturan pH, reaktor klorinasi, dan reaktor netralisasi) dengan volume 9.420 L untuk reaktor pengaturan pH dan klorinasi dan 14.700 L untuk reaktor netralisasi. Setiap reaktor dilengkapi dengan *mixer* dengan kecepatan putaran 500 rpm, *pH meter* (Orion Star A 121) dan untuk pengukur kecepatan aliran digunakan *flow meter indicator*. Reaktor dibeli dari PT Kurita Indonesia, sedangkan alat instrumentasi seperti *pH meter*, *flow meter* dibeli dari PT Yokogawa Indonesia.

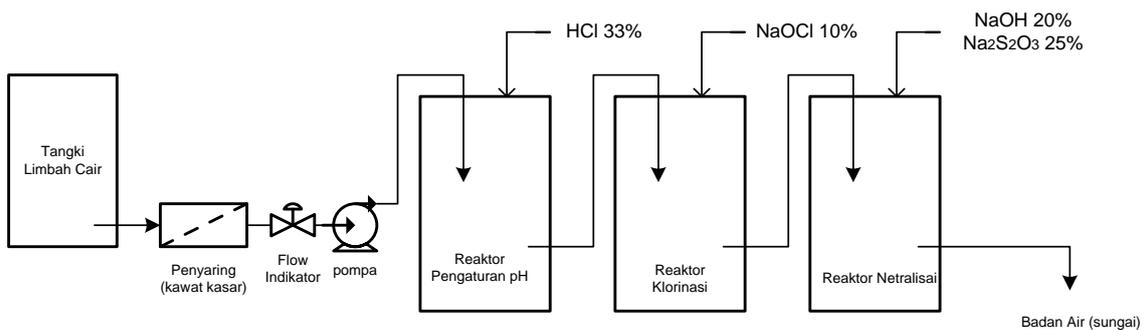
2.2. Prosedur

Sebelum dan sesudah penelitian, dilakukan pengukuran terhadap nilai COD, kadar klor bebas untuk setiap variasi pH dan dosis NaOCl, sedangkan nilai BOD, TSS dan kadar tembaga (Cu) diukur pada pH dan dosis NaOCl yang optimal dari hasil penelitian. Nilai ini digunakan untuk mengetahui keberhasilan proses dan parameter buangan limbah yang harus sesuai persyaratan baku mutu air limbah bagi industri vinil klorida monomer. Pertama-tama, limbah cair dengan kecepatan $20 \text{ m}^3/\text{jam}$ (diatur dengan menggunakan kontrol *valve*) dilewatkan dalam saringan dan selanjutnya dialirkan secara kontinyu ke dalam reaktor pengaturan pH dengan memvariasikan pH (2; 5; dan 8) menggunakan larutan HCl 33%. Keluaran dari reaktor pengaturan pH, limbah akan dimasukkan dalam reaktor penurunan COD (reaktor klorinasi) dengan memvariasikan dosis NaOCl 10% (10; 20; 30; 40; dan 50

gram/jam) dengan cara mengatur laju alir larutan NaOCl antara $0,1-0,5 \text{ m}^3/\text{jam}$. Setelah proses klorinasi berlangsung, limbah dinetralkan di reaktor ketiga menggunakan NaOH 20% dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 25% agar air buangan sesuai dengan baku mutu lingkungan yang disyaratkan. Pengukuran nilai COD akhir dan parameter lain dilakukan setelah cairan keluar dari reaktor netralisasi. Skema alat pengolahan limbah ini bisa dilihat pada Gambar 1.

2.3. Analisis Parameter

Analisis kadar COD dilakukan di laboratorium *quality assurance* dengan metode *microwave* menggunakan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebagai oksidatornya. Oksidasi dalam keadaan asam dilakukan pada temperatur tinggi atau saat mendidih. Sisa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dititrasi menggunakan larutan standar FAS ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, *ferro ammonium sulphate*) 0,025 N dengan penambahan katalis 7 mL $\text{Ag}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ dalam 100 mL sampel uji dan indikator *ferroin* sampai larutan berwarna merah bata (SNI 6989.73:2009). Larutan standar FAS 0,025 N dibuat dengan melarutkan padatan FAS dengan aquades dan sedikit penambahan H_2SO_4 . Analisis kadar klor bebas pada limbah cair ini dilakukan dengan mencampur larutan *o-tolidine* 0,14% 5 mL dengan 10 mL sampel uji dan air demin sampai mencapai volume 50 mL. Larutan ini kemudian ditutup dan dikocok sampai terjadi pencampuran sempurna. Larutan didiamkan selama 5 menit dalam ruang gelap dan kemudian dibandingkan warna yang muncul dengan deret warna standar yang ada berdasarkan JIS K 0102: 2016 (33.1). Sedangkan pengukuran BOD, TSS, kadar Cu serta pH dilakukan di awal dan akhir proses pada kondisi optimal proses (berdasarkan SNI 6989.72:2009; SNI 06.6989.3:2004; dan SNI 6989.6:2009).



Gambar 1. Skema alat pengolahan limbah pada pabrik monomer vinil klorida

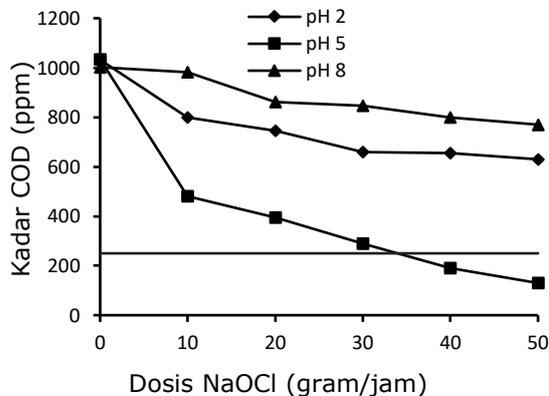
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh pH dan Dosis NaOCl terhadap Penurunan Kadar COD

Hasil pengukuran terhadap nilai COD awal dari limbah pabrik vinil klorida yang diukur selama 15 hari adalah berkisar antara 944–1.062 ppm dengan kadar klor bebas lebih kecil dari 0,1– 0,4 ppm, seperti terlihat pada Tabel 1. Sedangkan nilai kondisi awal (pada saat nilai COD 1033,9 ppm) dari parameter lain adalah BOD 465 ppm; TSS 59 ppm; kadar Cu 0,07 ppm serta pH nya 9,4. Hasil nilai COD dan BOD awal ini melebihi baku mutu yang diijinkan, namun kadar klor bebas, TSS, Cu sudah memenuhi baku mutu. Penambahan NaOCl bertujuan untuk menurunkan nilai COD maupun BOD, namun apabila dosis penambahan ini tidak optimal maka akan mengakibatkan kadar klor bebas yang melebihi baku mutu.

Tabel 1. Kadar COD dan klor bebas mula-mula

| Hari ke. | COD (ppm) | Klor Bebas (ppm) |
|----------|-----------|------------------|
| 1 | 1045,9 | 0,1 |
| 2 | 1031,9 | 0,1 |
| 3 | 985,9 | < 0,1 |
| 4 | 1061,9 | < 0,1 |
| 5 | 1033,9 | 0,1 |
| 6 | 1059,9 | 0,1 |
| 7 | 1055,9 | < 0,1 |
| 8 | 961,9 | < 0,1 |
| 9 | 1081,9 | 0,1 |
| 10 | 1009,9 | 0,4 |
| 11 | 987,9 | < 0,1 |
| 12 | 943,9 | < 0,1 |
| 13 | 1051,9 | 0,4 |
| 14 | 1027,9 | 0,1 |
| 15 | 999,9 | 0,1 |

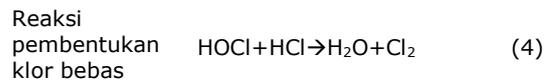
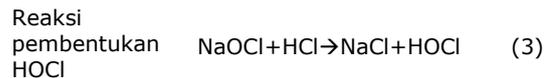
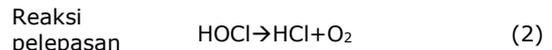
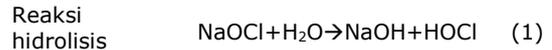


Gambar 2. Pengaruh pH dan dosis NaOCl terhadap penurunan kadar COD

Penurunan nilai COD dan kadar klor bebas dengan variasi pH dan dosis penambahan NaOCl bisa dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa penurunan COD dipengaruhi oleh nilai pH dan dosis NaOCl dan ini juga dilaporkan oleh beberapa peneliti lain (Dhira dkk., 2012; Said, 2009; Muhammad dkk., 2008; Zou dkk., 2017; Tosik dkk., 2004; Karaouglu dan Ulugurlu, 2010). Nilai COD awal dari penelitian ini adalah 1032; 1034; dan 1002 ppm pada kondisi pH berturut turut 2, 5, dan 8. Berdasarkan Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak NaOCl yang ditambahkan semakin turun nilai COD karena semakin banyak HOCl yang digunakan untuk mengoksidasi limbah dan pH terbaik adalah 5 karena memberikan penurunan COD paling besar.

Nilai COD akhir dengan dosis penambahan 50 gram/jam NaOCl adalah 630; 130; dan 770 ppm untuk kondisi pH berturut-turut 2, 5, dan 8 dengan persentase penurunan COD adalah 39,0; 87,4; dan 23,2%. NaOCl merupakan senyawa yang digunakan untuk desinfektan dalam suatu pengolahan limbah cair yang bisa juga mendegradasi atau mengoksidasi senyawa kimia sehingga dapat menurunkan nilai COD dengan mekanisme reaksi sebagai berikut:



Pengaturan pH yang tepat dapat mendorong reaksi degradasi bergeser ke kanan dan menurut Behin dkk. (2017) pengaruh pH memberikan kontribusi sebesar 47,47% untuk menurunkan COD. Konsentrasi HOCl yang terbentuk dari Persamaan Reaksi 3 akan meningkat pada nilai pH 5–6, dimana HOCl ini akan mengoksidasi senyawa organik NaCOOH yang ada dalam limbah. Berdasarkan Gambar 2, penurunan COD terbaik terjadi pada pH 5 karena mampu menurunkan COD di bawah baku mutu yang diijinkan. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Rana dan Suresh (2007), pH yang baik untuk menurunkan COD tanpa menggunakan koagulan yaitu pH 4–6 dengan maksimal penurunan sebesar 40,4%. Sedangkan Behin dkk. (2017) melaporkan bahwa pada pH tersebut terjadi penurunan COD sampai 76%. Dhira dkk. (2012) juga melakukan penelitian penurunan COD pada limbah tekstil

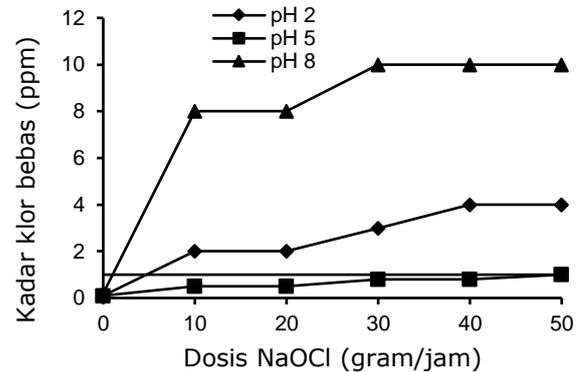
menggunakan NaOCl, dengan pH yang baik adalah 6 dan kadar NaOCl sebesar 120 ppm. Berdasarkan Gambar 2, didapatkan nilai COD lebih tinggi dari 250 ppm pada pH 2 dan 8 karena klor yang ada pada pH tersebut tidak sebagai HOCl tetapi sebagai Cl₂ dan OCl⁻ yang kurang kuat dalam mengoksidasi senyawa organik NaCOOH yang ada (Rahardjo, 2012). Akibatnya, kadar klor bebasnya tinggi dan penurunan COD yang rendah sehingga tidak memenuhi baku mutu. Namun pada pH 5, penurunan COD lebih tinggi dari pH 2 dan 8 karena pada pH 5 klor yang ada sebagai HOCl dapat mengoksidasi senyawa organik NaCOOH secara maksimal, diindikasikan dengan penurunan COD yang tinggi.

Pada pH 5 dengan dosis NaOCl 40 dan 50 gram/jam, didapatkan kadar COD sebesar 190 dan 130 ppm (terjadi penurunan sebesar 81,6% dan 87,4%) dan kadar COD ini di bawah standar baku mutu (250 ppm) yang diijinkan oleh pemerintah. Dengan kata lain, pada dosis tersebut jumlah NaOCl yang ditambahkan sesuai stoikiometri reaksi oksidasi NaCOOH dengan HOCl. Asam hipoklorit (HOCl) dapat terbentuk selama hidrolisis seperti pada Persamaan Reaksi 1. Pada Persamaan Reaksi 2 terjadi reaksi pelepasan atom oksigen karena asam yang terbentuk selama reaksi hidrolisis tidak stabil dan mudah terurai. Akan tetapi, selama HOCl yang dibutuhkan tercukupi, proses degradasi tetap akan berjalan meskipun konsentrasi NaOCl tidak terlalu tinggi.

3.2. Pengaruh pH dan Dosis NaOCl terhadap Kadar Klor Bebas

Gambar 3 menunjukkan pengaruh pH dan dosis NaOCl terhadap kadar klor bebas. Semakin banyak NaOCl yang diberikan, semakin besar juga kandungan klor bebas yang dihasilkan. Reaktivitas dari klor sangat dipengaruhi oleh pH reaksi (Deborde dan Gunten, 2008). Pada pH 5–6, reaksi bergeser ke kanan yang akan meningkatkan konsentrasi HOCl seperti terlihat pada Persamaan Reaksi 3. Berdasarkan Gambar 3, pH yang terbaik untuk pengolahan limbah adalah pH 5 karena kadar klor bebasnya di bawah baku mutu yang diijinkan. Diketahui bahwa pada pH 2 (penambahan asam yang berlebih) akan menyebabkan penurunan konsentrasi HOCl, karena HOCl yang terbentuk pada Persamaan Reaksi 3 terdekomposisi dan membentuk klor bebas (Persamaan Reaksi 4). Sedangkan pada pH 8, HOCl terurai membentuk OCl⁻ yang tidak stabil, cenderung tidak dapat mengoksidasi senyawa organik dan keluar sebagai klor

bebas seperti pada Persamaan Reaksi 5 (Kukui dkk., 2010; Panasenko dkk., 2013).



Gambar 3. Pengaruh pH dan dosis NaOCl terhadap kadar klor bebas

Nilai akhir dari parameter yang lain seperti BOD, TSS, kadar Cu dan pH hanya diukur pada kondisi optimal proses (pada kondisi pH 5 dengan konsentrasi NaOCl 40 gram/jam) dan ini sudah memenuhi baku mutu buangan pabrik vinil klorida monomer sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 10 tahun 2006 seperti terlihat pada Tabel 2 berikut. Turunnya nilai BOD dikarenakan beberapa kontaminan sudah teroksidasi dengan penambahan NaOCl menjadi produk akhir berupa CO₂ dan H₂O. Secara umum apabila kadar COD turun maka kadar BOD juga turun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai BOD dari sekitar 500 ppm yaitu tepatnya 465 ppm menjadi 65 ppm (efisiensi penurunannya 86%). Nilai ini sudah memenuhi baku mutu.

Tabel 2. Karakteristik limbah sesuai Permen Lingkungan Hidup No. 10 tahun 2006

| Parameter | Awal | Akhir | Permen |
|------------------|------|-------|--------|
| COD (ppm) | 1034 | 190 | 250 |
| Klor bebas (ppm) | 0,1 | 0,8 | 1 |
| BOD (ppm) | 465 | 65 | 100 |
| TSS (ppm) | 59 | 54 | 100 |
| Tembaga (ppm) | 0,07 | 0,05 | 2 |
| pH | 9,4 | 7,1 | 6–9 |

4. Kesimpulan

Nilai pH dan konsentrasi NaOCl yang ditambahkan berpengaruh terhadap penurunan COD (yang secara simultan juga menurunkan BOD) dan kadar klor bebas secara signifikan pada pengolahan limbah pabrik monomer vinil klorida. Hasil yang terbaik didapatkan pada pH 5 dan konsentrasi NaOCl 40 dan 50 gram/jam. Pada konsentrasi NaOCl 40 gram/jam penurunan COD sebesar

81,6% (dari 1034 menjadi 190 ppm) dengan kadar klor bebas 0,8 ppm. Sedangkan penambahan 50 gram/jam NaOCl, terjadi penurunan COD sebesar 87,4% (dari 1034 menjadi 130 ppm) dengan kadar klor bebasnya 1 ppm. Oleh sebab itu dosis yang paling tepat adalah 40 gram/jam NaOCl pada pH 5 karena hasil akhir COD, kandungan klor bebasnya sesuai dengan baku mutu yang diijinkan oleh pemerintah. Sedangkan parameter lain seperti kandungan BOD, TSS, Cu serta pH juga sudah memenuhi baku mutu.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Penerapan Teknologi (LPKT) Institut Teknologi Indonesia dan Pabrik monomer vinil klorida di Cilegon atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional (2009a) *SNI 6989-6:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 6: Cara Uji Tembaga (Cu) secara Spektrometri Serapan Atom (SSA)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (2009b) *SNI 6989-72:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (2009c) *SNI 6989-73:2009 Air dan Air Limbah – Bagian 73: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimia (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Titrimetri*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (2004) *SNI 06-6989.3:2004 Air dan Air Limbah, Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) secara Gravimetri*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Behin, J., Akbari, A., Mahmoudi, M., Khajeh, M. (2017) Sodium hypochlorite as an alternative to hydrogen peroxide in fenton process for industrial scale, *Water Research*, 121, 120–128.
- Deborde, M. dan Gunten, U. V. (2008) Reactions of chlorine with inorganic and organic compounds during water treatment-kinetics and mechanisms: A critical review, *Water Research*, 42, 13–51.
- Dhira, A., Sharmab, S., Sudc, D., Ram, C. (2012) Studies on decolourization and COD reduction of dye effluent using advanced oxidation processes, *Chemical Engineering*, 53, 11983–11987.
- Japanese Industrial Standards Committee (2016) Residual chlorine, O-tolidine colorimetric method, *JIS K 0102 Testing Method for Industrial Water*, Japanese Industrial Standards Committee, Jepang.
- Jain, A. dan Khambete, A. (2013) Role of strong oxidants in reducing COD: case study at common effluent treatment plant vapi, Guj., India, *Proceeding of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology*, Greece, 5-7 September, CEST_0113
- Karaoglu, M. H. dan Ulgurlu, M. (2010) Studies on UV/NaOCl/TiO₂/Sep photocatalysed degradation of treeactive red 195, *Journal of Hazardous Materials*, 174, 864–871.
- Komala, P. S. dan Yanarosanti, A. (2014) Pengaruh senyawa besi dan mangan terhadap kinerja desinfeksi kaporit pada air sumur. *Prosiding SNSTL I*, Padang, 11 September, 1-8.
- Kukui, A., Roggenbuck, J., Schindler, R. N. (2010) Mechanism and rate constants for the reactions of C1 atoms with HOCl, CH₃OCl and tert-C₄H₉OCl, *Journal of Deutsche Bunsen-Gesell Schaft fur Physikalische Chemie*, 101, 281–286.
- Lalwani, P. K. dan Devadasan, M. D. (2013) Reduction of COD and BOD by oxidation: A cetp case study, *International Journal of Engineering Research and Application*, 3, 108–112.
- Lestari, D. E., Utomo, S. B., Sunarko, Virkianov (2008) Pengaruh penambahan biosida pengoksida terhadap kandungan klorin untuk pengendalian pertumbuhan mikroorganisme pada air pendingin sekunder RSG-GAS, *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, 25–26 Agustus, 561–566.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup (2006) *Peraturan Menteri Negara Lingkungan*

- Hidup Nomor 10 Tahun 2006 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Vinyl Chloride Monomer dan Poly Vinyl Chloride*, Kementerian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Muhammad, A., Shafeeq, A., Butt, M. A., Rizvi, Z. H., Chughtai, M. A., Rehman, S. (2008) Decoloration and removal of COD and BOD from raw and biotreated textile dye bath effluent through advanced oxidation process (AOPs), *Brazilian Journal of Chemical Engineer-ing*, 25, 453-459.
- Mulyani, H. (2012) Pengaruh pre-klorinasi dan pengaturan pH terhadap proses aklimatisasi dan penurunan COD pengolahan limbah cair tapioka sistem anaerobic baffled reactor, *M. S. Thesis*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Panasenko, O. M., Gorudko, I. V., Sokolov, A. V. (2013) Hypochlorous acid as a precursor of free radicals in living systems, *Biochemistry*, 78, 1466-1489.
- Rahardjo, P. N. (2012) *Teknologi Pengolahan Limbah Cair dengan Proses Kimia*, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan BPPT, Jakarta.
- Rana, S. dan Suresh, S. (2017) Comparison of different coagulants for reduction of COD from textile industry wastewater, *5th International Conference of Materials Processing and Characterization*, India, 12-13 Maret, 567-576.
- Said, M. (2009) Pengolahan air limbah laboratorium dengan menggunakan koagulan alum sulfat dan poli aluminium klorida (PAC), *Jurnal Penelitian Sains*, edisi khusus Desember, 38-43.
- Thasilu K., Khartikeyan, J. (2016) Removal of color from C.I. acid red 52 aqueous solution by NaOCl and H₂O₂ oxidation processes, *International Journal of Civil Engineering and Tecnology*, 7, 47-59.
- Tosik, R., Józwiak, A., Mitros, M. (2004) Application of oxidation process with the use of H₂O₂ and NaClO to dyes aqueous solutions. *Annales Universitatis mariaecurie, Skledowska, Lublin*, Polonia, LIX 6, 58-66.
- Zou, J., Peng, X., Li, M., Xiong, Y., Wang, B., Dong, F., Wang, B. (2017) Electrochemical oxidation of COD from real textile waste waters: kinetic study and energy consumption, *Chemosphere*, 171, 322-228.