

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR ZAT WARNA JENIS *INDIGOSOL BLUE (C.I VAT BLUE 4)* SEBAGAI HASIL PRODUKSI KAIN BATIK MENGGUNAKAN METODE OZONASI DAN ADSORPSI ARANG AKTIF BATOK KELAPA TERHADAP PARAMETER COD DAN WARNA

Zikrina Hanifah Herfiani^{*)}, Arya Rezagama^{**)}, Muhammad Nur^{**)}
Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : zikrinahanifah@gmail.com

Abstrak

Limbah pewarna Batik memiliki struktur ikatan kimia yang kuat dan tergolong limbah non-biodegradable. Selain itu intensitas warna yang tinggi akan berpengaruh pada estetika dan menghasilkan bau yang tidak sedap. Limbah cair zat warna batik yang diteliti merupakan limbah artifisial yang dibuat berdasarkan banyaknya penggunaan zat pewarna sintesis di kawasan industri batik rumah tangga Kelurahan Jenggot, Kota Pekalongan dengan nilai adsorbansi warna awal sebesar 3,894. Pada penelitian ini telah diuji kemampuan arang aktif batok kelapa sebagai adsorban mendegradasi warna. Percobaan adsorpsi secara batch dengan ukuran mesh 8 dan kecepatan pengadukan 60 rpm selama 3 jam dengan variasi massa arang batok sebesar 25; 50; dan 100 gram dengan variasi waktu pengolahan 15; 30; 60; 120; dan 180 menit. Dari hasil pengolahan diperoleh efisiensi removal parameter parameter warna berkisar 38 % - 40%. Proses penyerapan tiap parameter pada limbah oleh adsorben arang aktif mengikuti persamaan Langmuir dan Freundlich dengan $R > 0,9$. Metode ozonasi menggunakan variasi waktu pengolahan selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Dosis ozon juga divariasikan sebanyak 30, 60, dan 90 ppm. Flowrate diatur 5 lpm, dan pada setiap dosis ditambahkan katalis $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Efisiensi penurunan maksimal berada pada dosis ozon 60 ppm yang mencapai 32,15% pada penurunan nilai absorbansi warna. Pada metode kombinasi adsorpsi-ozonasi penurunan kadar warna secara signifikan terjadi dari waktu ozonisasi 5 menit hingga 15 menit. Didapatkan waktu optimal pada menit ke-15 dengan efisiensi pengolahan untuk parameter warna 32,77%.

Kata kunci: Limbah Batik, Indigosol Blue, Adsorpsi, Ozon, warna

Abstract

[*Color Waste Water Treatment of Indigosol Blue (C. I. Vat Blue 4) as Batik Fabric Production Results Using Ozonation and Adsorption with Active Coconut Shell on COD and Color Parameters*]. Batik dye waste water has a strong chemical bond structure and belongs to non-biodegradable. In addition, high color intensity will affect the aesthetics and produce unpleasant odors. Batik wastewater that researched in this research is an artificial waste made based on the amount of synthetic dye used in home industry batik area of Kelurahan Jenggot, Kota Pekalongan with color adsorbance value is 3,894. In this research has been tested the ability of activated coconut shell charcoal as adsorban in degrade color. Batch adsorption experiment with mesh size 8 and stirring speed of 60 rpm for 3 hours with variation of shell charcoal mass by 25; 50; And 100 grams with variation of processing time 15; 30; 60; 120; And 180 minutes. From the processing result obtained efficiency of color parameter removal range 38% - 40%. The absorption process of each parameter on waste by activated charcoal adsorbent follows Langmuir and Freundlich equations with $R > 0.9$. The ozonation method employed variations of processing time for 15, 30, 60, 90, and 120 minutes. Ozone doses are also varied by 30, 60, and 90 ppm. Flowrate is set to 5 lpm, and at each dose is added $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ catalyst. The maximum decrease efficiency was at 60 ppm ozone doses reaching 32.15% in decreasing color absorbance value. In the combination method of adsorption-ozonation decreased COD content, and color significantly occurred from the time of ozonation of 5 minutes to 15 minutes. Obtained optimal time at 15 minutes with processing efficiency for color parameters 32.77%.

Keywords : Batik dye, Indigosol Blue, Adsorption, Ozonation, COD, Color

PENDAHULUAN

Keberadaan industri tekstil di Indonesia tidak hanya dalam kategori industri skala besar dan menengah, tetapi juga dalam skala kecil bahkan skala rumah tangga (*home industry*) seperti industri batik. Artinya, bahwa pencemaran yang ditimbulkan oleh industri tersebut tidak hanya pada kawasan-kawasan industri, namun dapat juga terjadi di perkampungan atau pemukiman padat penduduk (Nugroho & Ikbal 2005). Air limbah yang dihasilkan oleh industri tekstil batik dan bahan sejenisnya disamping mengandung bahan pencemar organik yang umum dinyatakan dalam COD, BOD, TSS dan logam-logam berat, juga mengandung bahan pewarna rantai panjang yang relatif sukar diolah dengan proses biologis biasa. Perlu diolah lebih lanjut untuk mematuhi peraturan baku mutu setempat. Limbah ini dikenal sebagai salah satu yang paling sulit untuk diolah karena pewarna dan bahan kimia lainnya mempunyai sifat susah dilawan.

Pada proses pewarnaan tekstil lebih banyak menggunakan zat warna sintetik dibandingkan dengan zat warna alam karena zat warna sintetik dapat memenuhi kebutuhan skala besar, warnanya lebih bervariasi dan pemakaiannya lebih praktis (Montano García, 2007).

Indigosol Blue merupakan salah satu zat warna sintetik Antraquinon, dan memiliki ikatan molekul $-NH$ dan $C=C$. Zat warna *Indigosol Blue* ini digunakan sebagai pewarna biru pada industri pencelupan tekstil. Zat warna sintetik ini tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun fotolitik. Dengan demikian, bila air limbah tekstil yang mengandung zat

warna sintetik terbuang ke lingkungan, maka dapat bertahan lama dan mengalami akumulasi sampai pada tingkat konsentrasi tertentu dapat menimbulkan dampak negatif terhadap daya dukung lingkungan. Limbah pewarna ini memiliki struktur ikatan kimia yang kuat dan tergolong limbah *non-biodegradable*. Selain itu intensitas warna yang tinggi akan berpengaruh pada estetika dan menghasilkan bau yang tidak sedap. Maka parameter absorbansi warna adalah parameter penting yang akan diteliti pada penelitian ini.

Ozon termasuk oksidator yang ramah lingkungan dan banyak digunakan pada pengolahan air minum dan limbah. Ozon dalam air akan mengoksidasi senyawa organik dengan dua cara, yaitu oksidasi langsung dengan molekul O_3 atau dengan membentuk radikal bebas hidroksil. Radikal bebas hidroksil ini sangat reaktif dan diharapkan mampu mendegradasi molekul warna menjadi tidak berwarna dan juga mampu menurunkan kandungan bahan organik (COD) limbah (Suparno, 2010). Di kalangan kimiawan dan pakar lingkungan hidup, kelapa juga dapat didayagunakan sebagai adsorben/penyerap. Untuk polutan yang masuk ke lingkungan hidup, bagian dari sabut dan tempurung kelapa sangat potensial didayagunakan sebagai adsorben. Sehingga kombinasi ini menjadi menarik untuk diteliti dan juga adsorpsi sebagai alternatif tambahan untuk dikombinasikan dengan ozonasi yang relatif mahal dan membutuhkan energi tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hasil serta efisiensi

pengolahan terhadap parameter warna pada limbah artifisial *Indigosol Blue*.

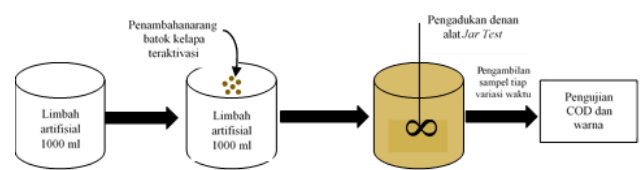
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2016 - Mei 2017. Proses pengolahan adsorpsi menggunakan media arang batok kelapa dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro dan pengolahan menggunakan ozon dilakukan di Laboratorium Plasma Jurusan Fisika Universitas Diponegoro.

Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan. Tahap persiapan yakni melakukan identifikasi permasalahan objek penelitian yaitu limbah batik, dalam hal ini dilakukan survey ke beberapa industri batik skala rumahan dan Unit Pengolahan Limbah (UPL) Batik di sekitar Kota Pekalongan. Melakukan studi literatur, penyusunan dan pengajuan proposal penelitian, serta menyiapkan alat dan bahan untuk penelitian seperti pembuatan limbah artifisial.

Tahap selanjutnya ialah tahap pelaksanaan. Urutan proses kerja yang dilakukan sebagai berikut:

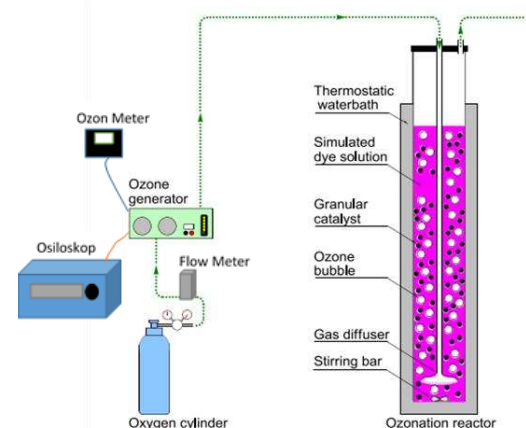
1. Uji karakteristik awal menggunakan sampel limbah batik asli dari UPL Kel. Jenggot Kota Pekalongan sesuai dengan parameter Perda Jateng No.5 Tahun 2012. Tahapan selanjutnya masuk kepada proses pengolahan.
2. Pengolahan adsorpsi dengan adsorben arang aktif batok kelapa. Terlebih dahulu arang aktif berbentuk granular diayak dengan ayakan mesh 8, kemudian diaktivasi dengan larutan HCl 1M selama 24 jam. Penentuan dosis optimum adsorben dilakukan dengan proses pengadukan kecepatan 60 rpm (Jannatin, dkk. 2008) dengan memvariasikan dosis (25g, 50g, dan 100g) pada 1000ml selama 1 jam. Kemudian diambil limbah secukupnya dengan pipet gelas ke dalam tabung. Setelah itu dilakukan analisis untuk parameter COD, warna.



Gambar 1 Skema Proses Adsorpsi

3. Pengolahan ozonasi dengan urutan sebagai berikut:

- a) Tuangkan limbah artifisial kedalam Gelas ukur 1 L, kemudian masukkan micro bubble diffuser kedalam gelas, putar katup tabung untuk mengeluarkan gas O₂, atur *flow rate* sebesar 5 lpm dan *stabilizer* untuk mencapai dosis 30 ppm, kemudian nyalakan stirer selama proses ozonasi berlangsung.
- b) Amati proses, dan ambil sampel secukupnya setiap menit ke 5, 15, 30, 60, 90 dan 120 menit kedalam botol sampel. Pengambilan sampel limbah berada $\pm 1/3$ dari volume sampel.
- c) Matikan stabilizer, stirer dan katup penutup gas O₂.
- d) Bawa sampel ke Laboratorium Teknik Lingkungan untuk diuji pH, COD, dan warna.
- e) Lakukan hal yang sama untuk dosis 60 ppm, dan 90 ppm.



Gambar 2 Skema Alat Proses Ozonasi

4. Pengolahan kombinasi adsorpsi-ozonasi. Dengan metode dan prinsip kerja yang sama namun telah memakai dosis optimum

yang telah diketahui dari masing-masing metode pengolahan. Limbah *Indigosol Blue* direaksikan dengan adsorben arang aktif dosis optimum, kemudian di ozonasi dengan dosis optimum.

Tahapan yang terakhir ialah analisis data, berupa penurunan parameter warna dan efisiensi nya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Batik

Pengujian karakteristik limbah cair batik ini dilaksanakan untuk mengetahui kadar konsentrasi pada parameter yang diuji yaitu parameter warna. Limbah yang digunakan adalah limbah Unit Pengolahan Limbah (UPL) Batik Kelurahan Jenggot, Kecamatan Pekalongan Selatan, Kota Pekalongan. Data hasil uji dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

No	Parameter	Kadar (mg/L)	Baku Mutu Perda Provinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012	Keterangan
1	BOD	498,939	60 mg/L	Diatas baku mutu
2	COD	1100	150 mg/L	Diatas baku mutu
4	Amonia NH ₃ -N	3,801	8 mg/L	Dibawah baku mutu
5	Sulfida	11,080	0,3 mg/L	Diatas baku mutu
6	Minyak dan Lemak	22	3 mg/L	Diatas baku mutu

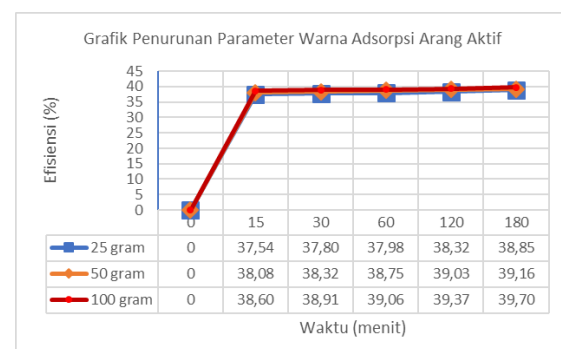
*BPIK, 2017

Dari tabel 1 diatas dapat diketahui bahwa kandungan yang memiliki nilai yang jauh melebihi baku mutu adalah COD dan BOD, sementara untuk parameter Sulfida serta

Minyak dan Lemak juga melebihi baku mutu namun tidak memiliki rentang yang jauh. Sedangkan parameter Amonia NH₃-N sudah sesuai dengan baku mutu Perda Jateng No. 5 Tahun 2012. Selain itu untuk parameter warna sendiri mengacu pada analisis absorbansi warna dengan metode spektrofotometer UV-VIS sehingga dapat diketahui nilai penurunan warna secara kuantitatif dan penglihatan visual. Karena mengacu pada hasil analisis kualitatif terhadap efluen limbah batik yang dihasilkan memiliki kepekatan warna yang tinggi sehingga dapat mengganggu estetika dan biota dari badan air atau sugai.

Pengaruh Metode Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa Terhadap Penurunan Warna

Pada penelitian ini dilakukan percobaan batch untuk mengetahui karakteristik dari adsorbat (warna) dan adsorben (arang aktif batok kelapa) untuk mengetahui hubungan antara penurunan kadar yang diinginkan dengan suatu koefisien dari persamaan yang ada. Percobaan ini dilakukan dengan alat *Jar Test* di Laboraturium Teknik Lingkungan dengan memvariasikan massa adsorben (25, 50, dan 100 gram) ukuran mesh 8 yang telah diaktivasi dengan 1M HCl. Untuk mengetahui grafik penurunan dari masing-masing variasi massa adsorben dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3 Grafik Efisiensi Penurunan Absorbansi Warna Adsorpsi

Pada gambar grafik diatas menjelaskan tentang efisiensi penurunan warna dari

masing-masing variasi dosis adsorben. Dari ke 3 variasi dosis memiliki efisiensi yang hampir sama dengan variasi lainnya. Dosis adsorben 25 gram memiliki efisiensi sebesar 38,85 %. Dosis 50 gram memiliki efisiensi sebesar 39,16 %. Dosis 100 gram memiliki efisiensi sebesar 39,70%.

Pemilihan dosis optimum didasarkan pada dosis arang aktif yang memiliki nilai efisiensi penyisihan terbesar di tiap parameter. Untuk parameter COD nilai efisiensi penyisihan terbesar didapatkan pada menit ke-120 yaitu sebesar 50,13%, dan untuk absorbansi warna sebesar 39,70%.

Penentuan Isoterm Percobaan Adsorpsi

Penentuan isoterm untuk percobaan batch dilakukan dengan variasi massa adsorben dari hasil variasi terbaik di penelitian sebelumnya untuk menentukan persamaan isoterm Freundlich, dan Langmuir. Isoterm ini digunakan untuk memprediksi kebutuhan adsorben dalam mencapai nilai konsentrasi tertentu dari adsorbat di larutan (Afifah, Maryam., dkk, 2014). Hubungan kesetimbangan antara potensial kimia adsorbat dalam cairan dan potensial kimia adsorbat di permukaan adsorben pada suhu tetap disebut isoterm adsorpsi.

Model Isoterm Freundlich

Hasil penurunan konsentrasi warna dapat digunakan untuk mencari persamaan isoterm Freundlich dengan cara menetapkan nilai Log q pada sumbu y dan nilai Log Ce pada sumbu x. Dengan persamaan:

$$q = k.Ce^{1/n} \dots\dots\dots (1)$$

$$\log x/m = \log k + 1/n \log C \dots\dots\dots (2)$$

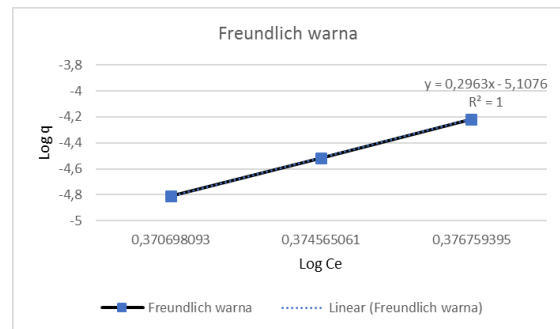
$$\log x/m = \log k + 1/n \log C \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

k=antilog dari intercept,

n = 1/slope

Grafik Freundlich dan regresi linear tiap parameter nya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 6 Grafik Untuk Menentukan Isoterm Freundlich Warna

Berdasarkan data yang terdapat di gambar grafik diatas, diperoleh persamaan linear dan koefisien determinan (R^2) untuk setiap parameter yang dicari. Nilai R^2 menunjukkan terdapat hubungan korelasi antara jumlah adsorbat yang diserap (q) dengan konsentrasi limbah (C_e).

Model Isoterm Langmuir

Hasil penurunan konsentrasi COD dan warna dapat digunakan untuk mencari persamaan isoterm Langmuir dengan cara menetapkan nilai Log 1/q pada sumbu y dan nilai Log 1/ C_e pada sumbu x. Dengan persamaan:

$$q = q_m \frac{K_{ads} \cdot C}{1 + K_{ads} \cdot C} \dots\dots\dots (3)$$

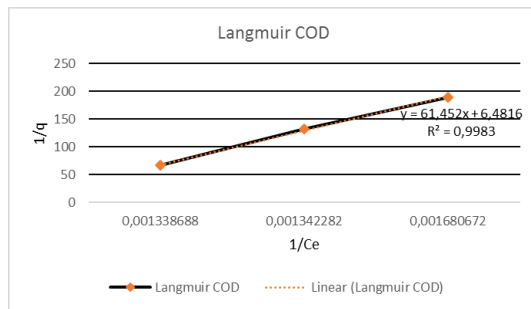
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m \cdot K_{ads}} \left(\frac{1}{C} \right) + \frac{1}{q_m} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

$$\text{Intercept} = \frac{1}{q_m} \qquad \text{Slope} = \frac{1}{q_m \cdot K_{ads}}$$

$$q_m = \frac{1}{\text{Intercept}}$$

Gambar di bawah akan menunjukkan hubungan antara nilai Log 1/q dengan Log 1/ C_e untuk menentukan persamaan Isoterm Langmuir.



Gambar 8 Grafik Untuk Menentukan Isoterm Langmuir Warna

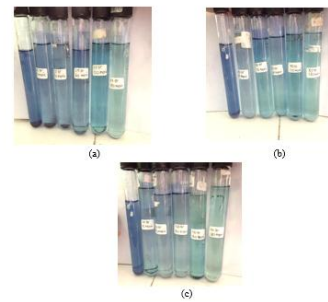
Setelah mengetahui masing-masing nilai persamaan isoterm Freundlich dan Langmuir, dapat ditentukan model adsorpsi yang sesuai untuk tiap parameter analisis yang dicari. Berikut ini adalah tabel persamaan dari masing-masing isoterm:

Tabel 3
Persamaan Isoterm Adsorpsi Parameter Warna

	Metode Isoterm	
	Freundlich	Langmuir
Persamaan	0,2963x - 5,1076	24080x - 10162
Slope	0,2963	24080
Intercept	-5,1076	-10162
R²	1	0,9961

Pada parameter warna R² tertinggi dimiliki oleh isoterm Freundlich dengan nilai 1. Adsorpsi tipe Langmuir dianggap sebagai proses adsorpsi monolayer. Kapasitas maksimum adsorpsi per unit massa adsorben ditentukan bersamaan dengan konstanta Langmuir menunjukkan afinitas zat terlarut pada adsorben. Sedangkan adsorpsi jenis Freundlich dianggap sebagai lapisan multilayer, proses di mana jumlah zat terlarut yang diadsorpsi per unit adsorben massa meningkat secara bertahap (Chung, et.al, 2015) dan permukaan adsorben bersifat heterogen.

Secara visual hasil degradasi warna dari metode adsorpsi dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 9 Dokumentasi Warna Limbah Hasil Metode Adsorpsi (a) Dosis 25 gram, (b) Dosis 50 gram, dan (c) Dosis 100 gram

Hasil Penelitian Pengaruh Metode Ozonasi Terhadap Penurunan Parameter Warna

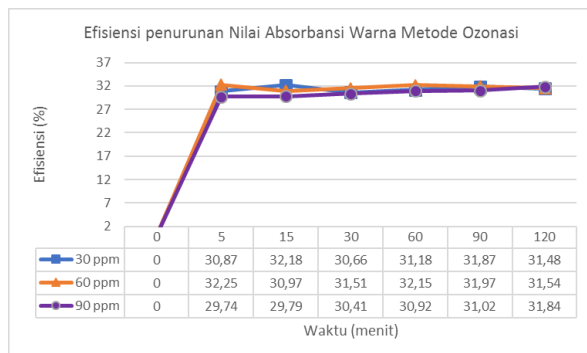
Pengolahan limbah artifisial warna batik menggunakan metode ozonasi ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyisihan parameter warna. Metode ozonasi ini juga merupakan pengolahan lanjutan sebagai tambahan dari pengolahan sebelumnya yaitu adsorpsi. Pada penelitian ini digunakan variasi waktu pengolahan selama 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Dosis ozon yang digunakan juga divariasikan sebanyak 30, 60, dan 90 ppm dengan mengatur tegangan pada pembangkit AC. Debit aliran diatur sebesar 5 lpm. Flowrate diatur sedemikian rupa agar aliran gas O₃ yang masuk ke dalam reaktor tidak terlalu cepat maupun terlalu lambat.

Ozon telah dikenal memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi dan dapat terurai menjadi O₂ tanpa menghasilkan produk sampingan. Dalam ozonasi ada dua jalur reaksi dalam air limbah, yaitu reaksi langsung dan tidak langsung (Hu et al., 2016). Prinsip reaksi langsung adalah molekul ozon dapat langsung bereaksi dengan kontaminan organik. Sedangkan pada reaksi tidak langsung, polutan organik teroksidasi oleh radikal bebas yang terbentuk dari dekomposisi O₃.

Pada penelitian ini juga digunakan katalis FeSO₄.7H₂O sebanyak 2 gram untuk mempercepat proses reaksi. Pemakaian dosis katalis FeSO₄ didasarkan pada uji

pendahuluan yang telah dilakukan dengan metode Fenton pada limbah Indigosol yang menyatakan bahwa pada variasi penambahan massa FeSO_4 dari 0,5, 1, dan 2 gram didapatkan semakin meningkat jumlah FeSO_4 yang ditambahkan, maka semakin tinggi juga efisiensi pengolahannya.

Berikut adalah tabel hasil efisiensi penyisihan tiap parameter:



Gambar 11 Grafik Penurunan Nilai Absorbansi Warna Metode Ozonasi

Berdasarkan grafik 10 dapat diketahui bahwa penyisihan konsentrasi warna dengan metode pengukuran absorbansi, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda pada setiap variasi dosis ozon. Tren pada grafik penurunan memiliki kesamaan, yakni pada 15 menit awal semua variasi dosis ozon sudah dapat menyisihkan warna sekitar 30%.

Degradasi warna yang terjadi disebabkan oleh terbentuknya radikal bebas hidroksil ($\cdot\text{OH}$). Mekanisme reaksi yang terjadi adalah:



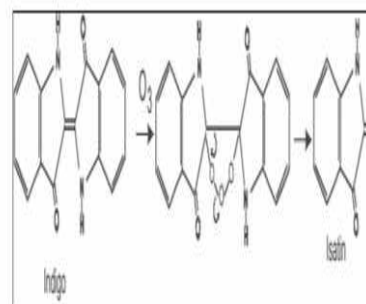
Gambar 4.15 Reaksi Ozonasi dalam Memecah Ikatan Warna Indigosol Blue (Brillas, et al. 2008)

Pengolahan limbah dengan metode Ozonasi untuk mendegradasi pewarna dapat terpengaruh dengan pH larutan (Hu et al., 2016). Pada limbah artifisial dengan pH basa merupakan pengolahan yang paling efisien. Hal ini disebabkan, efektivitas O_3 untuk

mengoksidasi komponen organik dan inorganik adalah fungsi dari temperatur dan pH. O_3 pada pH rendah ($\text{pH} < 7$), bereaksi terutama sebagai molekul O_3 yang selektif dan kadang-kadang lambat, sementara O_3 pada pH tinggi ($\text{pH} > 8$) dengan cepat terurai menjadi radikal hidroksil bebas yang bereaksi dengan cepat (Rohmah & Sugiarto, 2008). Sementara itu limbah artifisial *Indigosol Blue* memiliki pH asam yakni bernilai 3,36. pH limbah yang bersifat asam ini menyebabkan proses penguraian O_3 menjadi radikal hidroksil relatif lebih lambat.

Pemilihan dosis optimum untuk kemudian digunakan dalam proses kombinasi didasarkan pada pencapaian efisiensi maksimum. Berdasarkan grafik, efisiensi maksimal berada pada dosis ozon 60 ppm yang mencapai 35,99% pada penurunan nilai COD, dan 32,15% pada penurunan nilai absorbansi warna.

Secara visual hasil pengolahan limbah artifisial warna *Indigosol Blue* memiliki perbedaan warna dengan warna limbah asli. Berikut gambar hasil dari masing-masing variasi dosis ozon:



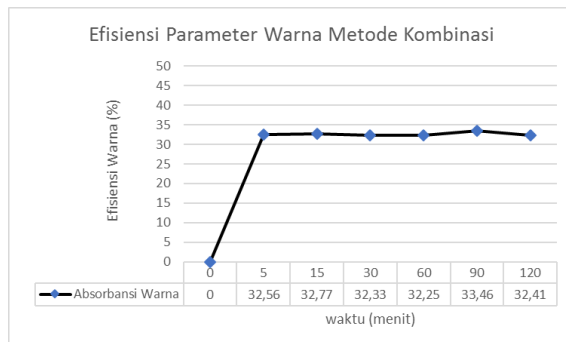
Gambar 12 Dokumentasi Warna Limbah Hasil Metode Ozonasi (a) Dosis 30 ppm, (b) Dosis 60 ppm, dan (c) Dosis 90 ppm

Hasil Penelitian Metode Kombinasi (Adsorpsi-Ozonasi)

Dari hasil penelitian adsorpsi arang aktif batok kelapa yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan hasil optimum pada dosis 100 gram selama 120 menit. Dari hasil dosis optimum adsorpsi selanjutnya dilakukan

pengolahan lanjutan menggunakan ozon. Pada pengolahan metode ozonasi, limbah yang digunakan merupakan limbah artifisial baru yang melalui proses adsorpsi langsung pada dosis optimum 100 gram. Sehingga kondisi awal pada pengolahan ozon menggunakan hasil dari adsorpsi dengan dosis optimum. Pada proses ozonasi dosis yang digunakan juga merupakan dosis optimum yang didapat dari hasil proses ozonasi sebelumnya, yaitu pada dosis 60 ppm.

Berikut merupakan grafik hasil penyisihan parameter melalui proses kombinasi:



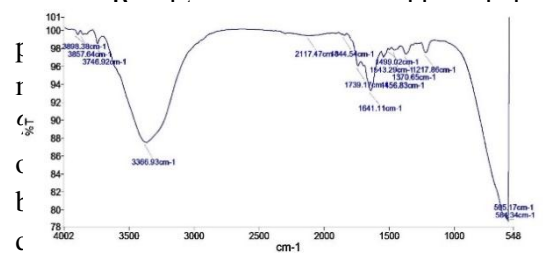
Gambar 14 Grafik Efisiensi Parameter Warna Metode Kombinasi

Terlihat penurunan warna pada 5 menit pertama telah mencapai efisiensi 32,56%. Pada menit selanjutnya hingga menit terakhir efisiensi penurunan absorbansi relatif stabil berkisar 32,25% - 32,46%. Hal ini menunjukkan kemampuan ozon dalam menguraikan zat warna tidak dapat mencapai tahap penghilangan senyawa reaktif dari warna itu sendiri di dalam limbah. Berdasarkan struktur intermediet yang teridentifikasi, alternatif yang terkait dengan generasi turunan antrakuinon, dalam hal ini jenis *Indigosol Blue* dianggap paling penting untuk waktu ozonasi singkat dalam penelitian ini (Fanchiang & Tseng, 2009).

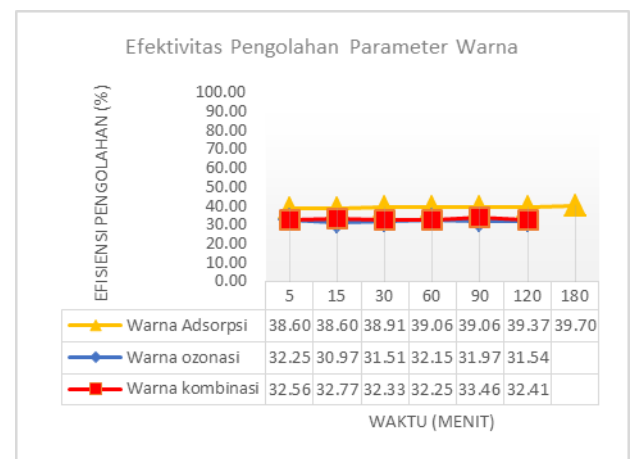
Penurunan warna secara signifikan terjadi dari waktu ozonasi 5 menit hingga 15 menit. Setelah itu penambahan waktu ozonasi relatif tidak mempengaruhi penurunan kadar warna. Hal ini karena reaksinya sudah jenuh dan ozon yang

berlebihan pada umumnya akan berubah kembali menjadi oksigen (Isyuniarto & Andrianto, 2008). Oleh karena itu dari hasil pengolahan secara kombinasi waktu ozonasi yang optimal adalah 15 menit. Dengan kondisi operasi ini kadar ke-dua parameter sudah memenuhi baku mutu yang sudah ditentukan.

Efektivitas Tiap Pengolahan untuk Menurunkan Kadar COD dan Warna



memenuhi. Maka pengolahan secara kombinasi dengan menggunakan dosis optimum adsorban, kemudian dilanjutkan dengan ozonasi dengan dosis optimum pula merupakan alternatif yang paling tepat untuk menyisihkan parameter warna hingga di bawah baku mutu. Gambar-gambar grafik di bawah ini menyajikan perbedaan tingkat efisiensi yang dapat dicapai oleh masing-masing pengolahan:

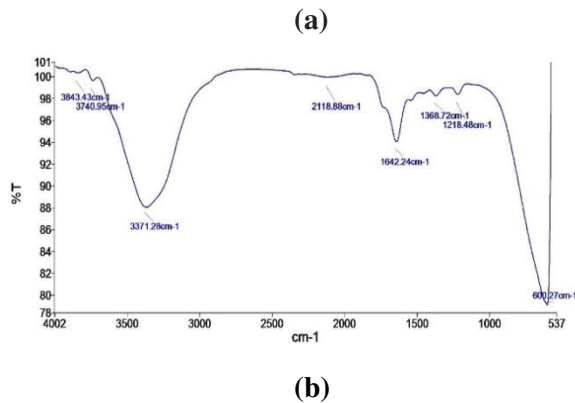


Gambar 16 Grafik Efektivitas Parameter Warna

Pengujian FTIR

Uji spektrofotometer FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi susunan gugus fungsi senyawa warna, sehingga kemudian dapat dilakukan analisa tentang pengaruh waktu dan

dosis tiap pelakuan terhadap spektrum absorbansi limbah artifisial *Indigosol Blue*. Hasil spektrofotometer infra merah menunjukkan beberapa daerah serapan sehingga dapat diidentifikasi gugus fungsi dari senyawa *Indigosol Blue*. Berikut merupakan hasil uji FTIR:



Gambar 17 (a) Hasil FTIR Limbah *Indigosol Blue* asli; (b) Hasil FTIR Setelah Dilakukan Pengolahan Kombinasi

Perubahan dan pengurangan puncak gelombang menandakan terjadinya reaksi kimia dalam proses pengolahan yang dapat merubah atau menghilangkan gugus fungsi suatu senyawa (Imtiyaz dkk., 2016). Semakin rumit struktur suatu molekul, akan terlihat banyak pita-pita absorpsi yang diperoleh pada spektrum IR (Suparno, 2010).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan dosis optimum proses adsorpsi didasarkan pada dosis arang aktif yang memiliki nilai efisiensi penyisihan terbesar di tiap parameter. Untuk parameter absorbansi warna sebesar 39,70%.
2. Pengaruh dari pengolahan metode ozonasi yang paling baik berada pada dosis 60 ppm. Pemilihan dosis optimum untuk kemudian digunakan dalam proses

kombinasi didasarkan pada pencapaian efisiensi maksimum. Berdasarkan grafik, efisiensi maksimal berada pada dosis ozon 60 ppm yang mencapai 32,15% pada penurunan nilai absorbansi warna.

3. Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi penyisihan parameter warna pada menit ke-15 efisiensi yang dicapai tertinggi sebesar 32,77% dari nilai absorbansi awal warna sebesar 3,894 menjadi 2,618. Pencapaian efisiensi ini menandakan metode adsorpsi-ozonasi dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah warna batik.

SARAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan penelitian maka hal yang disarankan pada penelitian ini adalah:

1. Pada metode adsorpsi aktivasi arang aktif harus dilakukan sebaik mungkin dengan waktu yang telah ditentukan, dan sebaiknya jangan dibiarkan terlalu lama sebelum digunakan karena dapat mengakibatkan arang aktif dapat menjadi lembap. Kadar air yang bertambah menyebabkan kurang baik pori-pori arang untuk menyerap adsorbat.
2. Pada metode ozonasi perlu dilakukan pengukuran ozon terlarut dalam lindi agar dapat diketahui seberapa banyak ozon yang bereaksi dengan polutan atau senyawa organik yang ada dalam limbah. Selain itu perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk menguji pengaruh reaksi katalis FeSO_4 dan dapat dibandingkan pula dengan ozonasi murni.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, Maryam, dkk. 2014. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya : Usaha Nasional
- Brillas, E. et. al. 2008. *Wastewaters by*



- Electrochemical Advanced Oxidation Processes Using a BDD Anode and Electrogenerated H₂O₂ with Fe(II) and UVA Light as Catalysts.* Barcelona: Universitat de Barcelona
- Chung, Hyung-Keun, et.al. 2015. *Application of Langmuir and Freundlich Isotherms to Predict Adsorbate Removal Efficiency or Required Amount of Adsorbent.* Korea: Journal of Department of Environmental Engineering, Yonsei University,
- Fanchiang, Jen-Mao & Tseng, Dyi-Hwa. 2009. *Degradation of Anthraquinone Dye C.I. Reactive Blue 19 in Aqueous Solution By Ozonation.* Taiwan: Graduate Institute of Environmental Engineering, National Central University.
- Imtiyaz, Inas, dkk. 2016. *Pengolahan BOD, COD, TSS, dan pH Pada Limbah Industri MSG Menggunakan Teknologi Advanced Oxidation Process (O₃/H₂O₂ dan Fenton).* Jurnal Teknik Lingkungan Undip.
- Isyuniarto & Andrianto. 2008. *Pengaruh Waktu Ozonisasi Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD, TSS dan Fosfat Pada Limbah Cair Rumah Sakit.* Yogyakarta: PTAPB-BATAN
- Jannatin, R.D., Razif, M. & Mursid, M., 2008. *Uji Efisiensi Removal Adsorpsi Arang Batok Kelapa Untuk Mereduksi Warna Dan Permanganat Value Dari Limbah Cair Industri Batik.* Surabaya: FTSP ITS
- Montano García, J., 2007. *Combination of Advanced Oxidation Processes and Biological Treatments for Commercial Reactive Azo Dyes Removal.* PhD Thesis: Univesitat Autònoma De Barcelona
- Nugroho, R. & Iqbal, 2005. *Pengolahan Air Limbah Berwarna Industri Tekstil Dengan Proses AOPs.* Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Rohmah, N. & Sugiarto, A.T., 2008. *Pengaruh pH Dan Konsentrasi Zat Warna Remazol Navy Blue Scarlet dengan Teknologi AOP.* LIPI, pp.38–43.
- Suparno, 2010. *Degradasi Zat Warna Indigosol Dengan Metode Oksidasi Katalitik Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi dan Ozonasi.*