

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

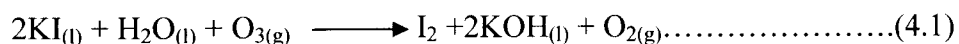
Parameter air limbah yang dianalisa dalam penelitian ini adalah kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen demand*), contoh limbah berasal dari PT. Primatexco Batang Jawa Tengah. Metode yang digunakan pada penelitian adalah pengolahan limbah industri tekstil menggunakan teknologi ozon.

Contoh limbah industri tekstil diozon dengan menggunakan alat penghasil ozon, alat penghasil ozon disebut sebagai ozonizer, konsentrasi ozon yang dihasilkan dapat diketahui, untuk mengetahui jumlah ozon yang dihasilkan oleh *ozonizer* maka dilakukan analisa untuk mengetahui berapa produksi ozon yang dihasilkan.

4.1. Analisa Untuk Menentukan Produksi Ozon

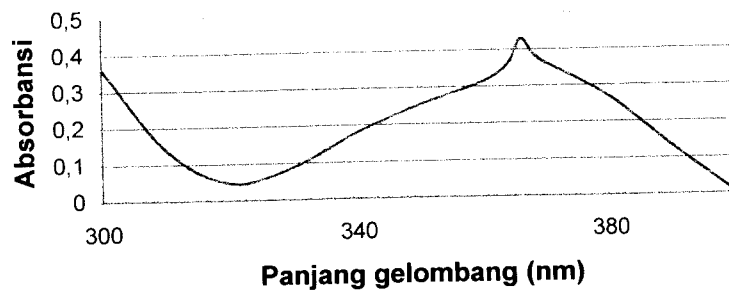
Uji coba yang telah dilakukan untuk mengidentifikasi terbentuknya gas ozon serta penentuan produksi ozon atau berat ozon yang dihasilkan persatuan waktu. Dari hasil percobaan dengan menggunakan indra penciuman terdeteksi bau khas (gas ozon) yang dihasilkan *ozonizer*. Deteksi secara visual terlihat dengan tampak perubahan warna dari larutan Kalium Iodida (KI) yang semula berwarna jernih menjadi kuning (warna I_2), setelah dikontaminasi dengan gas ozon yang dihasilkan *ozonizer*, I_2 yang dihasilkan sebanding dengan ozon yang terdeteksi.

Hal ini berarti bahwa gas yang masuk ke dalam tabung ozonizer telah diubah menjadi gas ozon, adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



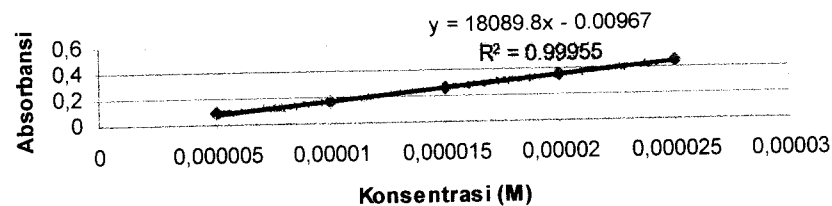
Bedasarkan reaksi di atas, maka dapat ditentukan konsentrasi ozon yang dihasilkan *ozonizer*. Dari persamaan reaksi diatas terlihat bahwa 1 gram molekul I_2 dibebaskan oleh 1 gram molekul O_3 , sehingga dengan menggunakan larutan penyerap standar I_2 untuk menyerap gas ozon maka dapat ditentukan konsentrasi gas ozon (O_3) yang dihasilkan *ozonizer*. Untuk mengetahui produksi ozon diperlukan bantuan grafik standar, grafik standar tersebut menyatakan hubungan antara konsentrasi I_2 terhadap harga absorbansi, grafik standar dapat dibuat dengan cara memvariasi konsentrasi larutan penyerap terlebih dahulu, kemudian diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer UV-*Visibel*, dilakukan pada panjang gelombang maksimum agar serapan yang diperoleh maksimum. Karena absorbansi dari larutan penyerap yang telah terkontaminasi gas ozon dapat terukur dengan alat spektrofotometer maka konsentrasi ozon dapat ditentukan langsung dengan cara membandingkan pada grafik standar.

Panjang gelombang maksimum larutan yang diperoleh pada 366 nm dengan serapan sebesar 0,43016 seperti yang terlihat pada gambar. 4.1.



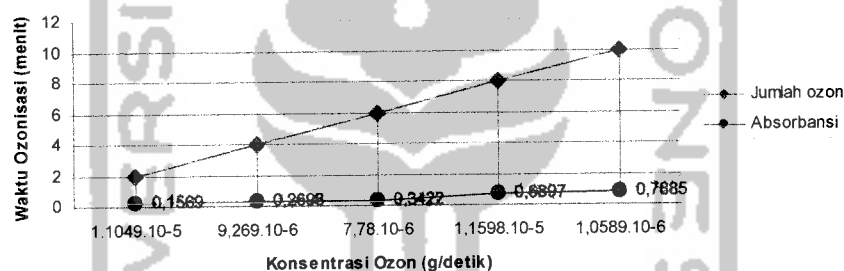
Gambar 4.1. Grafik Spektrum Absorbansi I₂

Kurva standar I₂ dibuat dengan menggunakan serapan larutan standar I₂ pada panjang gelombang maksimum, yaitu 352 nm dengan variasi konsentrasi untuk memperoleh persamaan linier. Persamaan linier yang diperoleh dari hubungan konsentrasi dan absorbansi larutan I₂ adalah $Y=18089.8x - 0,00967$ dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,99955, harga koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa harga dua buah variabel yaitu harga konsentrasi ekuivalen dengan harga absorbansinya, sesuai dengan persamaan 4.1 yang menunjukkan bahwa 1 mol I₂ ekuivalen dengan 1 mol ozon (O₃) yang bereaksi. Secara jelas dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar. 4.2. Kurva Kalibrasi Larutan Standar I₂

Waktu ozonisasi berpengaruh terhadap konsentrasi I_2 yang terbentuk karena adanya oksidasi I^- menjadi I_2 oleh ozon. Oleh karena itu konsentrasi I_2 semakin tinggi jika waktu ozonisasi semakin lama. Fenomena tersebut terdeteksi dengan terlihatnya warna larutan yang bertambah pekat seiring dengan lamanya waktu ozonisasi, sehingga absorbansi yang terjadi semakin tinggi. Hubungan waktu produksi ozon dengan kenaikan konsentrasi I_2 ditunjukkan pada gambar 4.3 Perhitungan yang dilakukan bahwa jumlah ozon yang dihasilkan oleh ozonizer yang memiliki daya 100 watt adalah 0,2 miligram per detik.

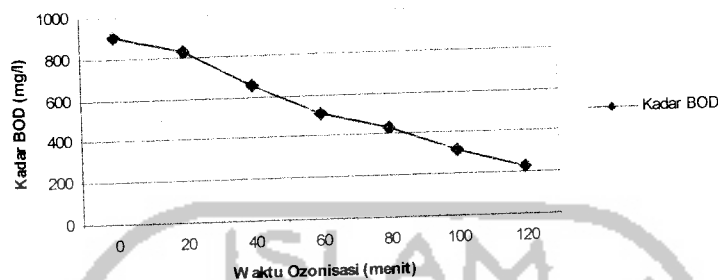


Gambar. 4.3. Grafik Perhitungan Jumlah Ozon

4.2. Hasil Analisa Kadar BOD

Dari hasil analisa dapat diketahui bahwa, proses ozonisasi yang dengan variasi waktu tertentu dapat menghasilkan hasil yang berbeda pula, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.4 dibawah ini, dari gambar dapat diketahui bahwa penurunan kadar BOD menunjukkan hasil yang cukup baik, berturut-turut penurunan sesuai dengan waktu ozonisasi 0 menit, 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit, dan 120 menit yaitu 901 mg/L, 830 mg/L, 656 mg/L, 514

mg/L, 429 mg/L, 320 mg/L, dan 232 mg/L. data tersebut dapat menyimpulkan bahwa penurunan kadar BOD sangat dipengaruhi waktu ozonisasi.



Gambar 4.4 Grafik penurunan kadar BOD limbah cair industri tekstil PT. Primatexco.

Penurunan kadar BOD disebabkan oleh terjadinya berbagai macam proses reaksi senyawa-senyawa organik dengan ozon (O_3) (Basuki, Kris T, 2003), berbagai macam reaksi yang disebabkan oleh ozon (O_3) dapat dilihat pada halaman 31 klausul 2.7 tentang degradasi senyawa-senyawa organik oleh ozon.

Proses reaksi senyawa organik dengan ozon (O_3) yang terjadi menghasilkan Karbon Monoksida (CO) dan Air (H_2O), (Basuki, Kris T, 2003), hal ini berdampak berkurangnya proses degradasi senyawa organik secara biologis oleh mikroba, pada penelitian diketahui bahwa telah terjadi penurunan kadar BOD yang sangat signifikan, sehingga penurunan tersebut dapat dijadikan sebagai indikator bahwa senyawa organik dalam limbah terdegradasi telah terdegradasi dari senyawa yang kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Dari data penelitian dapat diketahui bahwa ozon memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar BOD yang cukup tinggi. Pada waktu ozonisasi 120 menit terjadi penurunan kadar BOD dari BOD awal 901 mg/L menjadi 232 mg/L,

efisiensi penurunan BOD mencapai 74,25 %, dengan efisiensi sebesar itu dapat membuktikan bahwa ozon cukup efektif untuk menurunkan kadar BOD limbah tekstil PT. Primatexco.

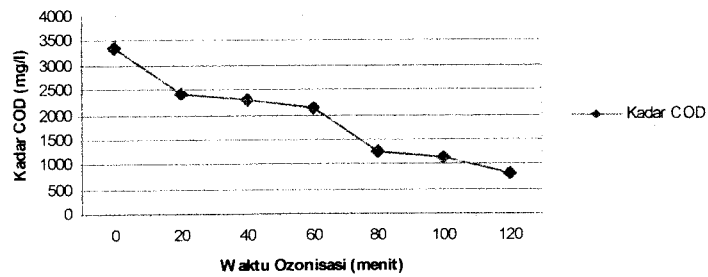
4.3. Hasil Analisa Kadar COD

Sebelum dilakukan ozonisasi kadar COD awal limbah cukup tinggi yaitu 3352 mg/L, pada gambar 4.5 dapat dilihat penurunan kadar COD yang cukup tinggi meskipun tidak sesuai dengan Baku Mutu Limbah Cair SK Gubernur KDH. TK I Jateng No : 660.1/02/1997, yang mensyaratkan kadar COD maksimum harus mencapai 150 mg/L.

Penurunan kadar COD pada waktu ozonisasi 0 menit, 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit dan 120 menit yaitu 3352 mg/L, 2429 mg/L, 2322 mg/L, 2122 mg/L, 1245 mg/L, 1119 mg/L, dan 811 mg/L.

Menurut pengertian COD merupakan banyaknya kebutuhan oksigen untuk proses reaksi senyawa-seyawa organik secara kimiawi. Banyaknya reaksi-reaksi kimiawi untuk mendegradasi senyawa organik, mengakibatkan kebutuhan oksigen menjadi banyak, banyaknya kebutuhan oksigen dalam reaksi kimia tersebut menunjukkan banyaknya senyawa-senyawa organik dalam limbah.

Berkurangnya kadar COD ditunjukkan dengan berkurangnya kandungan senyawa-senyawa organik, Ozon sebagai oksidator kuat mampu mengoksidasi senyawa-senyawa organik. Oksidasi ozon menyebabkan terdegradasinya senyawa organik yang kompleks menjadi senyawa organik yang lebih sederhana (Fessenden, 1986).

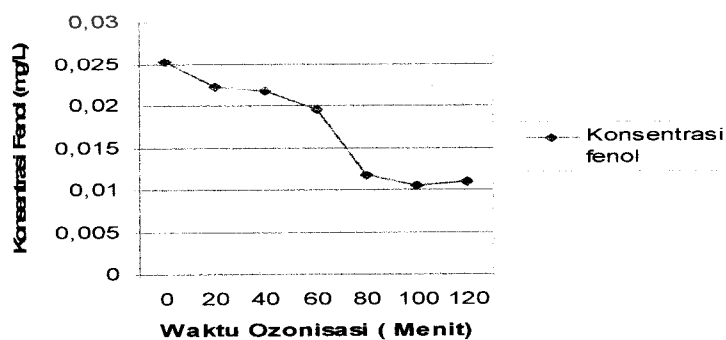


Gambar 4.5 Grafik penurunan kadar COD limbah cair industri tekstil PT. Primatexco.

Dari data penelitian dapat diketahui bahwa ozon memiliki kemampuan untuk menurunkan kadar COD yang cukup baik. Pada waktu ozonisasi 120 menit terjadi penurunan kadar COD dari COD awal 3352 mg/L menjadi 811 mg/L, efisiensi penurunan COD mencapai 75,80 %, dengan efisiensi sebesar itu dapat membuktikan bahwa ozon cukup efektif untuk menurunkan kadar COD limbah tekstil PT. Primatexco.

4.4. Hasil Analisa Fenol

Penelitian ini melakukan analisa terhadap penurunan kadar fenol yang dimaksudkan untuk membuktikan bahwa senyawa organik dapat terdegradasi oleh ozon (O_3). Hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 4.6 dibawah ini :



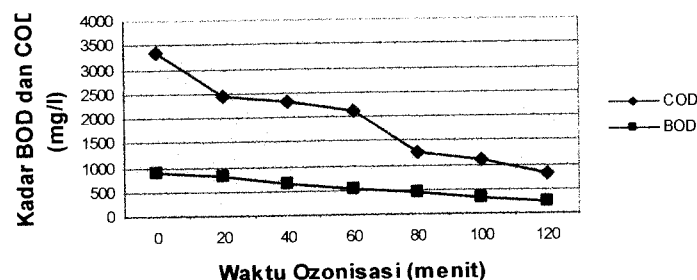
Gambar 4.6 Grafik Penurunan Kadar Fenol

Hasil yang dicapai untuk merunkan kadar fenol dalam limbah berdasarkan waktu ozonisasi, berturut-turut adalah sebagai berikut ; 0 menit, 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit, dan 120 menit ; 0,0252 mg/L, 0,0233 mg/L, 0,0218 mg/L, 0,0195 mg/L, 0,0117 mg/L, 0,0105 mg/L, dan 0,0110 mg/L.

Data penelitian tidak menunjukkan peurunan kadar fenol yang cukup baik, akan tetapi dari data diatas bisa disimpulkan bahwa ozon mampu untuk mendegradasi senyawa organik.

Morkini *et al* (1998), menyatakan fenol dapat teroksidasi melalui beberapa proses, misalnya dengan radiasi sinar ultraviolet, ozonisasi dan reaksi dengan hidrogen peroksida. Gas ozon dapat mengoksidasi fenol, sehingga fenol dapat terdegradasi menjadi senyawa organik lain. Reaksi oksidasi fenol apabila direaksikan dengan ozon, sesuai mekanisme yang diusulkan oleh Morkini (Morkini *et al*, 1998), dapat dituliskan sebagai berikut :

Karbon pada posisi ortho dan para pada senyawa fenol merupakan pendonor elektron karena adanya pergeseran elektron dari O pada substituen OH, sehingga pada posisi tersebut mempunyai densitas elektron yang tinggi, maka radikal dari dekomposisi O_3 mempunyai kecenderungan menyerang pada posisi itu, membentuk katekol atau hidrokuinon yang dapat teroksidasi lebih lanjut membentuk 1,2- benzokuinon atau 1,4- benzokuinon, fenol juga dapat mengalami reaksi ozonolisis membentuk mukonaldehida (Mvula and Sonntag, 2003).



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Penurunan COD dan BOD

Dari Gambar 4.6 dan Gambar 4.8 Dapat disimpulkan bahwa penurunan kadar organik dalam hal ini adalah fenol akan menyebabkan penurunan kadar BOD dan COD, hal ini membuktikan bahwa penurunan kadar organik akan berpengaruh pada penurunan kadar BOD dan COD.

4.5 Fenomena Penurunan kadar BOD dan COD

Limbah PT. Primatexco banyak mengandung senyawa-senyawa organik, hal ini mengakibatkan kadar BOD dan COD dalam limbah cukup tinggi.

Selain senyawa organik fenol ada beberapa senyawa organik yang terdegradasi setelah dilakukan proses ozonisasi, senyawa-senyawa organik tersebut secara teoritis dapat terdegradasi karena reaksi oksidasi ozon.

Penurunan kadar senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair, akan menyebabkan turunnya kadar BOD dan COD, hal ini berarti tingkat penurunan kadar senyawa organik linier ataupun sebanding dengan tingkat penurunan kadar BOD dan COD.

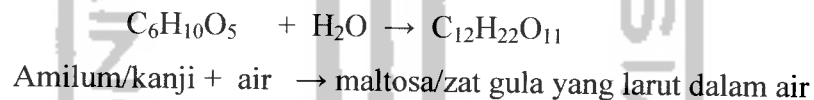
Fenomena penurunan kadar BOD dan COD dapat diperjelas dan dibuktikan dengan fenomena degradasi senyawa-senyawa organik, yang terkandung dalam limbah tersebut.

Senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair industri tekstil PT. Primatexco antara lain :

1. Amilum (kanji)

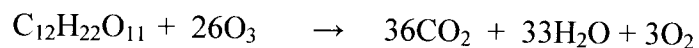
Amilum banyak digunakan dalam proses produksi industri tekstil, terutama pada tahap awal produksi misalnya pemintalan dan pertenenan, setelah dilakukan pembersihan amilum yang terbuang akan larut dalam air sehingga akan menjadi salah satu senyawa organik dalam limbah tekstil.

Amilum memiliki rumus kimia $C_6H_{10}O_5$, pada saat pembersihan kain, amilum akan mengalami reaksi seperti dibawah ini :

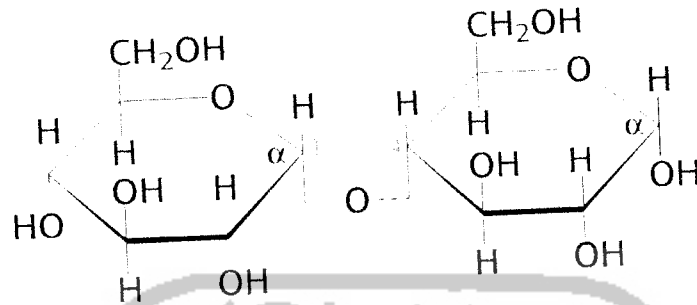


Setelah dilakukan ozonisasi maka amilum yang telah larut dalam air tersebut akan bereaksi dengan ozon (O_3)

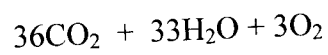
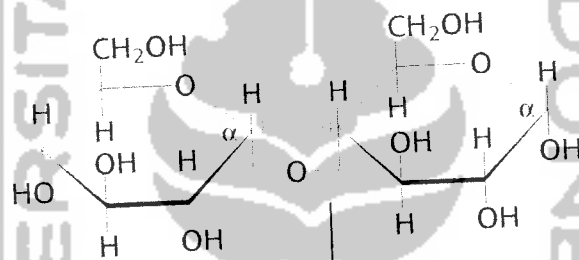
Reaksi yang terjadi antara amilum dan ozon (O_3), pada umumnya akan terjadi seperti berikut :



Dibawah ini adalah fenomena terdegradasinya senyawa organik maltosa, yang bereaksi dengan ozon :



Gambar 4.9. Rumus Struktur Maltosa



Gambar 4.10. Fenomena Degredasi Maltosa

Pada reaksi diatas dapat disimpulkan bahwa amilum yang bereaksi dengan H_2O akan membentuk maltosa atau $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, yang kemudian

akan bereaksi dengan ozon sehingga akan mengakibatkan terdegradasinya maltosa menjadi karbondioksida, air dan oksigen.

2. Deterjen

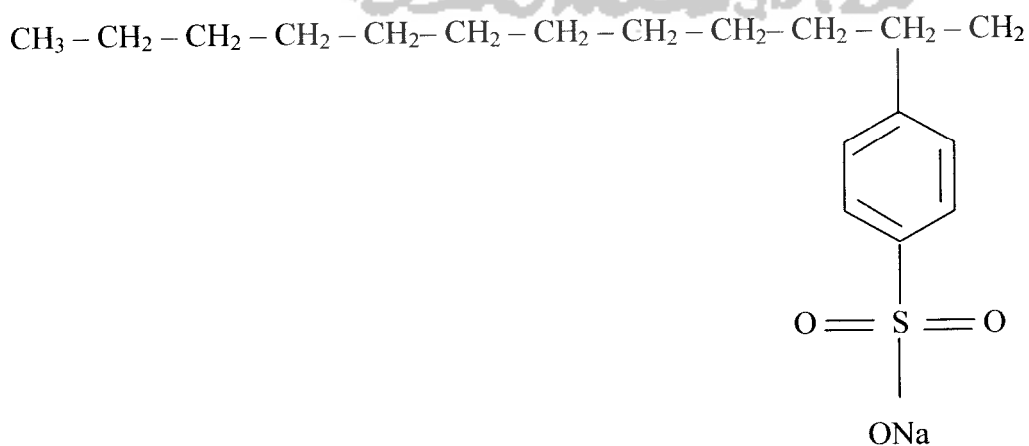
Deterjen dalam proses produksi tekstil digunakan dalam proses pembersihan, deterjen merupakan bahan yang banyak digunakan dalam proses produksi tekstil di PT. Primatexco.

Deterjen yang terbuang bersama air pembersih, akan menjadi limbah, karena deterjen termasuk dalam katagori bahan organik maka deterjen juga dapat meningkatkan kadar BOD limbah.

Deterjen yang sering digunakan dalam proses pembersihan ataupun pencucian memiliki rumus kimia sebagai berikut :

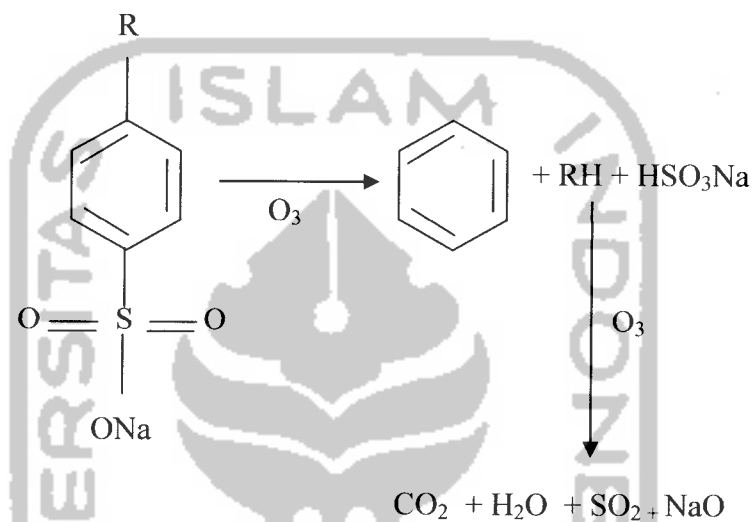


Persamaan diatas merupakan reaksi sederhana antara ozon dan deterjen, reaksi akan sangat panjang dikarenakan deterjen memiliki gugus alkil yang dilambangkan dengan R.



Gambar 4.11 Rumus Struktur Deterjen

Rumus struktur diatas merupakan rumus struktur diterjen, diterjen dibuat dari berbagai macam senyawa organik, seperti dalam teori bahwa senyawa organik dapat terdegradasi oleh ozon maka dapat diketahui bahwa fenomena terdegredasinya dapat dilihat seperti dibawah ini :

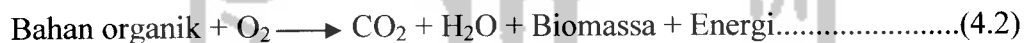


Gambar 4.12 Fenomena Degredasi Diterjen

Gambar Struktur diatas menunjukkan fenomena terdegredasinya diterjen dapat terdegradasi karena bereaksi dengan ozon, ozon sebagai oksidator akan mengoksidasi diterjen yang terdiri dari R-OSONa, terdegradasi menjadi benzene dan RH + HSO₃Na, dengan reaksi yang panjang dan terus menerus maka senyawa organik akan berubah menjadi CO₂ + H₂O + SO₂ + NaO

4.5. Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD)

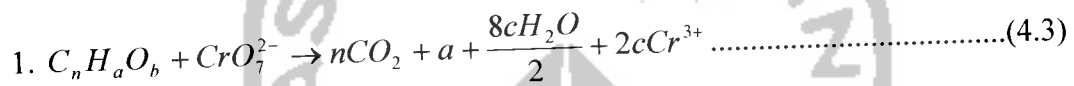
Penetapan kandungan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi bahan organik dengan oksigen yang ada didalamnya, dan proses tersebut berlangsung karena ada bakteri aerob. Reaksi yang terjadi dalam botol diasumsikan sama dengan reaksi aerobik dan terjadi dalam dua tahap yang terpisah. Mula-mula bahan organik yang terdapat dalam limbah cair digunakan oleh mikroba untuk energi dan pertumbuhan. Bila bahan organik yang semula terdapat dalam limbah dipisahkan, organisme yang ada terus menggunakan oksigen untuk autooksidasi atau metabolisme endogen dari masa seluler oksidasi masa total akan berlangsung lebih dari 20 hari. Dalam prosedur baku penentuan BOD hanya didasarkan pada oksidasi bahan organik berkarbon. Proses penguraian bahan organik dapat digambarkan sebagai berikut:



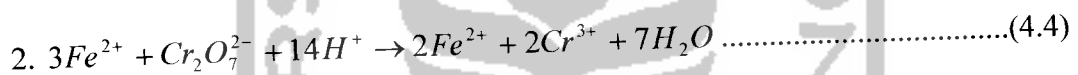
Nilai BOD limbah cair industri tekstil PT. Primatexco sebelum dilakukan pengolahan yang semula di atas batas kadar maksimal baku mutu limbah cair industri tekstil, setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan metode ozonisasi, kadar BOD yang terdapat dalam limbah ternyata mengalami penurunan. Dari hasil analisa didapatkan pada waktu ozonisasi 120 menit dapat diperoleh efisiensi penurunan hingga 74,25 %, dengan melihat data penelitian Ozon (O₃) dapat menurunkan kadar BOD limbah tekstil PT. Primatexco.

4.6. Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)

Parameter ini merupakan reaksi oksidasi secara kimia yang dapat mengoksidasi bahan organik seperti selulosa yang tidak dapat dioksidasi dengan cara biologis secara sempurna. Zat organik dioksidasikan dengan larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam suasana asam (reaksi 4.3). Kelebihan $K_2Cr_2O_7$ kemudian dititrasi kembali dengan garam ferro ammonium sulfat (reaksi 4.4) dengan menggunakan indikator feroin. Adapun reaksinya sebagai berikut:



$$\text{diketahui : } c = \frac{2}{3}n + \frac{a}{b} - \frac{b}{3}$$



COD dapat ditentukan secara bebas dalam uji yang hanya membutuhkan unsur pengoksidasi potassium dikromat dan contoh air penerima limbah. (APHA, 1965). Uji COD digunakan karena ketelitiannya dan kecepatan ujinya adalah 2-3 kali lebih cepat dari uji BOD dan cepat sekali memberikan perkiraan yang teliti tentang bahan-bahan organik yang dapat dioksidasi dengan sempurna. Selain itu uji COD juga membutuhkan waktu yang singkat kira-kira 2 jam dibandingkan dengan uji BOD yang membutuhkan waktu 5 hari. Akan tetapi uji COD tidak dapat membedakan antara zat-zat yang sebenarnya tidak teroksidasi secara biologis (Alaerts, 1987).

Kebanyakan air limbah mempunyai nilai COD tinggi dan BOD rendah yang disebabkan karena adanya bahan organik yang tidak dapat dipecah secara biologik/bahan beracun (Jenie dan Rahayu, 1993). Nilai COD limbah cair industri

tekstil PT Primatexco sebelum dilakukan pengolahan yang semula di atas batas kadar maksimal baku mutu limbah cair industri tekstil, setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan metode ozonisasi, kadar COD yang terdapat dalam limbah ternyata mengalami penurunan. Dari hasil analisa didapatkan pada waktu ozonisasi 120 menit dapat diperoleh efisiensi penurunan hingga 75,80 %, hal ini menunjukkan bahwa gas ozon (O_3) mampu menurunkan kadar COD limbah cair tekstil PT. Primatexco.

4.7. Aplikasi Teknologi Ozon Pada Pengolahan Limbah Cair PT. Primatexco

Dengan melihat hasil penelitian diatas sementara dapat disimpulkan bahwa teknologi ozon dapat digunakan untuk mengolah limbah cair PT. Primatexco. Sehingga perlu dilakukan studi lebih mendalam mengenai aplikasi teknologi ozon untuk mengolah limbah tersebut.

Sebagai tahap awal dalam laporan tugas akhir ini diusulkan aplikasi teknologi ozon yang meliputi desain lay out instalasi, unit-unit instalasi, perhitungan jumlah kebutuhan ozon, dan juga biaya operasional.

Telah dibuat rencana aplikasi teknologi ozon ununtuk pengolahan ;imbah industri teksti PT. Primatexco. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran 4.