BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah yang dihasilkan berdampak negatif terhadap lingkungan. Limbah domestik dapat berupa air cucian (detergen), kantong plastik , kaleng-kaleng bekas. Pada limbah industri dapat berupa lumpur, air bekas pencucian, maupun gas-gas yang mengandung padatan (partikulat) seperti halnya limbah zat warna pada industri tekstil. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan.

Pengamatan sumber pencemar industri dapat dilaksanakan pada masukan proses maupun pada keluarannya dengan melihat spesifikasi dan jenis limbah yang diproduksi. Pencemaran yang ditimbulkan oleh industri diakibatkan adanya limbah yang keluar dari pabrik dan mengandung bahan beracun dan berbahaya (B-3) seperti halnya limbah zat warna pada industri tekstil. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terutama lingkungan perairan. Bahan pencemar keluar bersama-sama dengan bahan buangan (limbah) melalui udara, air, dan tanah yang merupakan komponen ekosistem alam (Kristanto, 2006)

Bila ditinjau secara kimiawi, limbah ini terdiri dari bahan kimia senyawa organik dan senyawa anorganik. Dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu, kehadiran limbah dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah.

itenas library

2.1.1 Klasifikasi Limbah

1. Berdasarkan karakteristiknya

Menurut Kristanto (2004) berdasarkan wujud atau karakteristiknya limbah industri dapat digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu:

a. Limbah cair

Limbah cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri yang dibuang ke lingkungan dan diduga dapat mencemari lingkungan.

b. Limbah gas

Limbah gas dan partikel adalah limbah yang banyak dibuang ke udara. Gas/asap, partikulat, dan debu yang dikeluarkan oleh pabrik ke udara akan dibawa angin sehingga akan memperluas jangkauan pemaparannya. Partikel adalah butiran halus yang mungkin masih terlihat oleh mata telanjang, seperti uap air, debu, asap, fume dan kabut.

c. Limbah padat

Limbah padat adalah hasil buangan industri yang berupa padatan, lumpur, dan bubur yang berasal dari sisa proses pengolahan. Limbah ini dapat dikategorikan menjadi dua bagian, yaitu limbah padat yang dapat didaur-ulang (misalnya plastik, tekstil, potongan logam) dan limbah padat yang tidak memiliki nilai ekonomis

2. Berdasarkan sifat kimianya

Limbah ditinjau secara kimiawi, terdiri atas:

a. Limbah organik adalah limbah yang dapat membusuk atau terdegradasi oleh mikroorganisme. Oleh karena bahan buangan organik dapat membusuk atau terdegradasi maka akan sangat bijaksana apabila bahan buangan yang termasuk kelompok ini tidak dibuang ke air lingkungan karena akan dapat meningkatkan populasi mikroorganisme di dalam air. Dengan bertambahnya populasi mikroorganisme di dalam air maka tidak tertutup pula kemungkinannya untuk ikut berkembangnya bakteri patogen yang berbahaya bagi manusia.

b. Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan anorganik ini masuk ke air lingkungan maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air. Bahan anorganik biasanya berasal dari industri yang melibatkan penggunaan unsur-unsur logam seperti Timbal(Pb), Arsen

(As), Kadmium (Cd), Air raksa (Hg), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kobalt (Co), dan lain-lain (Arya, 2004).

3. Berdasarkan sumber pencemar

Penggolongan limbah berdasarkan sumber pencemar dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Sumber domestik (rumah tangga)Limbah domestik adalah semua limbah yang berasal dari kamar mandi, WC, dapur, tempat cuci pakaian, apotik, rumah sakit, dari perkampungan, kota, pasar, jalan, terminal dan sebagainya.

b. Sumber non-domestik Limbah non-domestik sangat bervariasi, diantaranya berasal dari pabrik, pertanian, peternakan, perikanan, transportasi, dan sumber sumber lainnya (Kristanto, 2004).

2.1.2 Karakteristik Limbah

Karakteristik limbah cair dapat diketahui menurut sifat dan karakteristik fisika, kimia, dan biologi. Studi karkteristik limbah perlu dilakukan agar dapat dipahami sifat-sifat tersebut dan sejauh mana tingkat pencemaran dapat ditimbulkan limbah terhadap lingkungan (Ginting, Perdana, 2007) Dalam menentukan karakteristik limbah maka ada tiga jenis sifat yang harus diketahui yaitu:

1. Sifat Fisik

Sifat fisik suatu limbah ditentukan berdasarkan jumlah padatan terlarut, tersuspensi dan total padatan, alkalinitas, kekeruhan, warna, salinitas, daya hantar listrik, bau dan temperatur. Sifat fisik ini beberapa diantaranya dapat dikenali secara visual tapi untuk mengetahui secara lebih pasti maka digunakan analisa laboratorium.

a. Padatan

Dalam limbah ditemukan zat padat yang secara umum diklasifikasikan ke dalam dua golongan besar yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi. Zat padat tersuspensi yang mengandung zat-zat organik pada umumnya terdiri dari protein,ganggang dan bakteri. Padatan tersuspensi mempunyai diameter yang lebih besar daripada padatan terlarut. Padatan tersuspensi mempunyai diameter diameter antara 0.01 mm sampai dengan 0.001 mm. (Ginting, 2007) .

itenas library

Salah satu parameter yang sering digunakan adalah Total Suspended Solid (TSS) yaitu jumlah berat dalam mg/l kering lumpur yang ada di dalam air limbah setelah mengalami proses penyaringan dengan membran berukuran 0,45 μm. TSS yang sangat tinggi menghalangi masuknya sinar matahari. Air buangan dari industri-industri makanan, terutama industri fermentasi dan industri tekstil mengandung padatan tersuspensi dalam jumlah relatif tinggi. Jumlah padatan tersuspensi di dalam air dapat diukur menggunakan alat turbidimeter. Seperti halnya padatan terendap, padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar/cahaya ke dalam air sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis (Fardiaz, 2008).

b. Kekeruhan

Sifat keruh air dapat dilihat dengan mata secara langsung karena ada partikel kolodial (diameter 10-8 μ mm) yang terdiri dari kwartz, tanah liat, sisa bahan-bahan, protein dan ganggang yang terdapat dalam limbah. Kekeruhan merupakan sifat optis larutan. Sifat keruh membuat hilang nilai estetikanya.

c. Bau

Sifat bau limbah disebabkan karena zat-zat organik yang telah terurai dalam limbah mengeluarkan gas-gas seperti sulfida atau amoniak yang menimbulkan bau tidak enak bagi penciuman disebabkan adanya campuran dari nitrogen, sulfur dan fosfor yang berasal dari pembusukan protein yang dikandung limbah. Timbulnya bau yang diakibatkan limbah merupakan suatu indikator bahwa terjadi proses alamiah. Dengan adanya bau ini akan lebih mudah mendeteksi adanya bahaya sehingga lebih mudah menghindarkan tingkat bahaya yang ditimbulkannya.

d. Temperatur

Limbah yang mempunyai temperatur panas yang akan mengganggu pertumbuhan biota tertentu. Temperatur yang dikeluarkan suatu limbah cair harus merupakan temperatur alami. Suhu berfungsi memperlihatkan aktifitas kimiawi dan biologis. Pada suhu tinggi pengentalan cairan berkurang dan mengurangi sedimentasi. Tingkat zat oksidasi lebih besar pada suhu tinggi dan pembusukan jarang terjadi pada suhu rendah.

itenas library

e. Warna

Warna dalam air disebabkan adanya ion-ion logam besi dan mangan, humus, plankton, tanaman air dan buangan industri. Warna berkaitan dengan kekeruhan, warna disebabkan zat terlarut dan zat tersuspensi. Warna menimbulkan pemandangan yang jelek dalam air limbah meskipun warna tidak menimbulkan sifat racun. Limbah berwarna banyak ditemukan pada industry tekstil.

2. Sifat Kimia

Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh Biological Oksigen Demand (BOD), Chemical Oksigen Demand (COD) dan logam-logam berat yang terkandung dalam air limbah.

a) Biological Oksigen Demand (BOD)

Pemeriksaan BOD dalam air limbah didasarkan atas reaksi oksidasi zat-zat organis dengan oksigen dalam air dimana proses tersebut dapat berlangsung karena terdapat sejumlah bakteri. BOD adalah kebutuhan oksigen bagi sejumlah bakteri untuk menguraikan (mengoksidasikan) semua zat-zat organik yang terlarut maupun sebagai tersuspensi dalam air menjadi bahan organik yang lebih sederhana. Nilai ini merupakan jumlah bahan organik yang dikonsumsi bakteri. Penguraian zat-zat organis ini terjadi secara alami. Aktifnya bakteri-bakteri menguraikan bahan organik mengakibatkan oksigen dalam air habis terkonsumsi. Dengan habisnya oksigen terkonsumsi membuat biota lainnya yang membutuhkan oksigen menjadi kekurangan dan akibatnya biota yang memerlukan oksigen ini tidak dapat hidup. Semakin tinggi angka BOD semakin sulit bagi mahluk air untuk dapat bertahan bertahan hidup karena rendahnya kandungan oksigen di dalam air.

b) Chemical Oksigen Demand (COD)

Pengukuran kekuatan limbah dengan COD adalah bentuk lain pengukuran oksigen dalam air. Metode ini lebih singkat waktunya dibandingkan dengan analisa BOD. Pengukuran ini menekankan kebutuhan oksigen akan kimia dimana senyawa-senyawa yang diukur adalah bahan-bahan yang tidak dapat dipecah secara biokimia. Adanya racun atau logam tertentu dalam limbah mengakibatkan pertumbuhan bakteri akan terhalang dan pengukuran BOD menjadi tidak realistis. Untuk mengatasinya lebih tepat menggunakan analisa COD. Chemical Oksigen Demand (COD) adalah sejumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat anorganis dan organis sebagaimana BOD. Angka COD merupakan

ukuran bagi pencemaran air oleh zat anorganik. Semakin dekat nilai BOD terhadap COD menunjukkan bahwa semakin sedikit bahan anorganik yang dapat dioksidasi dengan bahan kimia.

c) Oksigen Terlarut (Demand Oksigen/ DO)

Keadaan oksigen terlarut (DO) berlawanan dengan BOD. Semakin tinggi BOD semakin rendah oksigen terlarut. Keadaan oksigen terlarut dalam air dapat menunjukkan tanda-tanda kehidupan ikan dan biota dalam perairan. Kemampuan air untuk mengadakan pemulihan secara alami tergantung pada tersedianya oksigen terlarut. Angka DO yang tinggi menunjukkan keadaan air semakin baik.

d) Keasaman Air

Keasaman diukur dengan pH meter. Keasaman ditetapkan berdasarkan tinggi rendahnya konsentrasi ion hydrogen dalam air. Air buangan yang mempunyai pH terlalu tinggi atau rendah menjadikan air steril dan sebagai akibatnya membunuh mikroorganisme air yang diperlukan untuk keperluan biota tertentu. Air yang mempunyai pH rendah membuat air menjadi korosif terhadap bahan-bahan konstruksi besi yang kontak dengan air.

3. Sifat Biologi

Bahan-bahan organik dalam air terdiri dari berbagai macam senyawaan. Protein adalah salah satu senyawa kimia organik yang membentuk rantai kompleks, mudah terurai menjadi senyawa-senyawa lain seperti asam amino. Sebagai bahan organik mengandung karbon, hydrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, dan phosphor. Penyebab bau busuk pada suatu limbah adalah dekomposisi dari zat-zat tersebut dalam jumlah besar. Karbohidrat dengan rumus kimia (CH2O)n yang mempunyai komposisi karbon, hydrogen dan oksigen merupakan suatu polimer yang tersusun dari senyawa monomer-monomer. Bahan-bahan seperti gula, pati, sellulosa, serat kayu, adalah merupakan karbohidrat yang dapat terurai melalui bantuan enzim maupun mikroba. Pati sukar larut dalam air, akan tetapi dapat diubah menjadi gula oleh aktifitas mikrobiologi. Bahan ini dalam limbah akan diubah oleh mikroorganisme menjadi senyawa kimia yang sederhana seperti karbondiksida, air dan amoniak.

itenas library

2.1.3 Sumber Air Limbah

Air limbah adalah air yang telah digunakan untuk keperluan industri, irigasi, keperluan rumah tangga dan keperluan lainnya sering dikembalikan lagi ke sumber asalnya. Dengan demikian air buangan ini bersifat kotoran umum. air limbah ini berasal dari berbagai sumber, secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut:

1. Air buangan yang bersumber dari rumah tangga (domestic wastes water), yaitu air limbah yang berasal dari pemukiman penduduk. Pada umumnya air limbah ini terdiri dari ekskreta (tinja dan air seni), air bekas cucian dapur dan kamar mandi, dan umumnya terdiri dari bahan-bahan organik.

2. Air buangan industri (industrial wastes water), yang berasal dari berbagai jenis industri akibat proses produksi. Zat-zat yang terkandung di dalamnya sangat bervariasi sesuai dengan bahan baku yang dipakai oleh masing-masing industri, antara lain: nitrogen, sulfida, amoniak, lemak, garam-garam, zat pewarna, mineral, logam berat, zat pelarut, dan sebagainya. Oleh sebab itu, pengolahan jenis air limbah ini, agar tidak menimbulkan polusi lingkungan menjadi lebih rumit.

3. Air buangan kotapraja *(municipal wastes water)*, yaitu air buangan yang berasal dari daerah: perkantoran, perdagangan, hotel, restoran, tempat-tempat umum, tempat-tempat ibadah, dan sebagainya. Pada umumnya zat-zat yang terkandung dalam jenis air limbah ini sama dengan air limbah rumah tangga.

itenas library

2.1.4 Dampak Negatif Air Limbah Tekstil

Pencemaran merupakan peristiwa yang dapat merugikan makhluk hidup. Ada banyak sekali dampak yang dapat ditimbulkan dari pencemaran limbah pabrik ini. Dampak-dampak yang ditimbulkan ini tentu saja merupakan dampak yang buruk. Adapun dampak-dampak yang dapat muncul sebab adanya pencemaran limbah pabrik ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Dampak bagi kesehatan

Dampak kesehatan yang ditimbulkan dari limbah pabrik ini antara lain adalah sebagai berikut:

a. Menyebabkan adanya sampah beracun.
b. Timbul penyakit yang menular dari rantai makanan
c. Timbulnya penyakit jamur.
d. Menyebabkan penyakit kolera, diare, dan tifus.
e. Timbul sampah yang akan menjadi tempat perkembangbiakan lalat sehingga mudah menularkan infeksi.

2. Dampak bagi lingkungan

Selain akan berdampak pada kesehatan, adanya limbah pabrik ini juga dapat menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan. Adapun beberapa dampak negatif yang disebabkan oleh limbah pabrik bagi lingkungan antara lain adalah sebagai berikut:

a. Menurunnya kualitas lingkungan
b. Menurunnya estetika atau nilai keindahan lingkungan
c. Membuat lingkungan kurang nyaman untuk ditempati
d. Membuat makhluk hidup yang terkena pencemaran menjadi musnah atau mati.

2.1.5 Baku Mutu Air Limbah Tekstil

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan.

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Baku Mutu Air Limbah, sebagai berikut :

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Tekstil

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD3	60	6
COD	150	15
TSS	50	5
Fenol Total	0,5	0,05
Krom Total (Cr)	1	0,1
Amonia Total (NH3-N)	8	0,8
Sulfida (sebagai S)	0,3	0,03
Minyak dan Lemak	3	0,3
pH	6,0-9,0	
Debit Limbah Paling Tinggi	100 /ton produk tekstil	

2.1.6 Zat Warna Tekstil

Zat warna dapat digolongkan menurut sumber diperolehnya yaitu zat warna alam dan zat warna sintetik. Van Croft,2008. menggolongkan zat warna berdasarkan pemakaiannya, misalnya zat warna yang langsung dapat mewarnai serat disebutnya sebagai zat warna substantif dan zat warna yang memerlukan zat-zat pembantu supaya dapat mewarnai serat disebut zat reaktif. Kemudian Henneck,2010. membagi zat warna menjadi dua bagian menurut warna yang ditimbulkannya, yakni zat warna monogenetik apabila memberikan hanya satu warna dan zat warna poligenatik apabila dapat memberikan beberapa warna. Penggolongan zat warna yang lebih umum dikenal adalah berdasarkan konstitusi (struktur molekul) dan berdasarkan aplikasi (cara pewarnaannya) pada bahan, misalnya didalam pencelupan dan pencapan bahan tekstil, kulit, kertas dan bahan-bahan lain. Penggolongan lain yang biasa digunakan terutama pada proses pencelupan dan pencapan pada industri tekstil adalah penggolongan berdasarkan aplikasi (cara pewarnaan). Zat warna tersebut dapat digolongkan sebagai zat warna asam, basa, direk, dispersi, pigmen, reaktif, solven, belerang , bejana dan lain-lain (Christie,2001).

Dari uraian di atas dijelaskan bahwa tiap-tiap jenis zat warna mempunyai kegunaan tertentu dan sifat-sifatnya tertentu pula. Pemilihan zat warna yang akan dipakai bergantung pada bermacam faktor antara lain: Jenis serat yang akan diwarnai, macam wana yang dipilih dan warna-warna yang tersedia, tahan lunturnya dan peralatan produksi yang tersedia (Sunarto, 2009). Jenis yang paling banyak digunakan saat ini adalah zat warna reaktif dan zat warna dispersi. Hal ini disebabkan produksi bahan tekstil dewasa ini adalah serat sintetik seperti serat polamida, poliester dan poliakrilat. Bahan tekstil sintetik ini, terutama serat poliester, kebanyakan hanya dapat dicelup dengan zat warna dispersi. Demikian juga untuk zat warna reaktif yang dapat mewarnai bahan kapas dengan baik.
Menurut Budiyono (2008) jenis zat warna ada dua, yaitu:

1.Zat Warna Alam

Zat warna alam adalah zat warna yang berasal dari alam, baik yang berasal dari tanaman, hewan, maupun bahan metal. Zat warna yang berasal dari tumbuhan. Tumbuhan-tumbuhan penghasil zat pewarna alami yang tumbuh di Indonesia kurang lebih sebanyak 150 jenis tanaman, tetapi yang paling efektif untuk dapat digunakan dan dapat diproduksi menjadi

powder maupun dalam bentuk pastahanya beberapa jenis saja. Zat warna dari tumbuhan yang biasanya digunakan antara lain : indigofera (warna biru), Sp Bixa orrellana (warna orange purple), Morinda citrifolia (warna kuning). Zat warna yang berasal dari hewan adalah Kerang (Tyran purple), Insekta (Ceochikal), dan Insekta warna merah (Loe).

2. Zat Warna Sintesis

Zat warna sintesis adalah zat warna buatan dengan bahan dasar buatan, misalnya yaitu Hirokarbon Aromatik dan Naftalena yang berasal dari batu bara. Hampir semua zat warna yang digunakan dalam industri batik merupakan zat warna sintetik, karena zat warna jenis ini mudah diperoleh dengan komposisi yang tetap, mempunyai aneka warna yang banyak, mudah cara pemakaiannya dan harganya relatif tidak tinggi.

Adapun jenis-jenis zat warna sintetis yaitu :

a. Rhodamin B

Rumus kimia Rhodamin B: $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$.

Rhodamine merupakan senyawa kimia murni yang berbahaya jika ditelan apalagi dalam waktu yang lama. Efek warna rodamine bersifat fluorine / fluorescents yaitu cerah menyala. Rhodamine dibagi menjadi Rhodamine B (Rhodamine 610, C.I. Pigment Violet 1, Basic Violet 10, or C.I. 45170), Rhodamine 6 G, Rhodamine 123. Rhodamin B merupakan zat pewarna sintetik yang berbahaya. Rhodamin B berbentuk kristal hijau atau serbuk-unggu kemerah-merahan, sangat mudah larut dalam air yang akan menghasilkan warna merah kebiru-biruan dan berflourensi kuat. Selain mudah larut dalam air juga larut dalam alkohol, HCl dan NaOH. Selain itu juga biasa dipakai dalam pewarnaan kertas, di dalam laboratorium digunakan sebagai pereaksi untuk identifikasi Pb, Bi, Co, Au, Mg, dan Th. Rhodamin B sampai sekarang masih banyak digunakan untuk mewarnai berbagai jenis makanan dan minuman (terutama untuk golongan ekonomi lemah), seperti kue-kue basah, saus, sirup, kerupuk dan tahu (khususnya Metanil Yellow), dan lain-lain. Rhodamin B diperuntukan untuk bahan pewarna kertas, tekstil dan sebagai reagensia untuk pengujian Antimon, Cobalt, Bismuth dan lain lain

b.Tartrazine

Struktur kimia tartrazin : $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$

Tartrazin (dikenal juga sebagai E102 atau FD&C Yellow 5) adalah pewarna kuning lemon sintetis yang umum digunakan sebagai pewarna makanan. Tartrazin merupakan turunan

dari coal tar, yang merupakan campuran dari senyawa fenol, hidrokarbon polisiklik, dan heterosklik. Karena kelarutannya dalam air, tartrazin umum digunakan sebagai bahan pewarna minuman. Absorbansi maksimal senyawa ini dalam air jatuh pada panjang gelombang 427±2 nm.

c. Brilliant Blue

Rumus kimianya $C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$

Brilliant Blue FCF atau yang biasa dikenal dengan FD & C blue no.1 adalah pewarna yang ditambahkan pada bahan pangan atau substansi lain yang dapat menyebabkan perubahan warna. Penampakannya berupa bubuk biru kemerah-merahan. Karakteristik dari pewarna ini adalah larut dalam air, dan dapat di ukur absorbansinya pada 630 nm. Merupakan pewarna sintetik dari coal tar. Untuk membuat berbagai bayangan warna hijau, maka pewarna ini di kombinasikan dengan tartrazin. Brilliant blue diproduksi menggunakan hidrokarbon aromatis dari petroleum. Pada umumnya merupakan garam disodium.

d. Metanil yellow

Rumus kimianya $C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$

Metanil yellow merupakan pewarna golongan azo, dimana dalam strukturnya terdapat ikatan N=N. Metanil yellow dengan warna kuning dibuat dari asam metanilat dan difenilamin (Nainggolan, dan Sihombing,1984) Sunset Yellow adalah zat pewarna dalam spektrofotometer yang berwarna kuning. Pewarna ini merupakan pewarna sintetik yang bersifat asam yang mengandung kelompok kromofor NN dan CC. Senyawa ini memiliki berat molekul 452.37. Senyawa ini bersifat larut dalam air dan memiliki titik leleh >3000C. Pewarna ini memiliki panjang gelombang maksimum pada 485 nm. Dalam fase solid, absorbansi pewarna ini adalah 487 nm.

2.2 Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah adalah hal yang sangat penting yang harus di lakukan oleh suatu industri sebelum di buang ke lingkungan. Pengolahan air limbah ini bertujuan untuk memurnikan kembali atau memisahkan zat-zat berbahaya yang berpotensi dapat mencemari lingkungan. Air limbah yang telah diproses melalui sistem pengolahan air limbah akan dapat diuraikan oleh mikroorganisme di alam.

2.2.1 Identifikasi Jaringan Pengolahan

Jaringan pengolahan air limbah pada dasarnya dikelompokkan menjadi tiga tahap yaitu pengolahan primer, pengolahan sekunder dan pengolahan tersier (Sunu, 2001).

a. Pengolahan Primer

Pengolahan primer semata-mata mencakup pemisahan kerikil, lumpur, dan penghilangan zat padat yang terapung (Sugiharto,1987). Hal ini biasa dilakukan dengan penyaringan dan pengendapan di kolam-kolam pengendapan. Buangan dari pengolahan primer biasanya akan mengandung bahan organik yang lumayan banyak dan BOD-nya relatif tinggi.

b. Pengolahan Sekunder

Pengolahan sekunder mencakup pengolahan lebih lanjut dari buangan pengolahan primer. Hal ini menyangkut pembuangan bahan organik dan sisa-sisa bahan terapung dan biasanya dilaksanakan dengan proses biologis mempergunakan filter, aerasi, kolam oksidasi dan cara-cara lainnya (Tchobanoglous,1991). Buangan dari pengolahan sekunder biasanya mempunyai BOD5 yang kecil dan mungkin mengandung beberapa mg/L oksigen terlarut.

c. Pengolahan Tersier

Pengolahan lanjutan dipergunakan untuk membuang bahanbahan terlarut dan terapung yang masih tersisa setelah pengolahan biologis yang normal apabila dibutuhkan untuk pemakaian air kembali atau untuk pengendalian etrofikasi di air penerima (Tchobanoglous,1991).

Ketiga tahap ini tergantung pada berbagai faktor salah satunya seperti saranapembuangan yang tersedia.

2.2.2 Klasifikasi dan Penerpan pengolahan air limbah

1. Pengolahan Secara Fisika

Proses pengolahan secara fisika merupakan metode pengolahan air limbah dengan cara menghilangkan polutan secara fisika, seperti sedimentasi, penyaringan, screening dan lain-lain.Prinsip utama dari pengolahan limbah secara fisika adalah untuk menghilangkan padatan yang tersuspensi pada air (Riffat, 2012). Metode pengolahan secara fisika antara lain sedimentasi dan filtrasi.

itenas library

a. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pemisahan partikel yang tersuspensi diair. Partikel yang tersuspensi dia air memiliki massa jenis yang lebih besar dari air. Proses sedimentasi merupakan pemisahan yang dipengaruhi gaya gravitasi berdasarkan perbedaan partikel yang tersuspensi denngan larutannya (Carlsson, 1998). Saat ini metode sedimentasi terutama diindustri terus dikembangkan dengan cara melakukan modifikasi pada tanki sediment. Salah satunya dengan memodofikasi vortex pada tanki sedimen. Modifikasi vortex menunjukkan terdapat peningkatan proses sedimentasi (Ochowiak dkk., 2017).

b. Penyaringan (Filtrasi)

Penyaringan pada proses pengolahan air merupakan proses tersier dalam pengolahan air Limbah. Proses ini biasanya diikuti setelah proses sekunder (sedimentasi, koagulasi, lumpur teraktivasi). Proses filtrasi dapat memisahkan sebagian besar partikel yang tersuspensi sehinggi tahap disinfeksi menjadi lebih efektif (Hamoda dkk., 2004).

2. Pengolahan Secara Biologis

Proses pengolahan limbah dengan metode biologi adalah proses penghancuran atau penghilangan kontaminan dengan menggunakan bantuan mikroorganisme. Tujuan utama pengolahan dengan metode biologi adalah menghilangkan dan mengurangi bahan organik biodegradable dari air limbah ke tingkat yang dapat diterima sesuai dengan ambang batas yang telah ditentukan. Pengolahan secara biologi juga digunakan untuk menghilangkan nitrogen dan fosfor dari air limbah (Riffat, 2012). Beberapa metode yang digunakan pada proses pengolahan biologis antara lain proses biofiltrasi dan lumpur teraktifasi.

a. Biofiltrasi

Biofiltrasi atau biasa disebut dengan trickling filters dan percolating filters adalah proses sekunder yang digunakan untuk air limbah dosmetik, metode biofilter menghasilkan air dengan kualitas yang baik (Mara, 2013). Pada biofilter mikroorganisme dipasang pada media berpori untuk mendegradasi polutan yang berada aliran air limbah. Mikrorganisme tumbuh dalam biofilm pada permukaan medium atau tersuspensi dalam fase air yang mengelilingi partikel medium. Kinerja biofilter dipengaruhi oleh inokulasi mikroba, pH, suhu, kelembaban dan kandungan hara (Srivastava dan Majumder, 2008).

b. Lumpur Teraktivitasi

Lumpur teraktivasi merupakan suatu metode berdasarkan populasi bakteri yang tersuspensi pada limbah air dengan kondisi aerobic. Kondisi nutrisi dan oksigen yang tak terbatas menyebabkan kecepatan tumbuh dan respirasi bakteri akan tinggi (Samer, 2015). Aktifitas dari lumpur teraktifasi dapat ditingkatkan salah satunya dengan menambahan enizim fungal. Penambahan enzim fungal dilakukan pada lumpur teraktifasi untuk degradasi zat warna pada air limbah industri tekstil. Penambahan enzim pada lumpur teraktifasi terbukti dapat meningkatkan aktivitas dari lumpur teraktifasi, jumlah endapan dan warna yang hilang meningkat dari 75% ke 95%. Pada limbah dengan jumlah zat organic terlarut yang lebih rendah kemampuan lumpur teraktifasi meningkat dari 82.3 % ke 98.4% (Manai dkk., 2017).

3. Pengolahan Secara Kimia

Proses pengolahan air limbah secara kimia adalah proses yang melibatkan penambahan bahan kimia untuk mengubah atau destruksi kontaminan. (Riffat, 2012). Proses pengolahan air limbah secara kimia antara lain dengan menggunakan koagulasi dan adsorpsi.

a. Koagulasi

Koagulasi adalah proses penggumpalan partikel koloid karena penambahan bahan kimia sehinggapartikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan karena adanya gaya gravitasi. Ada 2 mekanisme koagulasi yaitu secara fisika dan secara kimia.

b. Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses ketika molekul yang terlarut (adsorbat) dihilangkan dengan cara menempelkan adsorbat pada permukaan ansorben. Adsorben harus memiliki luas permukaan yang tinggi, contoh adsorben antara laim alumina, clay, hidroksida, resin, dan karbon teraktivasi. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh diameter partikel, konsentrasi adsorbat, suhu, berat molekul dan pH (Samer, 2015). Dalam pengolahan air limbah biasanya proses adsorpsi digunakan untuk menghilankan zat warna dari air limbah. Salah satu contoh Penggunaan adsorben dalam pengolahan air limbah adalah ZSM-5. ZSM-5 yang disintesis dari kaolin Bangka digunakan untuk menghilangkan zat warna tekstil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas absorpsi dari ZSM 5 untuk pewarna congo red, auramin, metilen biru, dan rhodamin B adalaha 129, 157, 134, 205, dan 210 mg/g. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ZSM-5 yang berasal dari kaolin Bangka

adalah adsorben yang baik untuk mendegradasi zat warna tekstil (Iryani dan Djoko Hartanto, 2017).

2.3 Ozon

Ozon pertama kali ditemukan oleh C F Schonbein pada tahun 1840. Penamaan ozon diambil dari bahasa yunani *OZEIN* yang berarti smell atau bau. Ozon dikenal sebagai gas yang tidak memiliki warna. Ozon adalah sebuah molekul gas yang terdiri dari tiga buah atom oksigen. Ozon (O_3) diidentifikasikan sebagai campuran kimia baru yang komposisinya sebagai versi 3 atom dari normal molekul oksigen (O_2) 2 atom. Ozon merupakan gas yang tidak berwarna pada suhu kamar dan membentuk cairan biru pada suhu -112°C dan membeku pada suhu -251,4^{o}C serta mulai mengalami dekomposisi pada suhu diatas 0°C. Ozon merupakan gas yang berbau pedas (*pungent*), tajam (*acrid*), tidak enak, seperti bahan pemutih klor. Bau ini biasanya terdeteksi oleh hidung manusia pada konsentrasi antara 0,01 dan 0,04 ppm (Suslow, 2004).

Secara kimiawi ozon merupakan senyawa yang tidak stabil, sangat reaktif, dan mudah sekali terdekomposisi menjadi oksigen setelah terbentuk pada ozonator. Oleh karena itu ozon harus dibuat dalam ozonator yang jaraknya dekat dengan instalasi pengolahan air (*on-site*) (Rice dan Browning, 1981). Disebutkan juga bahwa ozon mengandung gugus oksidasi yang sangat kuat, bahkan dapat merusak karet dan gabus. Ozon juga bersifat bakterisida, virusida, algisida, fungisida, serta mengubah senyawa organik kompleks minyak senyawa yang lebih sederhana, sedangkan sifat-sifat fisika ozon dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.2 Sifat Kimia dan Fisika Ozon (Perry dan Green, 1997)

Karakteristik	Nilai
Berat molekul	48 g/mol
Titik leleh	-192,5 ± 0,4 ^{o}C
Titik didih	-111,9 ± 0,3 ^{o}C
Temperatur kritis	-12,1 ^{o}C
Tekanan kritis	54,6 atm
Densitas (0°C dan 1 atm)	2,143 kg/m^3
Densitas relatif (di udara)	1,6667 kg/m^3
Energi	142,3 kJ/mol
Potensial oksidasi	2,07 volt
Waktu paruh dalam larutan cair (20°C)	20-30 menit
Waktu paruh (pada udara kering)	12 jam

Menurut Bollyky (2000), saat terlarut dalam air, ozon akan mengalami tiga reaksi secara bersamaan yaitu oksidasi, desinfeksi, dan dekomposisi. Sistem kelarutan ozon dalam air mengikuti Hukum Henry sesuai dengan persamaan:

$$C_s = \beta \; x \; M \; x \; P_{\square} \qquad (2.1)$$

Keterangan :

C_s = Konsentrasi jenuh ozon terlarut (kg/m^3)

β = Rasio kelarutan

M = Densitas gas (kg/m^3)

P_{Υ} = Tekanan parsial gas

Perpindahan massa ozon−air sendiri secara umum dipengaruhi oleh konsentrasi ozon dalam gas, daya kelarutan ozon pada larutan, waktu kontak, jumlah dan ukuran gelembung gas, tekanan dan temperatur operasi, jenis masukan umpan (udara atau oksigen), dan metode kontak yang digunakan.

itenas library

2.3.1 Pembentukan Ozon

Secara alamiah, ozon dapat terbentuk melalui radiasi ultraviolet pancaran sinar matahari yang enyebabkan penguraian gas oksigen di udara bebas (proses fotolisis). Atom oksigen (O) yang terurai akan saling bertumbukan dengan molekul oksigen (O2) yang ada disekitarnya sehinga terbentuklah ozon (O3). Peristiwa ini terjadi pada lapisan atmosfer paling atas (stratosfer) yang sring disebut dengan lapisan ozon. Molekul ozon yang terbentuk bersifat tidak stabil dan akan selalu berusaha melepaskan satu atom oksigen dengan cara oksidasi sehingga dapatberubah menjadi molekul oksigen yang stabil. Sifat oksidator yang dimiliki ozon ini kemudian banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi.

Sedangkan secara buatan, gas ozon dapat dibuat dengan menggunakan peralatan antara lain dengan metode electrical discharge dengan sinar radio aktif. Pembentukan ozon dengan electrical discharge secara prpinsip sangat mudah. Tumbukan dari electron yang dihasilkan oleh electrical discharge dengan molekul oksigen menghasilkan dua buah atom oksigen. Selanjutnya atomoksigen secara alamiah bertimbukan kembali dengan molekul oksigen di sekitarnya, kemudian terbentuklah ozon, dikana ozon yang terbentuk adalah berupa gas.

Untuk skala besar, cara dengan electrical discharge inilah yang saatini banyak digunakan

secara komersial. Reaksi pembentukan ozon secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut :

$$O_2 + e \rightarrow 2O + e \quad (2.2)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + (M) \quad (2.3)$$

$$O_3 + O \rightarrow 2O_2 \quad (2.4)$$

$$O_3 + e \rightarrow O + O_2 + e \quad (2.5)$$

Persamaan reaksi (2.2) dan (2.3) adalah reaksi pembentukan ozon, tetapi agar reaksi (2.3) berlanjut diperlukan material ketiga M. Material M tersebut dapat berupa oksigen, nitrogen atau dinding tabung. Dilaib pihak jika reaksi terus berlanjut maka ozon yant telah terbentuk akan terurai kembali melalui reaksi (2.4) dan (2.5). Dengan kata lain reaksi pembentukan dan peruraian ozon terjadi bersamaan diantara kedua kutub elektroda. Pada saat reaksiterjadi pada kesetimbangan terbentuk ozon pada konsentrasi dengan tertentu. Jika electrical discharge diperbesar atau voltase dinaikan, dan ruang perluasan yang dialiri udara atau oksigen diperbesar sehingga waktu tinggal udra atau oksigen didalam ruang peluahan menjadi lebih lama maka ozon yang terbentuk menjadilebih besar. Tetapi pada saat mencapai konsentrasi yang tertinggi maka ozon yang terbentuk akan terurai kembali. Pada prakteknya konsentrasi ozon yang terbentuk berkisar antara 3-4% apabila menggunakan udara sebagai bahan baku. Jika menggunakan bahan baku oksigen murni konsentrasi ozon yang terbentuk berkisar 6-8%.

2.3.2 Mekanisme Ozonasi Fotokatalitik

Reaksi ozon dalam air secara umum dipengaruhi oleh konsentrasi ozon dalam gas, daya kelarutan ozon pada larutan, waktu kontak, jumlah, ukuran gelembung gas, tekanan, temperatur operasi, jenis masukan umpan (udara atau oksigen), dan metode kontak yang digunakan.

Tahapan proses ozon dalam mengoksidasi kandungan organik dan anorganik dalam air dapat berlangsung dalam 2 cara, baik secara langsung maupun tidak langsung.

a. Reaksi Langsung

Pada reaksi langsung, ozon akan bereaksi dengan bahan organik yang kemudian menghasilkan sebuah produk. Reaksi tersebut berlangsung secara lambat dan selektif.

Di bawah ini adalah reaksi langsung antara ozon dengan bahan organik.

$$O_3 + M \rightarrow \text{Produk} \qquad (2.6)$$

M : Bahan organik

b. Reaksi Tidak Langsung

Reaksi ozon secara tidak langsung melibatkan ion-ion radikal. Langkah awal reaksi ini adalah terdekomposisinya molekul ozon yang diakselerasi oleh inisiator berupa (OH^-) membentuk hidroksil radikal ($OH^\bullet$). Radikal hidroksil ini bereaksi dalam larutan secara cepat dan bersifat non-selektif. Mekanisme reaksi ini terbagi menjadi tiga langkah yaitu:

1. Inisiasi

Reaksi antara ion hidroksida dengan ozon membentuk anion superoksida radikal ($O_2^{\bullet-}$) dan hidroperoksida radikal ($HO_2^\bullet$) (Gunten, 2003).

$$O_3 + OH^- \rightarrow O_2^{\bullet-} + HO_2^\bullet \qquad (2.7)$$

Dimana hidroperoksida radikal tersebut berada pada keseimbangan asam basa.

$$HO_2^\bullet \leftrightarrow O_2^{\bullet-} + H^+ \qquad (2.8)$$

2. Propagasi (Pembentukan Hidroksil Radikal)

Tahap ini ditandai dengan terbentuknya anion ozon radikal ($O_3^{\bullet-}$) melalui reaksi antara ozon dengan anion superoksida radikal ($O_2^{\bullet-}$) dan terdekomposisi secara cepat menjadi hidroksil radikal ($OH^\bullet$) (Gunten, 2003).

$$O_3 + O_2^{\bullet-} \rightarrow O_3^{\bullet-} + O_2 \qquad (2.9)$$

$$HO_3^\bullet \leftrightarrow O_3^{\bullet-} + H^+ \qquad (2.10)$$

$$HO_3^\bullet \rightarrow OH^\bullet + O_2 \qquad (2.11)$$

Hidroksil radikal ($OH^\bullet$) yang terbentuk dapat bereaksi dengan ozon melalui reaksi berikut:

$$OH^\bullet + O_3 \rightarrow HO_4^\bullet \qquad (2.12)$$

$$HO_4^\bullet \rightarrow O_2 + HO_2^\bullet \qquad (2.13)$$

Dengan terurainya $HO_4^\bullet$ menjadi O_2 dan $HO_2^\bullet$ maka step rantai reaksi akan kembali ke awal step. Substansi senyawa kimia yang mengkonversi $OH^\bullet$ menjadi radikal superoksida $O_2^{\bullet-}/HO_2^\bullet$ bereaksi disebut sebagai promotor begitu pula dengan molekul organik (R) yang bereaksi dengan $OH^\bullet$ membentuk komponen organik radikal $R^\bullet$.

$$H_2R + OH^\bullet \rightarrow HR^\bullet + H_2O \qquad (2.14)$$

Jika terdapat molekul oksigen maka molekul organik peroksi radikal ($ROO^{\bullet}$) akan terbentuk. Reaksi selanjutnya adalah eliminasi $O_2^{\bullet-}/HO_2^{\bullet}$ dan kembali lagi ke rantai reaksi sebelumnya.

$$HR^{\bullet} + O_2 \rightarrow HRO_2^{\bullet} \quad (2.15)$$

$$HRO_2^{\bullet} \rightarrow R + HO_2^{\bullet} \quad (2.16)$$

$$HRO_2^{\bullet} \rightarrow RO + OH^{\bullet} \quad (2.17)$$

Terdekomposisinya molekul ozon karena terinisiasi ion hidroksida memicu terbentuknya hidroksi radikal yang bereaksi sangat cepat dan non-selektif.

2. Terminasi

Beberapa senyawa kimia organik dan inorganik bereaksi dengan $OH^{\bullet}$ membentuk radikal sekunder dengan tidak membentuk $O_2^{\bullet-}/HO_2^{\bullet}$. Jenis inhibitor ini menterminasi rantai reaksi dan mencegah ozon terdekomposisi (Gunten, 2003).

$$OH^{\bullet} + CO_3^{2-} \rightarrow OH^{-} + CO_3^{\bullet-} \quad (2.18)$$

$$OH^{\bullet} + HCO_3^{-} \rightarrow OH^{-} + HCO_3^{\bullet} \quad (2.19)$$

Kemungkinan lain dari tahap terminasi adalah bereaksinya antara dua buah radikal.

$$OH^{\bullet} + HO_2^{\bullet} \rightarrow O_2 + H_2O \quad (2.20)$$

Reaksi menunjukkan bahwa tiga buah molekul ozon dapat memproduksi dua buah $OH^{\bullet}$.

$$4O_3 + OH^{-} + H^{+} \rightarrow 2\ OH^{\bullet} + 4\ O_2 \quad (2.21)$$

Itenas library

2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Ozonisasi Fotokatalitik

Menurut Mehrjouei,2014. faktor – faktor yang berpengaruh pada ozonasi fotokatalitik adalah sebagai berikut :

1. Konsentrasi polutan dalam air

Konsentrasi polutan dalam air merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi oksidasi dan kesinergisan proses ozonasi fotokatalitik. Berdasarkan Rey, pada konsentrasi polutan yang tinggi, kesinergisan ozonasi fotokatalitik pada mineralisasi metoprolol akan membaik. Kenaikan konsentrasi polutan dalam air akan meningkatkan laju oksidasi proses ozonasi fotokatalitik ini yang disebabkan meningkatnya ketersediaan polutan untuk reaksi oksidatif dengan spesi oksidasi yang aktif, antara teradsorpsi pada fotokatalis atau dalam larutan. Sebagai contoh, pada degradasi zat aditif oksigenasi bahan bakar dalam air dengan ozonasi fotokatalitik, memperlihatkan bahwa pada kenaikan 10

kali lipat pada konsentrasi awal metil t-butil eter (MTBE), etil t-butil eter (ETBE) dan t-amil etil eter (TAEE) pada larutan aqueous meningkatkan laju degradasi sebanyak 14; 7,5; dan 6,5 kali secara berturut-turut. Perbedaan yang terjadi adalah karena perbedaan kemampuan adsorpsi dan laju reaksi zat aditif bahan bakar dengan ozon dan radikal OH.

2. Pengaruh pH

pH dapat mempengaruhi performa proses ozonasi fotokatalitik dalam tiga cara. Pertama, enaikan pH akan menggeser permukaan reaksi oksidasi menjadi media alkali yang memiliki anion hidroksida dengan kadar tinggi yang akan bereaksi dengan lebih efisien dengan lubang fotoeksitasi pada permukaan fotokatalis, mempercepat pembentukan radikal OH (R9). Kedua, vasiasi pH dapat mengubah efek tarikan elektrotatis antara permukaan bermuatan fotokatalis dan molekul polutan. Hal ini dapat mempengaruhi level adsorpsi kontaminan pada permukaan fotokatalis dan antarmuka transfer elektron. Ketiga, pH larutan menentukan kestabilan molekul ozon terlarut dalam air dan mengindikasikan terjadinya proses ozonasi. Nilai kritik pH ditentukan untuk setiap zat kimia dalam fasa cair yang diharapkan akan bervariasi untuk larutan yang berbeda. Saat nilai pH dibawah nilai kritik pH, reaksi oksidasi berkembang dalam molekul ozon. Saat nilai pH berada diatas nilai kritiknya, anion hidroksida (OH-) bereaksi sebagai inisiatol uktuk mempercepat dekomposisi ozon menghasilkan radikal hidroksida dengan cepat.

3. Pengaruh konsentrasi ozon

Molekul ozon harus larut dalam larutan kemudian berdifusi lalu teradsorpsi ke permukaan fotokatalis untuk melanjutkan proses oksidasi. Hal ini dilakukan untuk menaikkan keefektifan degradasi molekul polutan menggunakan ozonasi fotokatalitik. Oleh karena itu, variasi konsentrasi ozon dari media oksidasi dapat mempengaruhi aspek-aspek pada ozonasi fotokatalitik secara signifikan. Contohnya, ozonasi fotokatalitik dari anion oksalat pada larutan alkali menunjukkan kenaikan nilai konstanta adsorpsi untuk anion oksalat saat konsentrasi ozon dalam fasa cair meningkat. Hal ini dikaitkan pada stabilisasi pada photogenerated positive holes pada permukaan fotokatalis sebagai hasil reaksi antara photogenerated electrons dan molekul ozon teradsorpsi yang terarah pada peningkatan adsorpsi anion oksalat pada permukaan bermuatan positif fotokatalis. Berdasarkan literatur, terjadi kenaikan pada laju oksidasi dan/atau mineralisasi polutan air yang berbeda dengan ozonasi fotokatalitik dengan konsentrasi ozon dinaikkan.

itenas library

4. Pengaruh temperature

Temperatur air dapat memberi pengaruh pada ozonasi fotokatalitik yaitu mendorong atau menghalangi oksidasi. Pengaruh temperatur pada efisiensi degradasi untuk setiap rancangan oksidasi adalah konsekuensi dari banyak fungsi co-current dan/atau conter-current. Contohnya, menaikkan temperatur akan mengarah pada laju yang lebih tinggi untuk reaksi kimia yang melibatkan oksidasi heterogen dan sebagainya, akan menurunkan ketebalan lapisan difusi sekitar fotokatalis yang memberikan kondisi perpindahan massa yang lebih baik. Akan tetapi, peningkatan temperatur mengurangi waktu paruh dan kelarutan ozon dalam larutan dan pengurangan konsentrasi ozon akan memberi dampak negatif pada output dari ozonasi fotokatalitik. Berdasarkan isoterm adsprosi Langmuir, temperatur yang meningkat pada tekanan/konsentrasi tetap, laju adsorpsi polutan pada permukaan katalis akan berkurang dan jumlah teradsorpsi meningkat dengan lambat yang berarah pada terjadinya pengurangan pada degradasi kontaminan teradsorpsi.

2.4 AOP (Advanced Oxidation Processes)

Advanced Oxidation Process (AOPs) didefinisikan oleh Glaze et al. (1987) sebagai proses yang melibatkan pembentukan radikal aktif hidroksil (HO·) dalam jumlah yang cukup untuk proses penguraian air limbah dengan menggunakan oksidator kuat. Teori AOPs merupakan proses oksidasi lanjut dengan menggunakan kombinasi dari beberapa proses seperti ozon, hidrogen peroksida, ultraviolet, katalis, karbon aktif dan beberapa proses lainnya untuk menghasilkan hidroksil radikal.

2.4.1 Faktor-daktor yang mempengaruhi AOP

1. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman larutan sangat berpengaruh terhadap kestabilan atau dekomposisi ozon. Pada pH rendah dekomposisi ozon berlangsung sangat lambat sedangkan pH tinggi atau kondisi alkali dekomposisi ozon berlangsung cepat menjadi hidroksil radikal dan pada pH asam terjadi ozonisasi secara tidak langsung oleh radikal bebas, pada pH tersebut ozon terdekomposisi membentuk radikal bebas (OH, O_3, O_2) yang mengoksidasi kontaminan dalam larutan. Pada pH>6, dekomposisi ozon dengan adanya karbon aktif signifikan meningkat, ion hidroksil terserap pada permukaan karbon aktif membentuk O_3 dan OH.

2. Konsentrasi Ozon

Konsentrasi Ozon penting sebagai dasar untuk merancang pembangkit ozon dan sistem kontak. Dalam penerapannya reaksi ozonisasi, ozon tidak hanya digunakan dekomposisi ozon itu sendiri atau secara keseluruh untuk merubah kualitas air.

3. Temperatur

Dalam proses ozonisasi, temperatur sangat berpengaruh terhadap konsentrasi ozon pada larutan karena semakin tinggi suhu larutan maka kelarutan ozon akan semakin kecil, sementara itu laju reaksi akan meningkat. Pada proses ozonisasi akan lebih efektif bila temperatur operasi rendah karena konsentrasi ozon akan lebih banyak pada suhu tersebut

2.4.2 Kombinasi AOP

1. Kombinasi ozon dengan hidrogen peroksida

Hidrogen peroksida merupakan asam lemah. Ketika dikombinasikan dengan air akan terdisosiasi dalam bentuk hidro peroksida ion. Molekul hidrogen peroksida bereaksi sangat lambat dengan ozon, dimana hidro peroksida anion sangat reaktif (Taube and Bray, 1940).

2. Kombinasi ozon dengan ultraviolet

Fungsi dari kombinasi ozon dan ultraviolet adalah untuk menghasilkan hydroxyl radikal (OH), dimana sebuah radikal bebas yang memiliki potensial oksidasi yang sangat tinggi. Sedangkan lampu ultraviolet pada panjang gelombang tertentu akan efektif dalam proses membunuh bakteri.

Dimana Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$O3 + UV + H2O \rightarrow H2O2 + O2 \quad (1)$$

$$H2O2 + UV \rightarrow 2\,^{\bullet}OH \quad (2)$$

(Usada, Widdi. 2007)

3. Kombinasi ozon dengan katalis

Katalis adalah substansi yang mempercepat reaksi tetapi tidak terkonsumsi pada reaksi tersebut. Senyawa antara yang dihasilkan bersifat sangat aktif sehingga secara cepat dapat mengalami perubahan megikuti tahap reaksi yang berlangsung sampai akhirnya menjadi produk dan meninggalkan katalis kembali kebentuk semula. Hal ini disebabkan karena katalis dapat menurunkan energi aktivasi suatu reaksi.

4. Kombinasi ozon dengan karbon aktif

Dalam teknik ozonasi–adsorpsi, karbon aktif tak hanya bertindak sebagai adsorben, tetapi juga sebagai katalis dalam meningkatkan reaksi oksidasi ozon mengindikasikan bahwa teknik ini dapat mendegradasi senyawa fenolik dalam limbah cair lebih cepat dan efisien dari teknik ozonasi dan adsorpsi tunggal. Mekanisme kombinasi ozonasi–adsorpsi terdiri dari reaksi kimia yang melibatkan adsorpsi, *surface reaction*, desorpsi dan reaksi lainnya pada larutan (Qu *et al*., 2007). Kabon aktif yang brfungsi sebagai katalis diantaranya adalah :

a. Carbon Nanotube (CNT)

Carbon nanotube adalah salah satu struktur *carbon* yang berbentuk seperti silinder dengan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan *carbon nanotube* membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano. *Carbon nanotube* merupakan turunan dari struktur *carbon*. *Carbon nanotube* dapat dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom *carbon*. Struktur *carbon nanotube* yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur *carbon* lainnya. Kelebihannya ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya. (Eka Maulana, 2014)

Dimana reaksi yang terjadi anatara ozon (O3) dengan CNT didalam larutan bersifat basa sebagai berikut :

$$OH^- + C^* \rightleftarrows C^* - OH^- \qquad (1)$$

Dimana C* ini adalah CNT yang merupakan pusat dari adsorpsi karbon. Lalu ozon akan bereaksi dengan ion hidroksida yang teradsorpsi dan menghasilkan hidroksil radikal (OH*) (Morales-Lara, 2013).

$$C^* - OH^- + O_3 \rightleftarrows C^* - O_3 + OH^{\blacksquare} \qquad (2)$$

b. *Graphene Nanoplatelets* (GNP)

Graphene nanoplatelets dengan ketebalan rata-rata dari 5 - 10 nanometer terdiri dari tumpukan lembaran graphene berbentuk platelet pendek yang identik dengan yang ditemukan di dinding karbon nanotube, tetapi dalam bentuk planar. Kemampuan ikatan hidrogen atau kovalen dapat ditambahkan melalui fungsionalisasi di bagian tepi platelet. Peningkatan sifat tahanan dan sifat mekanik (kekakuan, kekuatan, dan kekerasan permukaan) dapat dicapai oleh GNP karena ukuran dan bentuknya yang unik. Nanoplatetet juga merupakan konduktor listrik dan termal yang sangat baik sebagai hasil dari komposisi dari grafit murni. (Gary, 2017)

2.5 Hasil Penelitian Zat Warna Terdahulu Menggunakan Teknologi Berbasis AOP

Penelitian dengan teknologi AOP dalam penyisihan zat warna telah banyak dilakukan, diantaranya yaitu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nur Rohmah dan Anto Tri Sugiarto (2008) dengan menggunakan Teknologi AOP (Advanced Oxidation Processes) yang menghasilkan hidroksil radikal dapat mengoksidasi salah satunya pewarna. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pH dan konsentrasi zat warna terhadap penguraian zat warna Remazol Navy Blue Scarlet pada limbah artifisial yang mengandung zat warna tersebut dengan teknologi AOP kombinasi ozon dan UV. Penelitian dilakukan dengan cara mengontakkan limbah artifisial dengan reeaktor AOP kombinasi ozon dan UV (UV 254 nm/O3 13,75 g/m3) pada variasi pH yaitu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 dengan variasi waktu kontak 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit. Untuk variasi konsentrasi warna yaitu 60, 80, 100, 120 ppm dengan variasi waktu kontak 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, dan 16 menit. Hasil efisiensi variasi pH terbaik diperoleh pada pH 2 di menit ke-16 yaitu 99,21%. Namun apabila diterapkan dalam pengolahan limbah industri tekstil, maka pH yang terbaik adalah pH 10, karena dalam waktu singkat 2-10 menit dapat mencapai efisiensi sebesar 80,75% – 98,30%, sehingga dapat menghemat biaya operasional. Selain itu, sebagian besar limbah tekstil yang dihasilkan oleh industri tekstil berada pada pH 12, sehingga tidak efisien apabila harus diolah pada pH 2. Sedangkan, hasil efisiensi variasi konsentrasi zat warna terbaik diperoleh pada konsentrasi zat warna 100 ppm dan 120 ppm di menit ke-16 yaitu 99,24%. Namun secara keseluruhan hasil efisiensi terbaik pada tiap waktunya, efisiensi terbaik adalah pada konsentrasi zat warna 100 ppm.

Itenas library

Pada penelitian yang dilakukan Tuty Emilia Agustina dan Muhammad Amir (2012) teknologi AOP dilakukan dengan menggunakan metode reagen Fenton. Agar pengolahannya dapat optimum, maka perlu diketahui pengaruh dari temperatur dan waktu terhadap pengolahan pewarna sintetis yang menggunakan metode tersebut. Pada penelitian tersebut, digunakan pewarna sintetis procion merah dan procion biru dengan konsentrasi 150 – 250 mg/L, kecepatan pengadukan 200 rpm, reagen Fenton dengan konsentrasi H2O2 80 mM dan FeSO4.7H2O 4 mM, pH 3, waktu pengadukan 0 – 60 menit, dan temperatur 25 – 55 °C. Hasil yang didapatkan untuk mencapai degradasi warna 100% adalah pada temperatur 55 oC dan waktu pengadukan 60 menit. Kondisi tersebut selanjutnya diaplikasikan pada limbah cair pewarna kain jumputan, didapatkan degradasi warna 100 % dan penurunan COD sebesar 66 % yang dicapai dengan waktu pengadukan 120 menit.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Aditya Rahmat Faui dan Tuhu Agung R (2015) teknologi AOP digunakan untuk pengolahan limbah batik. Penelitian tetrsebut bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan limbah batik dengan metode kombinasi fenton dan fotokatalis berdasarkan pengaruh perbandingan rasio molar serta waktu pengolahan. Penelitian tersebut juga membuktikan kombinasi proses oksidasi tingkat lanjut dapat meningkatkan efisiensi pengolahan. Proses kombinasi dilakukan dengan 7 liter air limbah, variasi waktu 5,30,60,90 dan 120 menit. Menggunakan perbandingan rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ sebesar (10:0,1),(10:0,15),(10:0,2),(0:0,25),(10:0,3), kadar TiO_2 2,5 gram dan lampu UV 30 watt. Dari hasil penelitian ini didapat efisiensi pengolahan COD, TSS, Warna pada limbah batik yang dihasilkan menggunakan kombinasi proses fenton - fotokatalis TiO_2 masing-masing sebesar 83,3%, 92,5%, 84,6% pada perbandingan rasio molar H_2O_2:$FeSO_4$ 10:0,25 dengan waktu kontak 120 menit dan dalam kondisi pH 5.

Itenas library