

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Terbang

Abu terbang adalah limbah sisa pembakaran batubara yang berupa bubuk halus dan ringan yang keluar dari campuran gas pada tungku ruang pembakaran. Secara kimiawi abu terbang merupakan material oksida anorganik yang mengandung silica dan alumina aktif karena sudah melalui proses pembakaran pada suhu tinggi (Hidayat,1986).

Abu terbang terdiri dari partikel halus yang meningkat dengan gas buang, sedangkan abu yang tidak naik disebut abu dasar. Abu terbang umumnya ditangkap oleh debu elektrostatis atau filtrasi partikel peralatan lainnya sebelum gas buang mencapai cerobong asap dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara, dan bersama-sama dengan abu dasar (bottom ash) dikeluarkan dari bagian bawah tanur. Tergantung pada sumber dan makeup dari batubara yang dibakar, komponen abu terbang bervariasi, tapi semua abu terbang termasuk sejumlah besar silikon dioksida (SiO_2) dan oksida kalsium (CaO).

2.1.1 Sifat-Sifat Abu Terbang

Abu terbang mempunyai sifat-sifat yang sangat menguntungkan di dalam menunjang pemanfaatannya yaitu :

1. Sifat Fisik

Abu terbang merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batubara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminus lebih kecil dari 0,075mm. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000

kg/m³ dan luas area spesifiknya (diukur berdasarkan metode permeabilitas udara Blaine) antara 170 sampai 1000 m²/kg. Adapun sifat-sifat fisiknya antara lain :

- Warna : abu-abu keputihan
 Ukuran butir : sangat halus yaitu sekitar 88 %

2. Sifat Kimia

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah silikat (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Sifat kimia dari abu terbang batubara dipengaruhi oleh jenis batubara yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran batubara lignit dan sub-bituminous menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan magnesium oksida lebih banyak daripada bituminous. Namun, memiliki kandungan silika, alumina, dan karbon yang lebih sedikit daripada bituminous.

Tabel 2. Komposisi kimia abu terbang batubara berdasarkan jenis batubara

Komponen	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20-60%	40-60%	15-45%
Al ₂ O ₃	5-35%	20-30%	10-25%
Fe ₂ O ₃	10-40%	4-10%	4-15%
CaO	1-12%	5-30%	15-40%
MgO	0-5%	1-6%	3-10%
SO ₃	0-4%	0-2%	0-10%
Na ₂ O	0-4%	0-2%	0-6%
K ₂ O	0-3%	0-4%	0-4%

Sumber : <http://abubatubara.blogspot.com/2008/07/manfaat-abu-batubara.html>

2.2 Limbah Industri Tekstil

2.2.1 Pengertian Limbah

Menurut Pramudya Sunu (2001:113), limbah dalam konotasi sederhana dapat diartikan sebagai sampah. Limbah adalah sampah cair dari lingkungan masyarakat dan terutama terdiri dari air yang telah digunakan dengan hampir 0,1 % berupa benda-benda padat yang terdiri dari zat organik dan anorganik.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 Pasal 8 tentang Pengolahan Lingkungan Hidup, klasifikasi dan kriteria mutu air ditetapkan menjadi empat golongan, yaitu :

1. Golongan I, yaitu air yang dapat digunakan sebagai air murni secara langsung tanpa diolah terlebih dahulu.
2. Golongan II, yaitu air dapat digunakan sebagai air baku untuk diolah sebagai air minum dan keperluan rumah tangga dan lainnya.
3. Golongan III, yaitu air yang digunakan untuk keperluan perikanan dan peternakan.
4. Golongan VI, yaitu air yang dapat digunakan untuk keperluan pertanian, untuk usaha perkotaan, industri dan listrik tenaga air.

2.2.2 Limbah Cair Industri Tekstil

Priyo Atmaji et al (1999 : 9) mengemukakan bahwa produksi tekstil dimulai dari pemintalan serat sampai kain jadi (tekstil), melewati beberapa tahap proses yang keseluruhannya berpotensi menghasilkan limbah padat, gas maupun cair. Produksi limbah cair industri tekstil bersumber dari proses *dyeing*, *washing*, *sizing*, *printing* dan *finishing*. Limbah hasil pewarnaan pada industri tekstil mengandung komponen diantaranya sisa zat warna (*dyestuff*), garam (*glauber salt*), *caustic soda* dan bahan-bahan aditif seperti urea, *sodium alginate*, *sodium bicarbonat*, serta air (sisa pewarnaan dan pencucian). Kurang lebih 24 % dari zat warna dan 68 % dari garam-garam yang digunakan pada proses pewarnaan lolos sebagai limbah.

Menurut Suharty dalam Sajidan (1999:1), krom merupakan salah satu logam berat yang dihasilkan dari proses produksi pada industri tekstil. Krom yang dihasilkan berasal dari senyawa krom yang digunakan pada proses pencelupan baik sebagai zat warna (dalam senyawa CrCl_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) maupun sebagai mordan yaitu pengikat zat warna, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$, dan PbCrO_4 . Industri tekstil merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar. Limbah yang dihasilkan dapat berasal dari beberapa proses. Pada umumnya air limbah yang dihasilkan dapat berasal dari beberapa proses yaitu : *coustik scouring*, *sizing*

(penganjiran), *bleaching* (pemutihan), *mercerizing*, *dyeing* (pewarnaan), *washing* (pencucian), *Finishing*.

1. *Caustik Scouring*

Proses kaustik merupakan proses pemasakan dengan tujuan untuk menambahkan zat pengotor pada serat. Hal ini dilakukan dengan cara menambahkan bahan kimia yaitu surfaktan yang biasanya berupa bahan organik yang sukar diuraikan oleh mikroorganisme. (<http://forlink.dlm.or.id/pterapb/tekstile/13e.htm>, 4 Maret 2006).

2. *Process Sizing*

Proses ini bertujuan untuk melindungi serat dari kerusakan. Proses ini dilakukan pada proses penenunan atau perajutan. Bahan yang digunakan adalah kanji, *polivinilalkohol*, dan *carboxyl methyl cellulose* (cmc). Adanya sisa-sisa kanji dalam air limbah industri menyebabkan nilai BOD air limbah tinggi. Peruraian senyawa tersebut oleh *mikroorganisme* dapat menurunkan kandungan oksigen air limbah sehingga dapat mencemari lingkungan.

3. *Process Bleaching*

Merupakan proses pemutihan, biasanya dilakukan dengan menambahkan bahan kimia seperti hidrogen peroksida, hipoklorit atau klorin dengan kombinasinya diberikan kaustik soda dan natrium silikat. Senyawa klorin dan hidrogen peroksida merupakan oksidator dan dapat meracuni biota perairan.

4. *Process Mercerizing*

Proses ini bertujuan untuk memperbaiki kenampakan, kekuatan dan daya serap kain terhadap zat warna. Pada proses ini kain dimasak dengan larutan kaustik soda 20-25 % dan ditarik pada suhu dibawah 20° C.

5. *Process Dyeing*

Proses ini merupakan proses pewarnaan yang bertujuan untuk membuat tekstil lebih menarik sebagai bahan pewarna tergantung pada jenis-jenis serat dan warna yang diinginkan. Pada proses pewarnaan ditambahkan bahan-bahan pembantu, seperti surfaktan, asam, basa, garam, dan senyawa lain seperti zat anti reduksi, zat anti luntur dan sebagainya. Proses pewarnaan dengan pencapaian atau printing tidak banyak menghasilkan limbah tetapi untuk proses

pewarnaan dengan pencelupan akan banyak menghasilkan limbah.

6. *Process Washing*

Proses ini dilakukan setelah proses *coustik scouring*, *bleaching*, *mercerizing* dan *dyeing*. Pada proses pencucian akhir seringkali digunakan detergen kationik, sehingga selain mengandung sisa bahan pewarna dan bahan pembantu, air limbahnya juga akan mengandung sisa detergen.

7. *Process Finishing*

Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas tertentu pada tekstil dengan menambahkan bahan kimia sehingga tekstil mempunyai sifat tertentu, misalnya : halus, tahan api, tahan air, anti kusut, tahan bakteri, tahan minyak dan sebagainya. Proses ini banyak menghasilkan limbah cair. Proses-proses tersebut menghasilkan limbah cair dengan volume yang besar dan pH yang sangat bervariasi. Bahan pencemaran sangat tergantung pada proses dan zat kimia yang digunakan. Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD yang tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai seperti fenol dan logam. Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tekstil memiliki karakteristik fisik dan kimia yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Limbah cair terutama dihasilkan dari proses penyempurnaan tekstil. Limbah cair akan mengandung bahan-bahan yang dilepas dari serat, sisa bahan kimia yang ditambahkan pada proses penyempurnaan tersebut, serta serat yang terlepas dengan cara kimia atau mekanik selama proses produksi berlangsung.

Air limbah tekstil terlihat keruh berwarna, kadang-kadang panas dan berbusa. Limbah cair tekstil berwarna karena pada proses pembuatan tekstil menggunakan zat warna. Zat warna tekstil merupakan suatu senyawa organik yang akan memberikan nilai COD dan BOD. Penghilangan zat warna dari air limbah tekstil akan menurunkan COD dan BOD air limbah tersebut. Limbah cair tekstil mengandung berbagai jenis bahan organik dan anorganik dengan nilai pH rendah, padatan tersuspensi, COD dan BOD tinggi, serta bahan beracun berupa senyawa fenol dan logam berat. Kandungan bahan organik dan anorganik dalam air limbah tersebut akan memberikan beban pencemaran tinggi pada badan air penerima

yang dapat mengakibatkan terganggunya kehidupan biota air atau siklus ekologi yang berdampak luas bagi kehidupan.

Senyawa beracun yang terdapat dalam limbah cair tekstil salah satunya adalah fenol. Fenol termasuk salah satu limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya), karena sifatnya yang dapat merusak susunan syaraf pusat dan merupakan pengikis jaringan tubuh. Fenol dapat meracuni ikan dan bakteri dalam instalasi pengolahan limbah.

Fenol dan derivat-derivatnya merupakan polutan yang sangat berbahaya di lingkungan karena bersifat racun dan sangat sulit didegradasi oleh organisme pengurai. Fenol adalah senyawa kimia yang bersifat korosif yang dapat menyebabkan iritasi jaringan, kulit, mata dan mengganggu pernafasan manusia. Nilai ambang batas senyawa fenol untuk baku mutu air minum sebesar 0,001 ppm, buangan air industri sebesar 0,3 ppm (Masykuri, et al, 2005 : 1).

Fenol termasuk senyawa aromatik yang di alam dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Bahan organik aromatik sebagian besar akan ditransformasi oleh *mikroorganisme* dan akan mengalami degradasi melalui mekanisme *ortho pathway* atau *meta pathway* pada kondisi aerob, sedangkan pada kondisi anaerob senyawa aromatik mengalami penambahan gugus karboksil atau hidrosil sebelum reduksi cincin aromatik (Sembiring, Merick, 1998 : 2).

2.2.3 Karakteristik Limbah Cair

Untuk mengetahui lebih luas tentang air limbah, perlu kiranya diketahui karakteristik dari air limbah. Karakteristik dari air limbah diklasifikasikan menjadi karakteristik fisika, kimia dan biologi.

1. Karakteristik Fisika

a. Suhu

Kenaikan suhu dapat dipengaruhi oleh kondisi udara di sekitarnya. Kondisi ini sangat mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen, kerapatan air dan tekanan permukaan.

b. Kekeruhan

Adanya koloid, bahan pencemar, *plankton* serta beberapa jenis mineral

akan menyebabkan kekeruhan pada air. Kondisi ini sangat mengganggu pemandangan dan kehidupan biologis yang ada dalam air limbah.

c. Bau

Timbulnya bau pada air lingkungan merupakan indikasi kuat bahwa air telah tercemar. Bau yang keluar dari dalam air dapat langsung berasal dari limbah industri atau dari hasil degradasi oleh mikroba yang hidup dalam air. Mikroba yang hidup di dalam air akan mengubah bahan buangan organik, terutama gugus protein, secara degradasi menjadi bahan yang mudah menguap dan berbau. Air yang berbau sulfid dapat disebabkan oleh reduksi sulfat dengan adanya bahan-bahan organik dan *mikroorganisme*.

d. Rasa

Bau yang tidak normal pada air, pada umumnya mempunyai rasa yang tidak normal pula. Pelarutan ion-ion logam dapat mengubah konsentrasi ion hidrogen dalam air yang dapat menimbulkan rasa pada air. Adanya rasa pada air pada umumnya terjadi karena perubahan pH air dari kondisi normal.

e. Warna

Limbah cair yang mengandung bahan organik dan anorganik seringkali merugikan lingkungan di dalam air sehingga air tidak lagi bening tetapi menjadi berwarna.

2. Karakteristik Kimia

Kandungan bahan kimia yang terdapat dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Adapun bahan kimia yang penting yang ada dalam air limbah pada umumnya adalah :

1. Bahan Organik.

Bahan organik yang banyak dalam air limbah akan mempersulit dalam pengelolaan air limbah sebab beberapa zat tidak dapat diuraikan oleh *mikroorganisme*.

2. Protein

Protein sangat kompleks dalam struktur kimianya dan tidak stabil, akan berubah menjadi bahan lain pada proses dekomposisi. Seluruh protein mengandung karbon, yang biasanya adalah kandungan bahan organik seperti

halnya dengan hidrogen dan oksigen. Protein merupakan penyebab utama terjadinya bau karena adanya proses pembusukan dan penguraian.

3. Karbohidrat

Karbohidrat berisikan karbon, hidrogen dan oksigen. Karbohidrat merupakan gabungan dari polihidroksilated seperti gula, selulosa.

4. pH

Air limbah yang belum terolah yang dibuang langsung ke badan air akan mengubah pH air yang dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam sungai. Air limbah dengan konsentrasi yang tidak netral akan menyulitkan proses biologis, sehingga mengganggu proses penjernihan. pH yang baik bagi air minum dan air limbah adalah netral (7).

5. Fenol

Fenol merupakan penyebab timbulnya rasa pada air. Fenol dihasilkan dari industri dan bila konsentrasi mencapai 500 mg/l masih dapat dioksidasi melalui proses biologi, akan tetapi akan sulit penguraiannya apabila telah mencapai kadar yang melebihi 500 mg/l.

6. Logam Berat

Keberadaan logam berat seperti nikel (Ni), magnesium (Mg), timbal (Pb), kromium (Cr), kadmium (Cd), Zeng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe) dan air raksa (Hg) dalam air limbah perlu diawasi karena mempunyai daya racun (Pramudya Sunu, 2001 : 111 – 131).

3. Karakteristik Biologi

Karakteristik biologis air limbah sangat penting untuk diketahui karena untuk mengetahui apakah ada bakteri-bakteri patogen dalam air limbah. Biasanya dibedakan dalam jenis jamur, ganggang, protozoa, virus dan sebagainya. Bakteri yang terdapat di dalam air limbah akan mengoksidasi air limbah terutama bahan organiknya. Konsentrasi bahan orgaik yang ada dalam air limbah dinyatakan dalam jumlah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi. Kebutuhan oksigen dinyatakan dalam bentuk BOD dan COD. BOD (*Biological Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam

air lingkungan untuk mendegradasi bahan buangan organik yang ada di dalam sistem air lingkungan. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Kekuatan air limbah seringkali ditentukan oleh BOD atau CODnya (Parmudya Sunu, 2001 : 115).

Senyawa-senyawa organik banyak yang bersifat racun, tahan terhadap degradasi alamiah, dan memerlukan penanganan khusus sebelum dapat dibuang dengan aman. Pembuangan bahan-bahan organik dapat dilakukan dengan menggunakan pelarut-pelarut dan didaur ulang kembali. Proses ini sangat bermanfaat terutama dalam mengolah air limbah yang mengandung pestisida berkalor (Austin, 1996 : 43).

2.2.4 Pengolahan Limbah Cair

Air limbah ini umumnya dibuang melalui saluran/got menuju sungai ataupun laut. Terkadang dalam perjalannya menuju laut, air limbah ini dapat mencemari sumber air bersih yang dipergunakan oleh manusia. Dengan demikian penanganan air limbah perlu mendapat perhatian serius. Selain dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, air limbah juga dapat mengganggu lingkungan, hewan, ataupun bagi keindahan.

Teknologi pengolahan limbah cair adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Apapun macam teknologi pengolahan air limbah domestik maupun industri yang dibangun harus dapat dioperasikan dan dipelihara oleh masyarakat setempat. Jadi teknologi pengolahan yang dipilih harus sesuai dengan kemampuan teknologi masyarakat yang bersangkutan.

Berbagai teknik pengolahan air buangan untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum terbagi menjadi 3 metode pengolahan:

a. Pengolahan Secara Fisika

Pada umumnya, sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, diinginkan agar bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan yang

mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

b. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air buangan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun, dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Kegiatan dalam proses kimia diantaranya adalah pengendapan, koagulasi, flokulasi, netralisasi, presepitasi.

c. Pengolahan Secara Biologi

Semua air buangan yang *biodegradable* dapat diolah secara biologi. Sebagai pengolahan sekunder, pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien.

Limbah cair yang akan dibuang ke sungai setelah mengalami proses pengolahan harus sesuai dengan baku mutu air limbah agar tidak berdampak mencemari lingkungan, adapun baku mutu limbah cair yaitu sebagai berikut :

Tabel 3. Baku mutu limbah cair untuk industri tekstil

Parameter	Unit	Bahan Mutu Limbah Cair Industri Tekstil Kadar Maksimum
BOD5	mg/l	85
TSS	mg/l	60
COD	mg/l	250
Minyak/Lemak	mg/l	5.0
Krom, Total	mg/l	2.0
Fenol	mg/l	1.0
Sulfida	mg/l	-
Warna	-	-
pH	-	6.0-9.0

Sumber : Arena Tekstil, No.24 tahun 2005 dan baku Mutu limbah cair Lampiran A.IX Keputusan Menteri Neg. lingkungan Hidup No.Kep-51/MENLH/10/2005.

2.3 Pewarna Tekstil

Tekstil adalah material fleksibel yang terbuat dari tenunan benang. Tekstil dibentuk dengan cara penyulaman, penjahitan, pengikatan, dan cara *ressing*. Istilah tekstil dalam pemakaiannya sehari-hari sering disamakan dengan istilah kain. Namun ada sedikit perbedaan antara dua istilah ini, tekstil dapat digunakan untuk menyebut bahan apapun yang terbuat dari tenunan benang, sedangkan kain merupakan hasil jadinya, yang sudah bisa digunakan.

Pada proses pewarnaan, zat warna yang digunakan pada umumnya tidak akan masuk seluruhnya ke dalam bahan tekstil, sehingga efluen yang dihasilkan masih mengandung residu zat warna. Hal inilah yang menyebabkan efluen tekstil menjadi berwarna-warni dan mudah dikenali pencemarannya apabila dibuang langsung ke perairan umum. Selain itu kandungan residu zat warna dan zat-zat pembantu pencelupan yang digunakan akan memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap total beban efluen industri tekstil. Masalah lingkungan yang utama dalam industri tekstil adalah limbah dari proses pencelupan. Zat warna, logam berat dan konsentrasi garam yang tinggi merupakan *polutan* air. Usaha utama yang perlu dilakukan guna mengurangi bahan kimia tersebut adalah penghilangan material toksik dari efluen (Balai Besar Tekstil, 2005).

Residu zat warna maupun garam dalam efluen akan menyebabkan polusi dan residu zat warnanya adalah cukup tinggi, yaitu sekitar 20-50 % dari zat warna yang digunakan. Diketahui pula apabila digunakan pada pencelupan dengan sistem perendaman, maka zat warna yang terdapat dalam efluen adalah sekitar 60-70 mg/l. Pengolahan efluen yang mengandung zat warna tersebut, baik dari segi penurunan beban pencemaran maupun warnanya adalah sangat sulit, karena sukar didegradasi baik secara metoda kimia maupun biologi (Balai Besar Tekstil, 2005).

a. Zat warna azo sebagai zat warna reaktif

Zat warna tekstil umumnya dibuat dari senyawa *azo* dan turunannya yang merupakan gugus benzena. Diketahui bahwa gugus benzena sangat sulit

didegradasi, walaupun dimungkinkan dibutuhkan waktu yang lama. Senyawa *azo* bila terlalu lama berada di lingkungan, akan menjadi sumber penyakit karena sifatnya karsinogen dan mutagenik. Karena itu perlu dicari alternatif efektif untuk menguraikan limbah tersebut.

Zat warna *azo* adalah senyawa yang paling banyak terdapat dalam limbah tekstil, yaitu sekitar 60 %-70 % (Waite, *et al.*, 2006). Senyawa *azo* memiliki struktur umum $R-N=N-R'$. Senyawa ini memiliki gugus $-N=N-$ yang dinamakan struktur *azo*. Senyawa *azo* dapat berupa senyawa aromatik atau alifatik. Senyawa *azo* aromatik bersifat stabil dan mempunyai warna menyala. Senyawa *azo* alifatik seperti dimetildiazin lebih tidak stabil. Senyawa *azo* digunakan sebagai bahan celup, yang dinamakan *azo dyes* (Maria, 2007).

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Pada tabel 2 dapat dilihat beberapa nama gugus kromofor dan memberi daya ikat terhadap serat yang diwarnainya.

Golongan kation : $-NH_2$; NH_3^+ ; $i-NR_2$ (seperti NR_2Cl)

Golongan anion : $-SO_3H$; $-OH$; $-COOH$.

Tabel 4. Nama dan Struktur Kimia Kromofor

Nama Gugus	Struktur Kimia
Nitroso	NO atau (-N-OH)
Nitro	NO_2 atau (NN-OOH)
Grup Azo	$-N=N-$
Grup Etilen	$-C=C-$
Grup Karbonil	$-C=O-$
Grup Karbon-Nitrogen	$-C=NH$; $CH=N-$
Grup Karbon Sulfur	$-C=S$; $-C-S-S-C-$

Sumber : Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Aerob-Anaerob, Riza Solati 2008

Zat warna *azo* merupakan jenis zat warna sintetis yang cukup penting. Zat warna yang berkromofor *azo* ini yang paling banyak adalah zat warna reaktif. Zat warna reaktif terikat pada serat dengan ikatan *kovalen* yang sifatnya lebih kuat daripada ikatan lainnya sehingga sukar dilunturkan. Lingkungan zat warna *azo* sangat luas, dari warna kuning, merah, jingga, biru AL (*Navy Blue*), violet dan hitam. 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 sintetis seperti serat poliamida, poliester dan poliakrilat. Bahan tekstil sintetis ini, terutama serat poliester, kebanyakan hanya dapat dicelup dengan zat warna dispersi (Renita, 2004).

b. Congo red sebagai zat warna azo

Congo red merupakan bahan kimia yang memiliki potensi bahaya terhadap kesehatan tubuh manusia, diantaranya bila tertelan dapat mengakibatkan rasa mual pada lambung, muntah dan diare. Bahan ini juga bila terkena mata dan teradsorpsi pada kulit dapat menyebabkan iritasi, dapat mengakibatkan kerusakan sistem pernapasan, menyebabkan kanker serta menyebabkan gangguan reproduksi dan janin.

Congo red (CR) yang memiliki rumus molekul $C_{32}H_{22}N_6O_6S_2Na_2$ juga dikenal dengan nama natrium difenil-bis-alfa-naftilamin sulfonat. *Congo red* berbentuk bubuk berwarna merah kecoklatan, di dalam air akan berwarna merah kekuningan, sedangkan jika dilarutkan dalam etanol berwarna orange. Kelarutannya dalam air adalah sebesar 25 g/L, dan pHnya sekitar 6,7 pada temperatur 20°C. Pada konsentrasi rendah, spektrum adsorpsi UV-Vis menunjukkan intensitas puncak sekitar 498 nm dalam larutan aqueous (http://en.wikipedia.org/wiki/Congo_red).

Selain dapat larut dalam air *Congo red* juga dapat larut dalam alkohol dan sedikit larut dalam aseton namun tidak larut dalam eter. *Congo red* selain sering digunakan sebagai zat warna atau pencelup juga biasa digunakan sebagai indikator, zat warna biologis dan bahkan untuk keperluan diagnostik.

Penelitian ini menggunakan *Congo red* sebagai zat pewarna yang diadsorpsi dikarenakan *Congo Red* mempunyai struktur diazo dengan rantai panjang dan penggunaannya yang luas. *Congo red* termasuk limbah yang berbahaya bila terdapat dalam ekosistem.

2.4 Adsorpsi

2.4.1 Proses Adsorpsi

Adsorpsi (penyerapan) adalah suatu proses pemisahan dimana komponen dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap dilepaskan pada adsorpsi kimia yang merupakan ikatan kuat antara penyerap dan zat yang diserap sehingga tidak mungkin terjadi proses yang bolak-balik. Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban, dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon.

2.4.2 Macam-Macam Adsorpsi

Ada dua jenis adsorpsi berdasarkan penyerapannya, yaitu (Kipling,1965) :

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi jenis ini bersifat reversibel, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor kecil, interaksi yang dianggap hanya menghasilkan gaya *van der Waals* dan dapat terjadi pada semua proses adsorpsi serta berlangsung pada temperatur rendah.

2. Adsorpsi Kimia

Terjadi dalam bentuk reaksi kimia, membutuhkan energi aktivasi. Kalor penyerapan tinggi terjadi karena reaksi-reaksi yang membentuk reaksi kimia. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi secara fisika dan sulit diregenerasi.

Tabel 5. Perbedaan adsorpsi fisik dan kimia

Adsorpsi Fisik	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya <i>van der Waals</i>	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai entalpi reaksi ± 4 sampai ± 40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi ± 40 sampai ± 800 kJ/mol
Membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
Terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Terjadi pada suhu tinggi
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

Sumber : <http://www.scribd.com/doc/42622049/Fenomena-Adsorpsi-2011>

2.4.3 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat kimia dan fisika (Reynolds, 1982). Proses adsorpsi tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang diserap, konsentrasi, temperatur dan lain-lain. Pada proses adsorpsi terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler/pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben. (proses adsorpsi sebenarnya) (Reynolds, 1982).

Operasi dari proses adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Proses adsorpsi dilakukan dalam suatu bak dengan sistem pengadukan, dimana penyerap yang biasanya berbentuk serbuk dibubuhkan, dicampur dan

diaduk dengan air dalam suatu bangunan sehingga terjadi penolakan antara partikel penyerap dengan fluida.

2. Proses adsorpsi yang dijalankan dalam suatu bejana dengan sistem filtrasi, dimana bejana yang berisi media penyerap di alirkan air dengan model pengaliran gravitasi. Jenis media penyerap sering digunakan dalam bentuk bongkahan atau butiran/granular dan proses adsorpsi biasanya terjadi selama air berada di dalam media penyerap (Reynold, 1982).

2.4.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Faktor-faktor yang memepengaruhi proses adsorbsi;

1. *Agitation* (Pengadukan)

Tingkat adsorbsi dikontrol baik oleh difusi film maupun difusi pori, tergantung pada tingkat pengadukan pada sistem.

2. Karakteristik Adsorban (Karbon Aktif)

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik penting karbon aktif sesuai dengan fungsinya sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorbsi, tingkat adsorbsi naik dengan adanya penurunan ukuran partikel. Oleh karena itu adsorbsi menggunakan karbon PAC (*Powdered Acivated Carbon*) lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan karbon GAC (*Granular Acivated Carbon*). Kapasitas total adsorbsi karbon tergantung pada luas permukaannya. Ukuran partikel karbon tidak mempengaruhi luas permukaannya. Oleh sebab itu GAC atau PAC dengan berat yang sama memiliki kapasitas adsorbsi yang sama.

3. Kelarutan Adsorbat

Senyawa terlarut memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap pelarutnya sehingga lebih sulit diadsorbsi dibandingkan senyawa tidak larut.

4. Ukuran Molekul Adsorbat

Tingkat adsorbsi pada alifatik, aldehid atau alkohol biasanya naik diikuti dengan kenaikan ukuran molekul. Hal ini dapat dijelaskan dengan kenyataan bahwa gaya tarik antara karbon dan molekul akan semakin besar ketika ukuran

molekul semakin mendekati ukuran pori karbon. Tingkat adsorpsi tertinggi terjadi jika pori karbon cukup besar untuk dilewati oleh molekul.

5. pH

Asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi basa organik efektif pada pH tinggi.

6. Temperatur

Tingkat adsorpsi naik diikuti dengan kenaikan temperatur dan turun diikuti dengan penurunan temperatur (Benefield, 1982).

Proses penyerapan dalam adsorpsi dipengaruhi :

1. Bahan Penyerap

Bahan yang digunakan untuk menyerap mempunyai kemampuan berbeda-beda, tergantung dari bahan asal dan juga metode aktivasi yang digunakan.

2. Ukuran Butir

Semakin kecil ukuran butir, maka semakin besar permukaan sehingga dapat menyerap kontaminan makin banyak. Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukkan oleh kecepatan difusi zat terlarut ke dalam pori-pori partikel adsorben. Ukuran partikel yang baik untuk proses penyerapan antara -100 sampai +200 mesh.

3. Derajat Keasaman (pH larutan)

Pada pH rendah, ion H^+ akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan diserap, sehingga efisiensi penyerapan turun. Proses penyerapan akan berjalan baik bila pH larutan tinggi. Derajat keasaman mempengaruhi adsorpsi karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan, pH yang baik berkisar antara 8-9. Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi.

4. Waktu Serap

Waktu serap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang terserap berlangsung dengan baik.

5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan diserap sedikit, sedang pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang diserap semakin banyak. Hal ini

disebabkan karena kemungkinan frekwensi tumbukan antara partikel semakin besar.

Beberapa adsorben pada proses adsorpsi sangat mempengaruhi penyerapan. Beberapa adsorben yang sering digunakan pada proses adsorpsi misalnya benzonit, tuff, pumice, zeolit, dan silika gel. Pemilihan adsorben juga mempengaruhi kapasitas adsorpsi.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi yaitu:

1. Luas Permukaan Adsorben

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben.

2. Ukuran Partikel

Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0,1mm, sedangkan ukuran dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh.

3. Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontaknya cukup dan waktu kontak berkisar 10-15 menit (Reynolds, 1982).

4. Distribusi Ukuran Pori

Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben

Ditinjau dari faktor – faktor adsorpsi diatas, tidak lepas dari media adsorbennya. Adapun Standar Industri Indonesia untuk suatu adsorben serbuk baru dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Standar Industri Indonesia Suatu Adsorben

Uraian	Satuan	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	25
Air	%	15
Abu	%	10
Bagian yang tidak berarang	-	Tidak nyata
Daya serap terhadap I ₂	mg/gr	Min 750

Sumber : Standar Industri Indonesia.

2.4.5 Konversi Abu Terbang Menjadi Zeolit

Abu terbang batubara umumnya dibuang di *landfill* atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini umumnya abu terbang batubara digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan sebagai aditif dalam pengolahan limbah (*waste stabilization*) dan dikonversi menjadi zeolit dan adsorben.

Konversi abu terbang batubara menjadi zeolit dan adsorben merupakan contoh pemanfaatan efektif dari abu terbang batubara. Keuntungan adsorben berbahan baku abu terbang batubara adalah biayanya murah. Selain itu, adsorben ini dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah gas maupun limbah cair. Abu terbang batubara dapat dipakai secara langsung sebagai adsorben atau dapat juga

melalui perlakuan kimia dan fisik tertentu sebelum menjadi adsorben (www.majarikanayakan.com).

Abu terbang batubara memiliki potensi dikonversi menjadi zeolit jika memiliki kandungan alumina-silika yang cukup tinggi dan kandungan karbon yang rendah. Jenis zeolit yang dihasilkan dari abu terbang bergantung pada komposisi awal dan metode konversinya. Metode yang umum digunakan adalah *hydrothermal alkali treatment* yaitu memanaskan campuran abu terbang dengan larutan alkali (KOH, NaOH) (Querol, *et al.*, 2002: 413-423).

2.4.6 Aktivasi Abu Terbang

Peningkatan mutu abu terbang menjadi zeolit melalui proses aktivasi dan modifikasi dimaksudkan untuk memperbesar kemampuan zeolit baik dari segi daya katalisis, adsorben maupun pertukaran ion. Beberapa teknik dilakukan untuk meningkatkan mutu zeolit alam. Secara garis besar, peningkatan mutu zeolit alam tersebut adalah dengan cara aktivasi dan modifikasi. Proses aktivasi zeolit dapat dikelompokkan ke dalam dua cara, yaitu aktivasi secara kimiawi dan aktivasi secara fisik.

1. Aktivasi secara kimiawi bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor, mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Prinsip aktivasi secara kimiawi ini adalah penambahan pereaksi tertentu sehingga didapatkan pori-pori zeolit yang bersih (aktif).
2. Aktivasi secara fisika dilakukan dengan cara pemanasan baik secara kontak langsung maupun tak langsung (sistem vakum) dengan tujuan menguapkan air kristal yang terperangkap di dalam pori-pori zeolit sehingga luas permukaan internal pori meningkat.

2.5 Analisa Limbah Cair

Jenis-jenis analisa air yang digunakan, yaitu :

1. Derajat keasaman (pH)

pH merupakan suatu ekspresi dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam air. Besarannya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H^+ .

$$pH = -\log [H^+]$$

Nilai pH berkisar 0-14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai pH sama dengan 7. Nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan keasaman. Nilai pH dikatakan netral karena pada air murni ion H^+ terlarut dan ion OH^- terlarut (sebagai tanda kebasaaan) berada pada jumlah yang sama, yaitu 10^{-7} pada kesetimbangan :



Penambahan senyawa ion H^+ terlarut dari suatu asam akan mendesak kesetimbangan ke kiri akibatnya terjadi kelebihan ion hidrogen dan meningkatkan konsentrasinya.

Penanganan atau pengubahan nilai pH akan lebih efektif apabila alkalinitas dan kesadahan ditangani terlebih dahulu. Air sungai dalam kondisi alami yang belum tercemar memiliki rentang pH 6,5-8,5. Bahan-bahan organik biasanya menyebabkan kondisi air menjadi asam. Nilai pH yang rendah (asam) atau tinggi (basa) tidak cocok untuk kehidupan *organisme* (Mingguwana, 2010).

2. Total Suspended Solid (TSS)

TSS (*Total Suspended Solid*) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen. Pada air limbah, umumnya banyak mengandung *suspended solid* (zat padat tersuspensi). Adanya zat padat tersuspensi dapat mempengaruhi keseimbangan pada badan air. *Suspended solid* merupakan bagian dari total zat padat/*solid sekitar 40%* dalam keadaan terapung, zat padat tersuspensi dapat mengembang dan dapat tumpukan lumpur yang berbau bila dibuang.

Zat padat tersuspensi dapat bersifat organis dan inorganis. Zat padat tersuspensi dapat diklasifikasikan sekali lagi menjadi antara lain zat padat terapung yang selalui bersifat organis dan zat padat terendap yang dapat bersifat organis dan inorganis. Jumlah padatan tersuspensi dapat dihitung menggunakan *turbidimeter*, padatan tersuspensi akan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen serta fotosintesis (Puspita,2008).

3. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia adalah jumlah (mg.O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxygen agent*).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh suatu zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

Sebagian besar zat organik melalui tes COD ini dioksidasi oleh larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam keadaan asam yang mendidih



Selama reaksi yang berlangsung ± 2 jam ini, uap refluks dengan alat kondensor, agar zat organik volatil tidak lenyap keluar.

Perak Sulfat (Ag_2SO_4) ditambahkan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi. Sedangkan merkuri sulfat ditambahkan untuk menghilangkan gangguan klorida yang pada umumnya ada didalam air buangan.

Untuk memastikan bahwa hampir semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ masih harus tersisa sesudah direfluks. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang tersisa di dalam larutan tersebut digunakan untuk menentukan beberapa oksigen yang telah terpakai. Sisa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ tersebut ditentukan melalui titrasi dengan *ferro ammonium sulfat (FAS)*.

Indikator *ferroin* digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi yaitu saat warna hijau biru larutan berubah menjadi coklat kemerahan.

4. Intensitas Warna

Cahaya yang dapat dilihat manusia disebut cahaya tampak. Biasanya cahaya terlihat merupakan campuran dari cahaya yang mempunyai berbagai panjang gelombang mulai dari 400 nm-700 nm, seperti dilangit.

Hubungan antara warna pada sinar tampak dengan panjang gelombang terlihat seperti tabel dibawah ini. Dalam tabel berikut tercantum warna dan warna komplementernya yang merupakan pasangan dari setiap dua warna dari spektrum yang menghasilkan warna putih jika dicampurkan.

Tabel 6. Warna dan warna komplementer

Panjang gelombang (nm)	Warna	Warna komplementer
400-435	Ungu	Hijau kekuningan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru kehijauan	Jingga
490-500	Hijau kebiruan	Merah
500-560	Hijau	Ungu kemerahan
560-580	Hijau kekuningan	Ungu
580-610	Jingga	Biru kehijauan
610-680	merah	Hijau kebiruan
680-700	Ungu kemerahan	hijau

Sumber : Petunjuk Praktikum Kimia Analitik Dasar.2008: Politeknik Negeri Sriwijaya.