

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tekstil

Industri tekstil merupakan industri yang mengubah bahan baku berupa serat alam baik dari serat tumbuhan seperti kapas, serat hewan seperti wol, sutra, maupun dari bahan sintetik lain seperti nilon, polyester, akrilik menjadi barang jadi tekstil. Produksi rata-rata serat alami umumnya berjumlah sama dengan produksi serat sintetis (World Bank ESH, 1998). Di Indonesia industri tekstil sangat bervariasi baik dalam hal skala produksi (skala kecil, menengah sampai skala besar) maupun variasi proses yang meliputi proses pembuatan benang (pemintalan), proses pembuatan kain (pertenunan dan perajutan), industri penyempurnaan (*finishing*) hingga industri pakaian jadi (garmen). Bahan baku proses produksi industri di industri tekstil umumnya adalah air, substrat (benang, kain, serat), bahan kimia proses, bahan kimia perawatan dan pewarna. Dalam proses produksinya industri tekstil dapat menghasilkan limbah padat, cair, gas, maupun kebisingan.

2.1.1 Proses Produksi Tekstil

Industri tekstil terdiri dari serangkaian proses yang saling berkaitan dengan produk (serat, benang, dan kain tenun). Pada proses awal, industri tekstil menerima dan mempersiapkan serat kemudian mengubah serat menjadi benang, dan setelah itu mengubah benang menjadi kain atau produk sejenis, dan dilakukan pewarnaan (Bischops & Spanjers, 2003). Teknologi proses produksi dalam industri tekstil pada umumnya dapat dilakukan secara proses kering atau proses basah.

1. Proses Kering

Proses kering dilakukan dalam industri tekstil tidak memerlukan air sebagai medium proses, tetapi hanya digunakan sebagai bahan pembantu saja. Yang termasuk dalam proses kering tekstil antara lain adalah proses pembuatan

benang (pemintalan), pembuatan kain (pertenunan), perajutan dan pembuatan kain jadi (garment). Serat kapas dibersihkan sebelum disatukan menjadi benang. Pemintalan mengubah serat menjadi benang. Sebelum proses penenunan atau perajutan, benang buatan maupun kapas dikanji agar serat menjadi kuat dan kaku. Zat kanji yang umumnya digunakan adalah pati, perekat gelatin, getah, polivinil alkohol (PVA), dan karbosimetil selulosa (CMC).

2. Proses Basah

Proses basah dilakukan pada industri tekstil yang menggunakan air sebagai medium proses, sehingga proses tidak dapat berlangsung tanpa adanya air sebagai bahan penolong utama. Proses penyempurnaan tekstil merupakan proses basah yang paling banyak menimbulkan pencemaran di lingkungan industri tekstil yang meliputi industri tekstil pemutihan, pencelupan, pencapan. Proses penyempurnaan meliputi proses penghilangan kanji, pemasakan, penggelantangan, mercerisasi, pencelupan, pencapan, pencucian, penyempurnaan akhir (Moertinah, 2008). Proses produksi tekstil dengan proses basah meliputi langkah-langkah sebagai berikut (Maulani, 2014):

a. Pencucian

Pencucian adalah proses pengeluaran kotoran-kotoran organik dan anorganik yang dapat mengganggu proses-proses selanjutnya. Pencucian dilakukan dengan menggunakan bahan pencuci yang dilarutkan ke dalam air, misalnya surfaktan.

b. Pemrosesan (*processing*)

Dalam industri tekstil, pemrosesan adalah pemberian bahan pelapis pada permukaan produk-produk tekstil atau pemindahan bahan-bahan dari serat (*fiber*) secara kimia. Proses-proses yang penting antara lain sebagai berikut:

- 1) *Caustic scouring*, yaitu proses pemasakan atau pemindahan kotoran. Proses ini dibantu dengan penambahan surfaktan. Pemasakan untuk memindahkan kotoran memberikan hasil yang lebih baik daripada pencucian dengan air dingin.
- 2) *Sizing*, yaitu proses yang dilakukan untuk menyiapkan serat sebelum *processing* dan mencegah hancurnya serat. *Sizing agent* yang digunakan

adalah *starch*, polyvinyl alcohol (PVA), dan *carboxymethyl cellulose* (CMC).

- 3) *Bleaching*, pemutihan atau pemucatan kain. Proses ini dilakukan dengan menggunakan larutan *peroxide hypochlorite* dikombinasikan dengan sodium silikat dan soda kaustik.
- 4) *Mercerization*, yaitu mencelup kain ke dalam larutan soda (NaOH 20% - 25%). Proses ini bertujuan untuk mengembangkan serat sehingga memperbaiki penampakan dan kemampuan untuk menyerap warna.
- 5) *Dyeing*, yaitu proses pemberian warna atau pewarnaan. Beberapa bahan kimia penting yang digunakan dalam proses ini adalah *vat dyes*, *sufur dyes*, *reactive dyes*, *disperse dyes*, *acid dyes*, *metal complex dyes*, dan *basic dyes*. Bahan kimia yang ditambahkan antara lain surfaktan, asam basa dan garam.
- 6) *Printing*, yaitu dimana cetakan berwarna diletakkan pada kain menggunakan *roller* atau mesin pencetak dengan *screen*. Warna dilekatkan dengan menggunakan proses penguapan atau cara pengolahan yang lain, seperti bahan kimia dan energi panas. Dalam proses ini air limbah dihasilkan dari pencucian mesin.
- 7) *Rinsing*, yaitu proses pencucian. Proses ini diperlukan setelah salah satu proses di atas dilaksanakan, terutama setelah *caustic scouring*, *bleaching*, *mencerization*, dan *dyeing*. Air limbah yang dihasilkan dari proses ini cukup banyak.
- 8) *Finishing*, yaitu proses akhir yang meliputi seluruh proses memasukkan atau melapiskan bahan-bahan tertentu pada tekstil sehingga diperoleh kualitas tertentu. Proses ini dapat berupa proses kering maupun basah.

2.1.2 Kuantitas Limbah Cair Industri Tekstil

Proses industri tekstil dikarakterisasi tidak hanya dari kuantitas efluennya yang besar, tetapi juga zat kimia yang digunakan untuk berbagai proses operasinya. Dalam hal kontribusi limbah cair, industri tekstil memiliki banyak proses yang melibatkan air sebagai media dalam jumlah besar antara lain penghilangan kanji, pencelupan dan penyempurnaan. Dalam proses tekstil katun,

setiap 1 kg serat kapas dapat mengkonsumsi air hingga 80-100 L (Kritikos dkk, 2007). Konsumsi air yang tinggi pada proses produksi tekstil menyebabkan jumlah limbah cair yang dihasilkan juga menjadi besar. Dengan karakteristik tersebut, industri tekstil menjadi salah satu industri dengan jumlah limbah cair terbesar. Air yang dikonsumsi setiap kategori serat ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Konsumsi Air Berdasarkan Jenis Serat

Tipe serat (Sub Kategori <i>Processing</i>)	Konsumsi air (m ³ /ton material serat)		
	Minimum	Median	Maksimum
Wol	111	285	659
Woven	5	114	508
Knit	20	84	377
Karpet	8,3	47	163
<i>Stock/yarn</i>	3,3	200	558
<i>Nonwoven</i>	2,5	40	83
<i>Felted fabric finishing</i>	33	213	933

(Sumber: Moussa, 2008)

Volume limbah yang besar tersebut menjadi masalah di industri tekstil. Volume limbah yang besar ini dapat direduksi melalui sistem *reuse* dan *recycle*, modifikasi proses, dan penggantian peralatan (Bischops dan Spanjers, 2003).

2.1.3 Karakteristik Air Limbah Tekstil

Karakteristik limbah cair dari setiap tahapan proses operasi tekstil akan berbeda. Limbah cair dari industri percetakan dan pewarnaan biasanya banyak mengandung warna yang terdiri dari residu reaktif kimia dan pewarnaan yang membutuhkan pengelolaan khusus sebelum dibuang ke lingkungan. Karakteristik dan kuantitas efluen dari industri tekstil akan berbeda antara industri tekstil satu dengan lainnya tergantung dari proses produksi yang dilakukan. Limbah tekstil memiliki karakteristik spesifik yaitu kandungan kadar pewarna yang tinggi, berbagai macam senyawa organik pembantu, logam berat, dan surfaktan non-ionik, serta memiliki rasio BOD/COD rendah (Pekakis *et al.*, 2006). Umumnya, limbah cair industri tekstil bersifat alkali dan memiliki BOD dengan rentang antara 700-2000 mg/L (World Bank ESH, 1998). Limbah cair tekstil dinilai sebagai polutan utama dari semua sektor industri, dipertimbangkan dari dua hal, yaitu volume limbah dan komposisinya efluennya (Maulani, 2014). Polutan utama

limbah cair tekstil adalah TSS tinggi, kebutuhan oksigen kimia, suhu, warna, pH, senyawa organik beracun (misalnya fenol), logam berat dan zat terlarut lainnya (Venceslau *et al.*, 1999). Adapun polutan utama dalam limbah cair industri tekstil dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2. 2 Polutan Utama Dalam Limbah Cair Industri Tekstil

Proses	Komponen
<i>Desizing</i> (penghilangan kanji)	Kanji, enzim, pati, lilin, ammonia
<i>Scouring</i> (Penyabunan)	Residu desinfektan, insektisida, NaOH, surfaktan, sabun, lemak, lilin, pektin, minyak, kanji, agen anti-statik, pelarut, enzim
<i>Bleaching</i> (Pemutihan)	H ₂ O ₂ , AOX, natrium silikat, penstabil organik, pH Basa, natrium hipoklorit
<i>Dyeing</i> (Pewarnaan)	Pewarna logam, garam, surfaktan, senyawa organik pembantu, sulfida, asiditas/alkalinitas, formaldehida
<i>Printing</i> (Pencapan)	Urea, pelarut, warna dan logam
<i>Finishing</i>	Resin, lemak, senyawa klorin, asetat, stearat, pelarut, pelembut

(Sumber: Wang *et al.*, 2011)

Industri tekstil menggunakan berbagai jenis bahan kimia, antara lain zat warna tekstil dan zat pembantu seperti berbagai jenis garam, alkali, surfaktan dan sebagainya. Dalam proses pencelupan dan pencucian, air dalam jumlah besar berfungsi sebagai media untuk menyisihkan sisa zat warna yang tidak terfiksasi. Sisa zat warna yang tidak terfiksasi dan kehilangan bahan-bahan kimia lain tersebut sekitar 11% akan terbawa pada limbah industri (Rauf dan Ashraf, 2009). Efluen industri tekstil merupakan penyebab dari jumlah signifikan banyaknya degradasi lingkungan dan penyakit pada manusia. Sebanyak 40% industri tekstil secara global menggunakan pewarna organik yang berikatan dengan klorin yang diketahui bersifat karsinogen. Keseluruhan material organik yang terdapat pada limbah industri tekstil merupakan perhatian utama dalam pengolahan karena dapat bereaksi dengan berbagai desinfektan terutama klorin (Kant, 2012). Bahan kimia dapat menguap di udara dan terhirup oleh manusia atau terserap oleh kulit dan menghasilkan reaksi alergi serta dapat menyebabkan efek berbahaya pada anak-anak bahkan saat masih janin. Umumnya kualitas limbah cair tekstil yang dihasilkan melebihi baku mutu. Adapun regulasi standar baku mutu limbah cair

tekstil yang berlaku di Jawa Barat berdasarkan SK. Gubernur Jabar No. 6 Tahun 1999 adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Baku Mutu Limbah Cair Tekstil

Parameter	Satuan	Kadar Maks (mg/l)	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/ton)
BOD5	mg/l	85	12,75
COD	mg/l	250	37,5
TSS	mg/l	60	9,0
Fenol Total	mg/l	1,0	0,15
Krom Total	mg/l	2,0	0,3
Minyak dan lemak	mg/l	5,0	0,75
pH	-		6-9
Debit limbah maks (m ³ /ton produk tekstil)	m ³		150 m ³ per ton

(Sumber: SK.Gubernur Jabar No.6 Tahun 1999)

Pengolahan akan lebih mudah dilakukan jika masing-masing limbah dipisah sebelum dicampur dengan limbah dari proses lain. Limbah yang sulit diolah terdiri dari limbah berwarna, logam, fenol, senyawa organik toksik dan fosfat. Limbah berwarna dan logam terutama berasal dari proses pewarnaan dan pencetakan. Fosfat utamanya digunakan pada proses persiapan dan pewarnaan. Selain itu, limbah yang mengandung materi organik *non biodegradable* seperti surfaktan tertentu, dan pelarut yang juga sulit diolah (Smiths, 1988). Berdasarkan sifat mudah atau tidaknya limbah terdegradasi oleh mikroorganisme, maka limbah cair industri tekstil dibedakan menjadi limbah cair organik dan limbah cair anorganik.

1. Unsur Organik dalam Limbah Cair Industri Tekstil

Limbah cair tekstil mengandung sejumlah senyawa organik baik yang mudah terdegradasi secara biologis maupun yang sulit terdegradasi. Besarnya kadungan organik tersebut direpresentasikan sebagai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Sumber utama BOD adalah bahan kimia, kanji dari proses *sizing*, minyak untuk menenun, dan sulfaktan *biodegradable*. Pada proses basah larutan penghilang kanji biasanya langsung dibuang dan ini mengandung zat kimia penganti dan penghilang

kanji pati, PVA, CMC, enzim, asam. Pemasakan dan mercerisasi kapas serta pemucatan kain adalah sumber-sumber limbah cair yang penting, yang menghasilkan asam, basa, COD, BOD, padatan tersuspensi dan zat-zat kimia. Pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang berwarna dengan COD tinggi dan bahan-bahan lain dari zat warna yang dipakai seperti fenol dan logam. Limbah cair industri tekstil mengandung pewarna sehingga sulit didegradasi oleh mikroorganisme atau pengolahan secara biologis. Kandungan organik dalam limbah akan semakin mudah didegradasi secara biologis apabila semakin tinggi rasio BOD/COD (Johansen & Carlson, 1976 dalam Andarani, 2009). Pada umumnya pengolahan industri tekstil menggunakan kolam oksidasi atau proses aerobik untuk proses pengolahan limbah cairnya. Kolam oksidasi diketahui dapat menurunkan kadar BOD hingga 95% (World Bank ESH, 1998).

2. Unsur Anorganik dalam Limbah Cair Industri Tekstil

Unsur anorganik dalam efluen industri tekstil adalah logam, pelarut terklorinasi, surfaktan *non biodegradable*, dan materi lain. Limbah ini sulit didegradasi melalui pengolahan biologi konvensional dan dapat menambah efek toksisitas pada badan air penerima. Kehadiran sulfur, naphtol, pewarna pencelup, nitrat, asam asetat, sabun, senyawa kromium dan logam berat seperti tembaga, arsen, timbal, kadmium, merkuri, nikel, dan kobalt menyebabkan efluen industri tekstil sangat toksik. Logam yang dihasilkan pada proses dalam industri tekstil berasal dari benang, suplai air bersih, bahan kimia oksidasi dan pereduksi, elektrolit, asam, basa, pewarna dan pigmen, beberapa proses penyelesaian, herbisida, pestisida dan bahan kimia perawatan. Logam berat terutama paling banyak ditemukan pada pewarna yang digunakan dalam industri tekstil (Ifachril, 2015).

2.2 Filtrasi

Pengolahan limbah tekstil dapat dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi. Pengolahan limbah secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-

logam berat, dan zat organik beracun dengan menambahkan bahan kimia tertentu (Manurung dkk., 2004). Adapun proses fisika yang digunakan dalam pengolahan limbah adalah proses penyaringan (filtrasi) dan adsorpsi (Mattioli *et al.*, 2002).

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya dengan melewati fluida pada suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan zat padat halus yang tersuspensi dan koloid sebanyak mungkin. Dalam pengolahan air limbah, filtrasi digunakan untuk menyaring efluen sekunder yang belum diolah, efluen sekunder dari pengolahan kimia, dan air limbah yang telah diolah secara kimia secara langsung (Reynold, 1982). Filtrasi merupakan salah satu teknologi mendasar terkait dengan pengolahan air dimana prosesnya bisa dijadikan sebagai proses awal (*primary treatment*) (Baker, 1948). Proses filtrasi yang paling umum digunakan adalah dengan menggunakan media butir dengan ukuran dan kedalaman tertentu. Media butir ini bisa seperti granular (kerikil), pasir, batuan kecil, antrasit, pecahan kaca, abu (Huisman, 1975).

2.2.1 Jenis Filtrasi

Berdasarkan pada kapasitas produksi air yang terolah, filtrasi pasir dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *Slow Sand Filtration* dan *Rapid Sand Filtration*.

a) *Slow Sand Filtration*

Menurut SNI 3981:2008 *Slow Sand Filtration* atau saringan pasir lambat adalah bak saringan yang menggunakan pasir sebagai media filter dengan ukuran butiran sangat kecil, namun mempunyai kandungan kuarsa yang tinggi. Proses penyaringan berlangsung secara gravitasi, sangat lambat dan simultan pada seluruh permukaan media. Proses penyaringan merupakan kombinasi antara proses fisik (filtrasi, sedimentasi dan adsorpsi), proses biokimia dan proses biologis. *Slow Sand Filtration* cukup efektif digunakan untuk menghilangkan kandungan bahan organik dan organisme patogen pada air baku yang mempunyai kekeruhan relatif rendah. Efisiensi *Slow Sand Filtration* tergantung pada distribusi ukuran partikel pasir, rasio luas permukaan filter terhadap kedalaman, dan kecepatan filtrasi. *Slow Sand Filtration* bekerja dengan cara pembentukan lapisan biofilm di

beberapa millimeter bagian atas lapisan pasir halus yang disebut hypogeal atau *schmutzdecke*. Lapisan ini mengandung bakteri, fungi, protozoa, rotifer, dan larva serangga air. Selama air melewati lapisan ini *schmutzdecke*, partikel akan terperangkap dan organik terlarut akan teradsorpsi, diserap, dan dicerna oleh bakteri, fungi dan protozoa. Proses yang terjadi dalam *schmutzdecke* sangat kompleks dan bervariasi, tetapi yang utama adalah *mechanical straining* terhadap kebanyakan bahan tersuspensi dalam lapisan tipis yang berpori-pori sangat kecil, kurang dari satu micron. Ketebalan lapisan ini meningkat terhadap waktu hingga mencapai sekitar 25 mm, yang menyebabkan aliran mengecil. Ketika kecepatan filtrasi turun sampai tingkat tertentu, filter harus dicuci dengan mengambil lapisan pasir pada bagian atas setebal sekitar 25 mm. Menurut Notodarmodjo (2008), keuntungan *Slow Sand Filtration* adalah biaya operasi relatif murah, tidak membutuhkan energi besar sedangkan kerugiannya adalah butuh area yang luas, pembersihan media filter dilakukan secara manual.

b) *Rapid Sand Filtration*

Filter pasir cepat atau *rapid sand filter* adalah filter yang mempunyai kecepatan filtrasi cepat, berkisar antara 2,13 hingga 71 liter/jam. Filter ini biasanya didahului dengan proses koagulasi-flokulasi dan pengendapan untuk memisahkan padatan tersuspensi. Menurut Binnie *et al* (2002) umumnya filter pasir cepat terdiri dari:

- Bak filter: merupakan tempat proses filtrasi berlangsung
- Media filter: merupakan bahan berbutir/granular yang membentuk pori-pori diantara butiran media. Pada pori-pori inilah air mengalir dan terjadi proses penyaringan
- Sistem *underdrain*: merupakan sistem pengaliran air yang telah melewati proses filtrasi yang terletak di bawah media filter, terdiri atas *orifice*, *lateral* dan *manifold*.

Adapun keuntungan dari *Rapid Sand Filtration* adalah area yang dibutuhkan relatif kecil, biaya konstruksi lebih murah jika dibandingkan

Slow Sand Filtration, dan sistem filtrasi jika berjalan dengan baik dapat menghasilkan air dengan kualitas baik. Sedangkan kerugiannya adalah cepat terjadi penyumbatan (*clogging*), memerlukan operator yang ahli, butuh energi yang cukup besar, kurang *flexible* terhadap *hydraulic* dan *shock loading* dan biaya operasi relatif mahal (Notodarmodjo, 2008).

Berikut **Tabel 2.4** menjelaskan perbedaan kriteria antara filter pasir cepat dan pasir lambat.

Tabel 2. 4 Perbandingan Kriteria Filter Pasir Cepat dan Filter Pasir Lambat

Kriteria	Filter Pasir Cepat	Filter Pasir Lambat
Kecepatan Filtrasi	4-21 m/jam	0,1-0,4 m/jam
Ukuran Bed	Kecil 40-400m ²	Besar 2000 m ²
Kedalaman Bed	30-45 cm kerikil, 60-70 cm pasir, tidak berkurang saat pencucian	30cm kerikil, 90-110 cm pasir, berukuran 50-80cm saat pencucian
Ukuran Pasir	<i>Effective size</i> > 0,55mm <i>Uniformity Coefficient</i> <1.5	<i>Effective size</i> 0,25-0,3 mm, <i>Uniformity coefficient</i> 2-3
Distribusi Ukuran Media	Terstratifikasi	Tidak terstratifikasi
Sistem Underdrain	Pipa lateral berlubang yang mengalirkan air ke pipa utama	Sama dengan filter cepat atau batu kasar dan beton berlubang sebagai saluran utama
Kehilangan Energi	30cm saat awal, hingga 275 cm saat akhir	6 cm saat awal, hingga 120 cm saat akhir
Filter Run (Jarak waktu pencucian)	12-72 jam	20-60 hari
Metoda Pembersihan	Mengangkat kotoran dan pasir ke atas dengan backwash	Mengambil lapisan pasir di permukaan dan mencucinya
Jumlah Air Untuk Pembersihan	1-6% dari air tersaring	0,2-0,6% dari air tersaring
Pengolahan Pendahuluan	Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi	Biasanya tidak ada bila kekeruhan kurang dari 50 NTU
Biaya Kontruksi	Relatif tinggi	Relatif rendah
Biaya Operasi	Relatif tinggi	Relatif rendah
Biaya Depresiasi	Relatif tinggi	Relatif rendah

(Sumber: Fair& Gayer, 1968)

2.2.2 Media Filtrasi

Bagian filter yang berperan penting dalam melakukan penyaringan adalah media filter. Media Filter dapat tersusun dari pasir silika alami, anthrasit, atau pasir garnet. Karakteristik media filter yang berpengaruh penting pada kualitas

filtrasi adalah ukuran butir yang dinyatakan dalam gradasi butiran, bentuk, berat jenis, kekerasan dan porositas lapisan granular yang dibentuk oleh butiran-butiran media tersebut. Tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang lebar akan menghasilkan kemampuan penyaringan yang tinggi pula. Porositas media filter tergantung pada bagaimana susunan butiran-butiran tersebut di dalam lapisan media filter. Sedangkan karakteristik partikel yang berpengaruh pada porositas dan luas permukaan adalah *sphericity* atau tingkat kebulatan dari partikel tersebut. Partikel dengan *sphericity* yang lebih besar memiliki porositas dan luas permukaan yang lebih kecil (Droste, 1997). Menurut Reynolds (1982), filter dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe media yang digunakan, yaitu *Single-medium filter* yang terdiri dari satu jenis media biasanya pasir atau batu bara yang dihancurkan; *Dual-media filter* yang terdiri dari dua jenis media biasanya antrasit yang dihancurkan dan pasir; *Multimedia filters* yang terdiri dari tiga jenis media biasanya antrasit yang dihancurkan, pasir dan garnet.

Material yang digunakan sebagai media filtrasi dipilih berdasarkan harganya, kebutuhan khusus terhadap parameter pencemar tertentu dan tipe filter yang akan diaplikasikan (Dickenson, 1994). Dalam pemurnian air, pasir hampir selalu digunakan khusus sebagai penyaring karena ketersediaannya, harganya murah dan bermanfaat (Huisman, 1975). Pasir kuarsa dikenal dengan pasir putih atau pasir silika merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan feldspar. Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang terendapkan di tepi-tepi sungai, danau, atau laut. Pasir kuarsa adalah bahan galian yang terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan. Pasir kuarsa mempunyai komposisi gabungan dari SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , dan K_2O , berwarna putih bening atau warna lain tergantung pada senyawa pengotornya, kekerasan 7 (skala Mohs), berat jenis 2,65, titik lebur 17-150 °C, bentuk kristal hexagonal, panas spesifik 0,185 (Kusnaedi, 2010). Proses pengolahan pasir kuarsa tergantung kepada kegunaan serta persyaratan yang dibutuhkan baik sebagai bahan baku maupun untuk langsung digunakan. Untuk memperoleh spesifikasi yang dibutuhkan dilakukan upaya pencucian untuk menghilangkan senyawa pengotor. Pasir kuarsa sering digunakan untuk

pengolahan air kotor menjadi air bersih. Fungsi ini baik untuk menghilangkan sifat fisiknya, seperti kekeruhan, atau lumpur dan bau. Pasir kuarsa umumnya digunakan sebagai saringan pada tahap awal.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi saringan pasir menurut Kusnopranto (1994) antara lain :

1. Jenis Pasir

Pasir yang baik adalah pasir yang banyak mengandung SiO_2 dan sebelum pemakaian, pasir harus dicuci terlebih dahulu untuk menghindari adanya kotoran yang dapat menurunkan kualitas air dalam pasir.

2. Diameter Pasir

Diameter pasir adalah ukuran garis tengah yang dipakai dalam menentukan besar kecilnya butiran pasir dalam media saring. Jika diameter pasir terlalu kecil, maka cenderung akan cepat tersumbat. Jika diameter pasir terlalu tebal, maka padatan-padatan serta bakteri tetap dapat melewati celah-celah antara butiran pasir tersebut.

3. Ketebalan Pasir

Ketebalan pasir harus cukup untuk menghilangkan bakteri dan untuk menjamin kecepatan rata-rata penyaringan. Semakin tebal lapisan pasir, maka luas permukaan partikel-partikel semakin besar dan jarak yang harus ditempuh oleh permukaan air semakin panjang sehingga air yang dihasilkan akan semakin baik kualitasnya. Ketebalan pasir untuk media penyaringan sangat bervariasi.

4. Lama Penahanan Media

Bila proses penyaringan sudah tidak lancar atau buntu maka pasir harus dicuci kembali.

2.2.3 Filtrasi Sederhana

Filtrasi sederhana merupakan proses dimana air dibersihkan dengan melewatkannya pada media berpori. Media filter merupakan alat filtrasi atau penyaring untuk memisahkan sebanyak mungkin padatan yang tersuspensi yang paling halus melalui media porous sehingga prosesnya bisa dijadikan sebagai proses pendahuluan (Haurissa, 2011). Filtrasi sederhana yang dimaksud pada

penelitian ini merupakan filtrasi yang mudah di terapkan, murah dan sederhana. Sederhana karena pengoperasiannya tidak memerlukan tenaga khusus yang terdidik atau terampil dan dapat mudah diterapkan di sungai. Murah karena pada dasarnya proses tersebut tidak memerlukan energi dan bahan kimia, selain itu biaya kontruksinya tidak memerlukan biaya yang besar. Adapun komponen media penyaringan sederhana biasanya terdiri dari pasir, kerikil dan karbon aktif (Kusnaedi, 2010).

2.2.4 Mekanisme Filtrasi

Pada filtrasi dengan media berbutir, umumnya terdapat mekanisme filtrasi dengan penjelasan sebagai berikut (Edahwati, 2009).

a. Penyaringan secara mekanis (*mechanical straining*)

Penyaringan secara mekanis merupakan tertangkapnya partikel oleh media filter karena ukuran partikel lebih besar daripada ukuran pori-pori media. Pergerakan air memungkinkan partikel tersuspensi kontak antara satu dan lainnya membentuk flok dan mengendap pada lapisan media yang lebih dalam.

b. Sedimentasi

Sedimentasi menghilangkan partikulat tersuspensi dengan ukuran yang lebih halus daripada ukuran bukaan pori melalui presipitasi partikel-partikel halus pada permukaan butiran pasir. Mekanisme ini berlangsung dengan memanfaatkan gravitasi agar terjadi presipitasi partikel-partikel halus yang terkandung dalam sampel air.

c. Adsorpsi

Proses adsorpsi terjadi dalam proses penyisihan partikel koloid dan kotoran terlarut lainnya. Prinsip proses ini adalah akibat adanya perbedaan muatan antara permukaan partikel tersuspensi yang ada di sekitarnya sehingga terjadi gaya tarik-menarik.

d. Aktivitas Kimia

Aktivitas kimia merupakan proses pemecahan kotoran terlarut menjadi lebih sederhana, lebih tidak berbahaya atau terkonversi menjadi senyawa tak larut setelah penyaringan, sedimentasi dan adsorpsi yang dapat menyisihkan

senyawa dari air yang mengalir. Dengan keberadaan oksigen, senyawa-senyawa organik dapat diurai secara aerob (Huisman, 1974).

e. **Aktivitas biologis**

Merupakan proses yang disebabkan oleh aktifitas mikroorganisme yang hidup di dalam media filtrasi.

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah pemisahan suatu senyawa dari larutannya yang kemudian terdeposisi pada permukaan padatan, pada bidang kontak antara padatan dengan larutan (Reynolds, 1982). Substansi yang akan ditransfer pada bidang kontak dari fase liquid ke fase solid disebut adsorbat, sedangkan fase solid dimana adsorbat akan terakumulasi disebut adsorben. Proses adsorpsi pada dasarnya merupakan suatu proses bertahap. Sebagai proses yang melibatkan mekanisme transpor dan transfer massa, gradient konsentrasi merupakan gaya penggerak (*driving force*) dari proses tersebut (Notodarmojo, 2005). Gradien konsentrasi akan mendorong sorbat dari larutan menuju lapisan tipis air yang mengelilingi adsorben (*interface*) dan terdifusi menuju permukaan adsorben.

2.3.1 Penyebab dan Gaya-Gaya Adsorpsi

Adsorpsi akan terjadi karena adanya energi potensial antara permukaan karbon aktif dan zat yang diserap. Efisiensi adsorpsi tergantung dari perbedaan muatan listrik antara karbon aktif atau ion-ion yang diserap. Bahan yang mempunyai muatan listrik positif akan diserap lebih efektif oleh karbon aktif yang bersifat basa dan sebaliknya. Adapun menurut Notodarmojo (2005), gaya-gaya (*driving force*) yang mengikat ion atau molekul kontaminan dalam proses adsorpsi antara lain:

1. **Gaya Fisik**

Gaya fisik adalah gaya yang didominasi oleh gaya tarik London-Van der Waals dan ikatan hidrogen. Gaya van der Waals merupakan ikatan lemah, namun penting dalam adsorpsi senyawa organik dan bersifat aditif, sehingga menjadi kuat bila bekerja bersamaan dalam sekelompok ion atau molekul. Gaya ini merupakan interaksi multipolar antara dua molekul polar berdekatan, yang

menyebabkan menempelnya molekul tersebut pada permukaan solid. Selain itu, terdapat gaya yang terlibat dalam adsorpsi fisik, yaitu gaya hidrofobik. Gaya hidrofobik ini menyebabkan senyawa atau larutan hidrofobik yang tertolak oleh air menempel pada bidang kontak (*interface*) pada padatan dan larutan, sehingga terjadi proses adsorpsi.

2. Gaya dan Proses Kimia

Adsorpsi membentuk ikatan kimia sebagai akibat proses kimia antara *sorbent-solute*. Proses sorpsi yang dipicu oleh reaksi kimia ini disebut sebagai adsorpsi kimia atau *chemisorptions*. Proses kimia ini akan menghasilkan perbedaan energi yang cukup besar yang dapat mencapai 100-400 kJ/mol. Adsorpsi yang disebabkan oleh gaya kimia mempunyai ikatan yang lebih kuat dan permanen bila dibandingkan dengan ikatan atau adsorpsi akibat gaya fisik dan juga reaktif tidak *reversible*.

3. Gaya Elektrostatis

Gaya ini dihasilkan oleh muatan elektrostatis pada permukaan partikel atau molekul. Pada dasarnya gaya ini dapat dikategorikan kedalam gaya fisik. Besarnya gaya ini ditentukan oleh muatan dari zat tersebut. Gaya elektrostatis ini akan menghasilkan pertukaran ion.

2.3.2 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan kemampuan menyerap air, adsorben terdiri dari adsorben yang bersifat polar (hidrofilik) dan adsorben yang bersifat non polar (hidrofobik). Adsorben polar antara lain silica gel, alumina yang diaktivasi dan beberapa jenis tanah liat (*clay*). Adsorben non polar antara lain adalah arang (karbon dan batubara) dan arang aktif. Adsorben polar cenderung mengadsorpsi adsorbat polar secara kuat, dan mengadsorpsi adsorbat non polar secara lemah. Sebaliknya, adsorben non polar cenderung untuk mengadsorpsi secara kuat adsorbat non polar dan mengadsorpsi adsorbat polar secara lemah (Bird, 1993). Menurut Reynold (1982), adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

- Adsorpsi Fisik

Adsorpsi fisik merupakan adsorpsi yang terjadi akibat gaya Van der Waals dan dapat berbalik (*reversible*). Ketika daya tarik dalam gaya molekul

antara *solute* (zat terlarut) dengan adsorben lebih besar dibandingkan gaya tarik dengan *solvent* (pelarut), maka *solute* akan teradsorpsi ke permukaan adsorben. Mayoritas adsorpsi berlangsung pada permukaan pori, dimana luas permukaan pori jauh melampaui luas permukaan dari partikel itu sendiri.

- **Adsorpsi Kimia**

Adsorpsi kimia (*chemisorptions*) merupakan proses sorpsi yang dipicu oleh reaksi kimia antara solid dengan *solute* yang teradsorpsi, dan biasanya reaksi tidak dapat berbalik (*irreversible*).

2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses adsorpsi menurut Notodarmojo, (2005) antara lain:

- **Muatan molekul**

Muatan molekul yaitu dimana molekul yang bermuatan akan teradsorpsi pada permukaan (*reaction site*) yang mempunyai muatan berlawanan

- **Konsentrasi adsorbat**

Semakin besar konsentrasi adsorbat dalam larutan maka semakin banyak jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan adsorben.

- **pH larutan**

Tingkat keasaman adsorbat berpengaruh pada proses adsorpsi. Asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi basa organik efektif pada pH tinggi.

- **Hidrofobitas kontaminan**

Hidrofobitas menyatakan kecenderungan senyawa organik untuk berpindah dan terakumulasi. Semakin tinggi sifat hidrofobitas, maka akan semakin mudah senyawa tersebut diadsorpsi. Hidrofobitas dapat diukur dengan nilai Kow dan Koc. Semakin tinggi nilai Kow, maka akan semakin hidrofobik.

- **Kelarutan Adsorbat**

Agar adsorpsi dapat terjadi, suatu molekul harus terpisah dari larutan. Senyawa yang mudah larut mempunyai afinitas yang kuat untuk

larutannya, sehingga lebih sulit diadsorpsi dibandingkan dengan senyawa tidak larut.

- **Komposisi adsorbat**

Komposisi adsorbat yang mempengaruhi sorpsi suatu zat atau senyawa yang ditinjau. Bila dibandingkan dengan sorpsi larutan tunggal atau “*pure solution*” dari suatu kontaminan, maka sorpsi suatu zat atau senyawa yang terjadi dalam suatu adsorbat yang terdiri dari berbagai macam komponen akan lebih rendah. Hal ini terjadi karena adanya persaingan (kompetisi) antara senyawa atau zat satu dengan lainnya untuk memperebutkan “*sorption site*” yang ada di permukaan adsorben.

- **Waktu Kontak**

Semakin lama waktu kontak dapat memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila kontaknya cukup dan waktu kontak biasanya sekitar 10-15 menit.

2.3.4 Karbon Aktif sebagai Adsorben

Karbon aktif terbuat dari material amorf berbahan dasar karbon, memiliki luas permukaan besar dan memiliki derajat porositas tinggi (Wang, 2010). Pada prinsipnya, karbon aktif tersusun dari atom-atom karbon yang membentuk ikatan senyawa aromatik tidak beraturan tersubstitusi oleh heteroatom lain seperti oksigen (tergantung jenis bahan mentah material). Umumnya penggunaan karbon aktif adalah sebagai *decolourizing* (penghilang warna), *deodorizing* (penghilang bau), *water purification* (penjernihan/ pemurnian air), dan *waste treatment* (pengolahan limbah cair atau gas) (Smisek dan Cerny, 1970).

Karbon aktif banyak terbuat dari material seperti kayu, serbuk gergaji, biji buah dan batok kelapa, batu bara, *lignite*, dan residu minyak tanah. Pembentukan karbon aktif ini terdiri dari karbonisasi dari padatan diikuti aktivasi menggunakan uap panas (Reynold dan Paul, 1995). Dengan proses pemanasan pada suhu tinggi secara anaerob, material-material tersebut akan terkarbonisasi sehingga menjadi arang. Arang akan terbentuk mengandung 85-95% karbon. Pada umumnya, arang masih memiliki daya adsorpsi yang rendah, namun daya adsorpsi tersebut dapat

ditingkatkan dengan cara mengaktifkan arang menggunakan uap atau bahan kimia (Istigfaro, 2010). Arang yang telah diaktivasi disebut dengan karbon aktif. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Pada umumnya karbon aktif dapat diaktivasi dengan 2 cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dan fisika (Kim, 1996).

1. Aktivasi Kimia

Proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia dimana aktivasi dilakukan pada temperature 100°C selama 24 jam dengan aktivator seperti hidroksida logam alkali, garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl_2 , CaCl_2 , asam-asam anorganik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 lalu ditiriskan dan dipanaskan pada suhu $600\text{-}900^{\circ}\text{C}$ selama 1-2 jam.

2. Aktivasi Fisika

Proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO_2 , awalnya bahan baku terlebih dahulu dibuat arang. Selanjutnya arang tersebut digiling, diayak untuk selanjutnya diaktivasi dengan cara pemanasan pada temperatur 1000°C yang disertai pengaliran uap. Pada aktivasi fisika ini yaitu proses menggunakan gas aktivasi misalnya uap air atau CO_2 yang dialirkan pada arang hasil karbonisasi. Menurut Ami Cobb (2012) proses ini biasanya berlangsung pada temperatur $800 - 1100^{\circ}\text{C}$.

Luas permukaan karbon aktif berkisar antara $300\text{-}3500 \text{ m}^2/\text{gram}$ dengan daya serap sangat besar yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif (Sembiring, 2003). Berdasarkan bentuknya, karbon aktif dapat dibedakan menjadi:

1. Karbon aktif serbuk (*powdered activated carbon*), berbentuk serbuk dengan ukuran partikel kurang dari 0,8 mm
2. Karbon aktif granular (*granular activated carbon*), memiliki partikel-partikel yang tidak rata dengan ukuran 0,2-5 mm

3. Karbon aktif pellet (*pelleted activated carbon*), berbentuk silinder dengan ukuran diameter 0,8-5 mm. Karbon aktif ini umumnya digunakan untuk aplikasi dalam fasa gas
4. Karbon aktif terlapisi polimer (*polymers coated carbon*), merupakan pori-pori karbon yang dapat dilapisi dengan biopolymer yang mungkin untuk menghasilkan permukaan yang halus dan permeable tanpa menutup pori.

Karbon aktif lebih mudah mengadsorpsi larutan dengan polaritas yang rendah dalam pelarut polar seperti air. Menurut SII No.0258 -79, arang aktif yang baik mempunyai persyaratan seperti yang tercantum pada **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2. 5 Persyaratan Arang Aktif

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maksimum 15%
Kadar Air	Maksimum 10%
Kadar Abu	Maksimum 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan	Minimum 20%

(Sumber: SII No. 0258-79)

2.3.4.1 Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Perubahan tempurung kelapa menjadi karbon aktif tempurung kelapa dilakukan dengan pemanasan melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Karbon aktif yang dibuat dari tempurung kelapa merupakan bahan adsorben yang baik digunakan dalam proses adsorpsi. Karbon aktif tempurung kelapa merupakan jenis media dengan harga murah yang mudah ditemukan di toko kimia dan merupakan hasil pengolahan dari limbah kelapa. Pemanasan tempurung kelapa pada suhu 700°C – 900°C menghasilkan arang aktif yang dihasilkan akan mempunyai ukuran rata-rata pori sebesar 20 Å. Dengan demikian dapat dicapai luas permukaan maksimum, sehingga menjadikan permukaan arang aktif tersebut bersifat hidrofobik dan mudah menyerap air (Chereminisoff, 1987).

Berdasarkan rujukan IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), ukuran partikel pori dikelompokkan kedalam tiga kelompok yaitu pori mikro (< 2 nm), porimeso (2 –50 nm) dan porimakro (> 50 nm). Karbon aktif berbahan arang tempurung kelapa memiliki ukuran pori mikro dan makro

bergantung pada parameter proses seperti suhu, tekanan dan keadaan atmosfer yang digunakan. Ukuran partikel arang tempurung kelapa juga mempengaruhi kemampuan penyerapan khususnya dalam penyerapan limbah unsur-unsur logam berat dari limbah air buangan. Kemampuan penyerapan akan berkurang seiring dengan pengurangan ukuran partikel dari ~ 0,3–0,04 mm. Partikel berbentuk bulat yang ukuran besar memiliki kemampuan penyerapan yang baik dan umumnya partikel karbon aktif berbahan arang tempurung kelapa yang digunakan adalah berukuran 3 – 4 mm.