

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teh (*Camellia Sinensis*)

Teh (*Camellia sinensis*) merupakan salah satu jenis tanaman yang populer sebagai minuman. Secara umum berdasarkan cara/proses pengolahannya, teh dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu teh hijau, teh oolong, dan teh hitam (Rohdiana, 2012). Sekitar 75% dari produksi teh di seluruh dunia adalah teh hitam. Teh hitam dikonsumsi oleh 87% peminum teh Amerika. Teh hitam merupakan jenis teh yang paling umum di Asia Selatan (India, Sri Lanka, Bangladesh) dan sebagian besar negara-negara di Afrika, seperti di Kenya, Burundi, Rwanda, Malawi dan Zimbabwe (Rossi, 2010). Tanaman teh *Camellia sinensis* O.K. *Var. assamica* (*Mast*) diklasifikasikan sebagai berikut :

Divisi	: Spermatophyta
Sub divisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Sub Kelas	: Dialypetalae
Ordo	: Guttiferales (Clusiales)
Familia	: Camelliaceae (Theaceae)
Genus	: <i>Camellia</i>
Varietas	: <i>Assamica</i>
Spesies	: <i>Camellia sinensis</i>

*Subgrade* teh mengandung protein kasar 27,42%, lemak 3,26%, kobalt 1,14%, fosfor 0,25% dan serat kasar 20,39% (persen dalam berat kering) (Fiberti, 2002). Menurut Mahvi et al., (2005) menggunakan *subgrade* teh sebagai adsorben untuk logam berat timah, kadmium, dan nikel. Efektivitas *subgrade* teh untuk ketiga logam ini, baik dalam bentuk tunggal maupun campuran, bervariasi dari 77,2% hingga mencapai 100%. Umumnya adsorben dari bahan alam (biosorben) diaktivasi terlebih dahulu untuk meningkatkan kinerja. *Subgrade* teh yang merupakan limbah industri minuman digunakan sebagai biosorben. Biomass diberikan perlakuan kimia seperti reaksi asam dan basa juga dengan perlakuan fisika seperti

pemanasan 6 dan pencucian yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan efisiensi adsorpsi oleh adsorben (Horsfall, 2003). Komposisi dari teh hitam dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel. 2.1.** Komposisi teh hitam

No.	Komponen	% Berat Kering
1.	Kafein	7,56
2.	Theobromin	0,69
3.	Theofilin	0,25
4.	(-) Epicatechin	1,21
5.	(-) Epicatechin gallat	3,86
6.	(-) Epigallocatechin	1,09
7.	(-) Epigallocatechin gallat	4,63
8.	Glikosida flavonol	Trace
9.	Bisflavanol	Trace
10.	Asam Theaflavat	Trace
11.	Theaflavin	2,62
12.	Thearubigen	35,90
13.	Asam gallat	1,15
14.	Asam klorogenat	0,21
15.	Gula	6,85
16.	Pektin	0,16
17.	Polisakarida	4,17
18.	Asam oksalat	1,50
19.	Asam malonat	0,02
20.	Asam suksinat	0,09
21.	Asam malat	0,31
22.	Asam akonitat	0,01
23.	Asam sitrat	0,84
24.	Lipid	4,79
25.	Kalium (potassium)	4,83
26.	Mineral lain	4,70
27.	Peptida	5,99
28.	Theanin	3,57
29.	Asam amino lain	3,03
30.	Aroma	0,01

Sumber : Graham HN (1984) dalam Tuminah S (2004)

## 2.2 Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit (*tannery*) adalah industri yang bertujuan untuk mengubah kulit mentah (*hide* atau *skins*) yang mudah rusak oleh aktivitas mikroorganisme melalui serangkaian proses kimia maupun fisika menjadi kulit tersamak (*leather*) yang lebih tahan terhadap faktor-faktor perusak tersebut. Proses ini merupakan upaya memasukkan bahan penyamak kedalam jaringan kulit yang berupa jaringan kolagen, sehingga terbentuk ikatan kimia yang menjadikannya lebih tahan terhadap faktor perusak. Zat penyamak dapat berupa bahan organik, yaitu bahan nabati, sintetis dan lemak, dan bahan anorganik atau mineral. Bahan penyamak nabati (*tannin*) yang sering dipakai berasal dari pohon akasia, mangrove dan mimosa. Lemak yang dapat digunakan untuk menyamak adalah yang mengandung trigliserida yang memiliki ikatan rangkap. Bahan penyamak mineral adalah garam-garam aluminium, krom, sikon, besi dan kobalt (Rohaeti, 2007).

Pawiroharsono (2008) menjelaskan bahwa kulit binatang (*domba*, *sapi*, *kerbau*) sebelum disamak, pada umumnya digarami dan dijemur dibawah sinar matahari terlebih dahulu. Tahap selanjutnya kulit tersebut dilakukan proses penyamakan secara bertahap menggunakan bahan kimia. Proses penyamakan ini mencakup: perendaman (*soaking*), pengapuran (*liming*), pencabutan/penghilangan bulu (*dehairing*), penghilangan kapur (*deliming*), pembuangan protein (*bating*), penghilangan lemak (*degreasing*), pengasaman (*pickling*) dan penyerutan (*shaving*).

Proses sebelum penyamakan dimulai saat kulit dilakukan perendaman kedalam air. Pada proses perendaman ini kadang-kadang ditambahkan gula dengan maksud mempercepat pertumbuhan bakteri pembusuk protein guna mempermudah proses pencabutan rambut/bulu. Waktu yang dibutuhkan untuk proses perendaman kulit tergantung dari jenis dan keadaan kulit sebelumnya. Proses dapat berlangsung selama 24-36 jam (Pawiroharsono,2008).

Menurut Setiyono dan Yudo (2014), proses penyamakan kulit dibagi menjadi 3 tahap, yaitu *beam house*, *tanning* dan

*finishing*. Bahan baku yang digunakan adalah kulit binatang seperti sapi, kerbau, kambing yang didapat dari rumah potong hewan. Secara garis besar, proses penyamakan kulit dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Proses Pengerjaan Basah (*Bean House*)

Proses pengerjaan basah (*Bean House*) adalah proses awal yang dilakukan dalam industri penyamakan kulit. Fungsi dari proses adalah mempersiapkan kulit untuk dimasuki bahan penyamak, menghilangkan bagian-bagian kulit yang tidak perlu, dan memperbesar pori kolagen sehingga bahan penyamak dapat masuk. Proses terdiri dari empat tahap yaitu perendaman (*soaking*), pengapuran, pembelahan, pengasaman. Masing-masing tahapan akan dijelaskan sebagai berikut:

Perendaman (*soaking*) berfungsi untuk mengembalikan kadar air yang hilang selama proses pengeringan sebelumnya karena kulit basah lebih mudah bereaksi dengan bahan kimia penyamak, membersihkan sisa kotoran, darah, garam yang masih melekat pada kulit serta mengembalikan sifat kulit mentah menjadi lemas dan lunak. Bahan kimia yang digunakan adalah air, teepol, dan soda abu. Limbah dari perendam ini adalah desinfektan dan kotoran-kotoran dari kulit.

Tahapan selanjutnya adalah pengapuran yang dilakukan selama 24jam. Pengapuran adalah proses membengkakkan kulit untuk melepas sisa daging, menyabunkan lemak pada kulit, pembuangan sisik, pembuangan sisa daging, menghilangkan epidermis, bulu kelenjar keringat dan kelenjar lemak. Bahan kimia yang digunakan yaitu air, *sodium sulfide*, dan kapur.

Tahap ketiga dari proses pengerjaan basah adalah pembelahan (*magnalitting*). Fungsi dari tahap ini adalah untuk membelah kulit menjadi dua bagian yang mana kulit atasan diperoleh dari penipisan kulit mentah menggunakan mesin belah (*Magnalitting machine*).

Proses pengasaman (*Pickling*) berfungsi untuk menghilangkan kapur, menetralkan kulit dari suasana basa, menghindari pengerutan kulit, menghindari timbulnya endapan kapur yang dilakukan pada pH 3-3,5 dimana kulit dalam keadaan tidak bengkak. Bahan kimia yang digunakan adalah asam-asam organik lemah seperti asam formiat dan asam

laktat. Pengasaman dilakukan karena pada proses pengapuran terdapat sisa-sisa kapur pada kulit. Ini akan mengganggu proses penyamakan selanjutnya.

Proses yang dimaksud yaitu:

- kapur akan bereaksi dengan zat penyamak menjadi kalsium tannat yang berwarna agak gelap dan keras ketika kulit disamak nabati, akibatnya kulit menjadi pecah
- kapur akan bereaksi menimbulkan pengendapan krom hidroksida pada kulit disamak krom. Pembuangan kapur dilakukan dengan menggunakan asam atau garam asam. Misalnya  $H_2SO_4$  dan  $(NH_4)_2SO_4$

Selain mengasamkan kulit, tahap pengasaman memiliki fungsi menghilangkan noda hitam akibat proses sebelumnya, menghilangkan noda besi yang diakibatkan oleh  $Na_2S$  dan menghilangkan noda putih akibat pengendapan  $CaCO_3$  yang menyebabkan cat dasar tidak merata. Pengasaman menghasilkan kulit yang tahan terhadap serangan bakteri pembusuk.

## 2. Proses Penyamakan (*Tanning*)

Prinsip dari proses penyamakan adalah memasukkan zat penyamak ke dalam jaringan serat kulit (kolagen). Jenis penyamak yang digunakan mempengaruhi hasil akhir yang diperoleh. Ada 3 jenis bahan penyamak yang dapat digunakan serta pengaruh penggunaannya, yaitu:

- bahan penyamak dapat berasal dari bahan nabati (tumbuh tumbuhan), mineral, dan minyak. Bahan penyamak nabati dapat berasal dari kulit akasia, manggis, buah pinang, gambir dan lain-lain. Penyamak nabati (*tannin*) memberikan warna coklat muda atau kemerahan, bersifat agak kaku tapi empuk dan kurang tahan terhadap panas.
- bahan penyamak mineral adalah garam-garam yang berasal dari senyawa-senyawa yang mengandung logam-logam seperti aluminium, zirconium dan kromium. Penyamakan krom menghasilkan kulit yang lebih lembut/lemas, daya tarik tinggi dan lebih tahan terhadap panas dan bakteri.

- bahan penyamak dari minyak dapat berasal dari minyak ikan hiu atau ikan lainnya.

Proses penyamakan biasanya menggunakan bahan kimia seperti cromosal B dan formalin. Proses akan diperoleh kulit yang tersamak dengan logam krom. Kulit ditumpuk selama 1-2 hari. Dilakukan pemerasan dengan mesin ataupun tangan guna menghilangkan kadar air yang masih tersisa maka. Selanjutnya diatur ketebalan kulit agar rata dengan mesin ketam yang disebut pengetaman (*Shaving*).

Tahapan pemucatan dilakukan dengan menggunakan asam-asam organik yaitu kalsium hipoklorida dan sodium hidroksida, dengan tujuan untuk menghilangkan flek besi dari mesin ketam dan menurunkan pH kulit yang berarti memudahkan warna kulit. Setelah tahap pemucatan dilakukan tahap penetralan (*Neutralizing*). Tahapan bertujuan agar tidak mengganggu tahapan selanjutnya karena kulit yang tersamak bersifat asam dengan pH 3-4. Bahan kimia yang digunakan adalah garam alkali misalnya  $\text{NaHCO}_3$ .

Selanjutnya tahapan pengecatan dasar (*Dyeing*) berfungsi untuk memberikan warna dasar pada kulit agar cat dasar dan asam formiat. Tahapan peminyakan menggunakan bahan berupa air, minyak sulphonasi dan anti jamur. Fungsi dari proses ini antara lain:

- untuk pelumas serat-serat kulit agar kulit menjadi tahan tarik
- membuat kulit terpisah satu dengan yang lainnya
- kulit menjadi tahan air

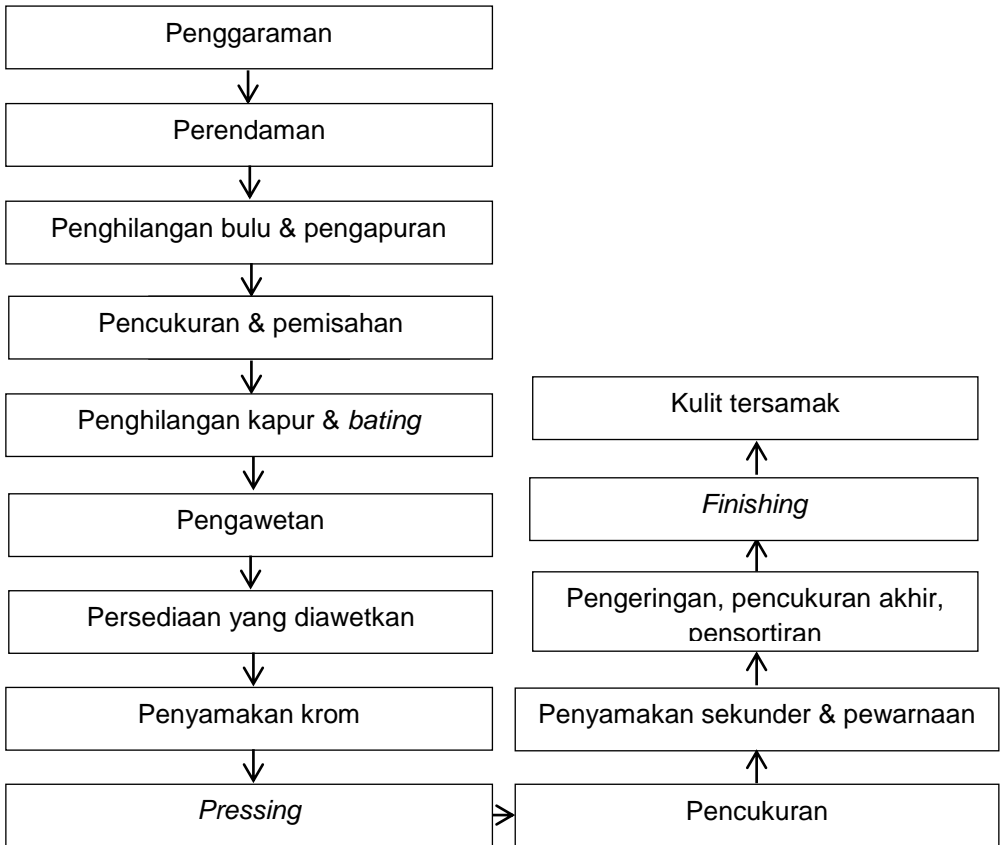
Mencegah warna kulit gelap dan permukaan yang mudah pecah bila ditekuk maka harus dilakukan pelumasan (*Oiling*), hal ini dilakukan untuk mencegah keluarnya bahan penyamak sebelum kulit menjadi kering. Pelumasan ini menggunakan 1 bagian minyak paraffin, 1 bagian minyak sulfonir dan 3 bagian air.

Selanjutnya kulit diperas dengan mesin atau tangan lalu dikeringkan agar tidak terjadi reaksi kimia didalam kulit. Setelah kulit kering akan diregang untuk memperoleh kulit yang lebih lebar hingga mendekati batas kemulurannya. Perenggangan ini biasanya dilakukan dengan tangan ataupun mesin renggang.

### 3. Penyelesaian akhir (*Finishing*)

Setelah dilakukan proses penyamakan maka kulit jadi yang diperoleh dapat diperindah dengan pengkilapan, pewarna juga dilakukan penghalusan permukaan kulit serta menutup cacat atau warna cat dasar yang tidak rata.

Proses penyamakan kulit menggunakan mineral secara runtut dapat dilihat pada **Gambar 2.1** :



(Sumber : Setiyono dan Yudo. 2014)

**Gambar 2.1** Proses penyamakan kulit

## 2.3 Limbah

Air limbah merupakan sisa atau hasil buangan dari suatu kegiatan yang berwujud cair. Air limbah dapat berasal dari rumah tangga (domestik), kegiatan sehari-hari maupun industri. Setiap aktivitas produksi dalam suatu industri selalu menghasilkan air buangan. Air buangan tersebut dapat membawa dampak buruk terhadap kehidupan perairan tersebut, karena dapat menurunkan kualitas perairan tersebut. Limbah cair atau air buangan adalah cairan buangan yang berasal dari rumah tangga, perdagangan, perkantoran, industri maupun tempat-tempat umum lainnya yang biasanya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan kesehatan (Asmadi & Suharno 2012), sedangkan menurut (Ginting, 2007). Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Limbah yang mengandung bahan polutan yang memiliki sifat racun dan berbahaya dikenal dengan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumberdaya alam .

Limbah digolongkan menjadi 3 yaitu:

- Limbah cair (*Liquid Wastes*)

Limbah cair adalah hasil buangan industri yang berbentuk limbah organik terlarut, bahan anorganik terlarut, limbah organik tersuspensi, bahan organik tersuspensi. Limbah cair bersumber dari pabrik yang biasanya banyak menggunakan air pada sistem prosesnya, disamping itu ada pula bahan baku yang mengandung air yang harus dibuang. Air terikat dalam proses pengolahan kemudian misalnya ketika dipergunakan sebagai bahan untuk diproses lebih lanjut (Degremont, 1984).

- Limbah Padat (*Solid waste*)

Limbah padat industri adalah hasil buangan industry berupa padatan, lumpur atau bubur yang berhasil dari suatu proses pengolahan. Dalam konsep lingkungan



didefinisikan limbah padat dibagi menurut jenisnya yaitu municipal dan non municipal. Municipal yaitu limbah perkotaan dihasilkan oleh perumahan dan perkantoran, biasa disebut sebagai sampah (*trash*) berupa kertas, sampah tanam, gelas, logam, plastic, sisa makanan, serta bahan lain seperti karet, kulit dan tekstil. Sedangkan non municipal yaitu limbah yang berasal dari kegiatan industri, pertanian, pertambangan, dengan jumlah yang jauh lebih besar dari pada sampah perkotaan (Arief,2012).

- Limbah Berbahaya Beracun/B3 (*Hazardous and toxic waste*)

Menurut (Arief, 2012) definisi limbah B3 berdasarkan BAPEDAL tahun 1995 ialah setiap bahan sisa (limbah) suatu kegiatan proses produksi yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) karena sifat (*toxicity, flammability, reactivity, dan corrosivity*). Dan menurut PP No.18 tahun 1999, yang dimaksud dengan limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup.

### **2.3.1 Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit**

Limbah cair industri penyamakan kulit merupakan salah satu masalah yang utama selama industri penyamakan kulit berlangsung karena menghasilkan bahan-bahan organik dan logam *chromium*. Pencemaran limbah cair industri penyamakan kulit paling luas dampaknya karena proses pengerjaannya menggunakan air dalam jumlah yang banyak dan limbah yang dibuang langsung ke sungai, sehingga mempengaruhi kesehatan manusia serta dapat menimbulkan kematian biota perairan. Limbah industri penyamakan kulit merupakan masalah serius diantara limbah pencemar industri lainnya karena merupakan campuran yang kompleks dengan komposisi yang sulit diketahui secara tepat (Lasindrang, 2014).

Menurut Rohaeti (2007) limbah penyamakan kulit dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena pembuangan limbah padat dan limbah cair, juga pencemaran udara karena bau. Pengolahan 6000-10000 lembar kulit akan menghasilkan limbah padat sebanyak 2,5-4 ton dan limbah cair 250-500  $m^3$ . Limbah cair dengan kadar protein yang cukup tinggi juga akan menghasilkan bau apabila tidak segera ditangani. Pencemaran gas juga dapat berasal dari ammonia di gudang kulit mentah serta gas  $H_2S$  dan amonia di bak aerasi dan di rumah basah. Limbah padat penyamakan kulit yang kaya akan bahan organik dapat dimanfaatkan untuk pupuk tanaman, akan tetapi apabila kandungan kromnya sangat tinggi justru dapat meracuni tanaman. Kadar krom pada filter cake limbah industri penyamakan dapat mencapai 3-7%.

Menurut Ningrum (2010), limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan kulit itu sendiri, selain itu ditambah dari limbah yang berasal dari setiap tahapan proses yang menggunakan bahan kimia seperti proses perendaman, pengapuran, pembuangan kapur, pengasaman, penyamakan, pencelupan, pemninyakan, pengawetan dan penyempurnaan. Kualitas air limbah yang berasal dari setiap proses relatif lebih buruk dari limbah gabungan, karena air limbah gabungan merupakan pencampuran dari seluruh proses, sehingga telah saling menetralkan. Sifat dan karakteristik limbah cair industri penyamakan kulit dapat dilihat pada **Tabel 2.2** .

Industri penyamakan kulit secara garis besar menghasilkan tiga jenis limbah, yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Ketiga limbah tersebut dihasilkan dari berbagai proses yang terjadi dalam pra penyamakan, penyamakan dan pasca penyamakan. Proses penyamakan yang menggunakan bahan penyamak *chromium* valensi tiga (3) akan menghasilkan limbah yang mengandung chromium. Selain itu juga, terdapat logam-logam lain seperti kalium, kalsium, dan magnesium yang berasal dari proses pengapuran. Limbah yang mengandung chromium trivalen membahayakan lingkungan karena chromium trivalen dapat berubah menjadi chromium heksavalen yang bersifat toksik (Wahyuadi,2004).

**Tabel. 2.2** Karakteristik Limbah Cair Penyamakan Kulit Berdasarkan Proses

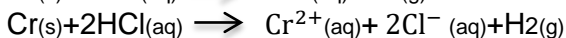
Input	Proses	Limbah
Kulit mentah kering, air, obat pembersih dan antiseptik	Perendaman ( <i>soaking</i> )	Sisa daging, darah, bulu, garam, mineral, debu dan kotoran lain.
Kulit yang sudah direndam 300-400 % air, kapur tohor, natrium sulfida	Buangan bulu ( <i>Unharing</i> ) dan pengapuran ( <i>liming</i> )	Air yang berwarna putih kehijauan, kotor mengandung kalsium, natrium sulfida dan albumin, bulu, sisa daging dan lemak.
Kulit, air, asam ( $H_2SO_4, KCOOH, (NH_4)_2SO_4$ , Dektal).	Pembuangan kapur ( <i>Deliming</i> )	Nitrogen amonia
Kulit, air hangat 35°C, oropon atau enzylon	Pengikisan protein ( <i>Batting</i> )	Lemak
Kulit, air, garam dapur, asam ( $H_2SO_4, HCOOOH$ )	Pengasaman ( <i>Pickling</i> )	Protein, sisa garam sejumlah kecil mineral
Krom sulfat	Penyamakan krom	Limbah cair mengandung $Cr^{3+}$
Kulit tersamak	Finishing	Uap larutan

Sumber : Siring (2012)

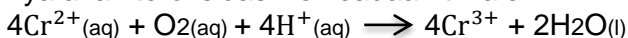
### 2.3 Kromium (Cr)

Logam kromium dengan simbol Cr (*Chromium*) mempunyai nomor atom 24. Kromium berwarna putih perak keabu-abuan, berkilau, dan sangat keras dengan kilapan tinggi. Logam ini pertama kali ditemukan pada tahun 1797 oleh seorang bernama Vauquelin. Kromium berasal dari kata Chroma yang artinya warna. Periodik unsur terdapat pada periode 4 golongan VI B. Kromium mempunyai konfigurasi elektron  $[Ar] 4s^1 3d^5$ , berat atom 51.996 sma, jari-jari atom 124.9 pm, titik leleh 1907°C. Dalam larutan air, kromium membentuk tiga jenis ion: kation-kation Cr(II), Cr(III), anion kromat dan dikromat dengan bilangan oksidasi Cr adalah +6 (Vogel, 1990).

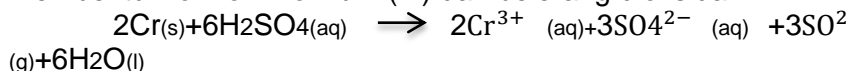
Logam larut dalam asam klorida encer atau pekat. Jika tidak terkena udara akan terbentuk ion-ion Cr (II):



Adanya oksigen dari atmosfer, kromium sebagian atau seluruhnya akan teroksidasi ke keadaan trivalen:



Asam sulfat pekat panas, kromium melarut dengan mudah membentuk ion-ion kromium (III) dan belerang dioksida:



Kromat  $\text{CrO}_4^{2-}$ , atau dikromat,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ , Cr pada anion ini memiliki bilangan oksidasi +6. Ion-ion ini diturunkan dari kromium trioksida,  $\text{CrO}_3$ . Ion-ion kromat berwarna kuning, sedangkan dikromat berwarna jingga. Kromat mudah diubah menjadi dikromat dengan penambahan asam:



Dalam larutan netral (atau basa) ion kromat stabil, sedangkan jika diasamkan akan terdapat ion-ion dikromat. Ion-ion kromat dan dikromat merupakan zat pengoksidasi yang kuat (Vogel, 1990).

Ion Cr(VI) merupakan ion logam yang sangat beracun yang dihubungkan dengan kanker pada manusia. Logam ini juga bersifat toksik. Limbah cair Cr(VI) terutama berasal dari proses pewarnaan dengan menggunakan bahan kimia seperti  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  untuk pewarnaan orange. Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadinya pembengkakan hati (Palar, 2004).

Menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, baku mutu limbah yang boleh dialirkan ke air permukaan untuk Cr(VI) sebesar 0,05-1 mg/L dan untuk Cr (total) sebesar 0,1-2 mg/L (Diantariani dkk, 2008). Logam khususnya Cr(VI) dalam limbah industri yang melebihi ambang batas harus diminimalkan.

## 2.4 Adsorpsi

Beberapa partikel koloid mempunyai sifat adsorpsi (penyerapan) terhadap partikel atau ion atau senyawa yang lain. Penyerapan pada permukaan disebut adsorpsi (harus dibedakan dari *adsorpsi* yang artinya penyerapan sampai ke bawah permukaan). Adsorpsi adalah proses penyerapan zat/partikel/molekul pada permukaan diri zat tersebut sehingga koloid akan memiliki muatan listrik. Antara partikel koloid dengan ion-ion yang diadsorpsi akan membentuk beberapa lapisan, yaitu :

- a. Lapisan pertama yaitu lapisan inti bersifat netral, terdiri atas partikel koloid netral
- b. Lapisan ion dalam yaitu lapisan ion-ion yang diadsorpsi oleh koloid
- c. Lapisan ion luar.

Menurut Kusnaedi (2010) Adsorpsi merupakan penangkapan /pengikatan ion ion bebas di dalam air oleh adsorben. Contoh zat yang digunakan untuk proses adsorpsi adalah zeolite dan resin yang merupakan polimerisasi dari polihidrik fenol dengan formaldehid. Contohnya, pengikatan ion  $Ca^{2+}$  dan  $Na^+$ . Setiap gram resin dapat mengadsorpsi asam 4-9 mev (milli-equivaen). Banyaknya adsorben yang diperlukan tergantung konsentrasi larutan. Semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin besar pula adsorben yang diperlukan untuk menjernihkan air.

### 2.4.1 Adsorpsi Secara Fisika

Proses adsorpsi atau penyerapan adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakan dengan suatu padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Apabila interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relatif lemah, maka proses ini disebut adsorpsi fisik yang terjadi hanya karena gaya *van der Waals* (Kusnaedi ,2010).

Berdasarkan interaksi molecular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan

secara kimia (adsorpsi). Adsorpsi jenis ini, adsorpsi terjadi tanpa adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Molekul-molekul adsorbat terikat secara lemah karena adanya gaya *van der Waals*. Adsorpsi ini relative berlangsung cepat dan bersifat reversible (*reversible*). Karena dapat berlangsung dibawah temperature kritis adsorbat yang relative rendah, maka panas adsorpsi yang dilepaskan juga rendah. Adsorbat yang terikat secara lemah pada permukaan adsorben, dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain. Peristiwa adsorpsi fisika menyebabkan molekul-molekul gas yang teradsorpsi mengalami kondensasi. Besarnya panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi fisika adalah kalor kondensasinya (Kusnaedi ,2010).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energy aktivasi, sehingga proses tersebut membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara *degassing* atau pemanasan pada temperature 150-200 °C selama 2-3 jam (Kusnaedi ,2010).

#### **2.4.2 Adsorpsi Secara Kimia**

Adsorpsi terjadi karena adanya reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi jenis ini diberi istilah sebagai "*absorption*" dan bersifat tidal reversible hanya membentuk satu lapisan tunggal (*monoplayer*). Umumnya terjadi pada temperature diatas temperature kritis adsorbat, sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi.

#### **2.4.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi**

Menurut Salirawati,(2008) Daya adsorpsi dipengaruhi oleh lima faktor

1. Jenis adsorbat
  - a. Ukuran molekul  
Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi

adalah molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Tekanan (P), Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

4. Temperatur absolut (T), Temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa *exothermic*. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

5. Interaksi Potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

## 2.5 Adsorben

Luasnya permukaan spesifik, sangat mempengaruhi besarnya kapasitas penyerapan dari adsorben. Semakin luas permukaan spesifik dari adsorben, maka semakin besar pula kemampuan penyerapannya. Volume adsorben membatasi

jumlah dan ukuran pori-pori pembentuk permukaan dalam (*internal surface*) yang menentukan besar atau kecilnya permukaan penyerapan spesifik. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi (Wahyu, 2008):

1. Luas permukaannya besar, sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
2. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorp
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

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). Adsorpsi bersifat efektif, berarti yang dapat diadsorpsi hanya zat terlarut atau pelarut dan molekul yang teradsorpsi dapat membentuk fasa dua dimensi dan terakumulasi pada permukaan. Adsorpsi padat-cair, mekanisme adsorpsi bergantung pada faktor – faktor seperti gaya interaksi antara molekul adsorbat dengan permukaan, gaya interaksi antara molekul pelarut dengan permukaan adsorben dan pori-porinya (oscik, 1982).

### **2.5.1 Jenis-jenis Adsorben**

Menurut Wahyu(2008) macam-macam adsorben yang umum digunakan , antara lain:

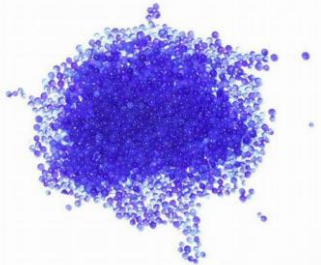
#### **a. Silika gel**

Silika gel cenderung mengikat adsorbat dengan energy yang relative lebih kecil dan membutuhkan teperatur yang rendah untuk proses desorpsinya, dibandingkan jika menggunakan adsorben lain seperti karbon atau zeolite.

Kemampuan desorpsi silica gel meningkat dengan meningkatnya temperature. Silika gel terbuat dari silica dengan ikatan kimia mengandung air kung lebih 5% . Umumnya temperature kerja silica gel sampai pada 200 °C, jika dioperasikan lebih dari batas temperature kerjanya maka



kandungan air dalam silika gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang. Bentuk butiran silika gel yang banyak digunakan untuk proses adsorpsi adalah seperti **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Bentuk butiran silika gel.

b. Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dari batu bara, kayu, dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolizing* dan *carburizing* pada temperature 700 sampai 800 °C. Hampir semua adsorbat dapat diserap oleh karbon aktif kecuali air. Karbon aktif dapat ditemukan dalam bentuk bubuk dan *granular*. Umumnya karbon aktif dapat mengadsorpsi methanol atau ammonia sampai 30% bahkan karbon aktif super dapat mengadsorpsi sampai dua kalinya. Bentuk butiran karbon aktif adalah seperti **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Bentuk butiran karbon aktif

C. Zeolit

Zeolit mengandung Kristal zeolite yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral *aluminosilicate* ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A,

10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0,05 sampai 0,30  $cm^3$  / gram dan dapat dipanaskan sampai 500 °C tanpa harus kehilangan mampu adsorpsi dan regenerasinya. Zeolit 4A (NaA) digunakan untuk mengeringkan dan memisahkan campuran *hydrocarbon*. Zeolit 5A (CaA) digunakan untuk memisahkan *paraffins* dan beberapa *Cyclic hydrocarbon*. Zeolit 10X (CaX) dan 13X (NaX) memiliki diameter pori yang lebih besar sehingga dapat mengadsorpsi adsorbat pada umumnya. Bentuk butiran zeolite adalah seperti **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Zeolit

## 2.6 Adsorbat

Menurut Wahyu(2008) Adsorbat yang biasa digunakan untuk pendinginan adalah air, methanol, dan ammonia

### a. Air

Merupakan adsorbat yang ideal karena memiliki kalor laten spesifik terbesar, mudah didapat, murah, dan tidak beracun. Air dapat dijadikan pasangan zeolite, dan silica gel. Tekanan penguapan air yang rendah merupakan keterbatasan air sebagai adsorbat, sehingga menyebabkan:

- Temperatur penguapan rendah (100°C), sehingga penggunaan air terbatas hanya untuk *air-conditioning dan chilling*.
- Tekanan system selalu dibawah tekanan normal (1 atm ). Sistem harus memiliki instalasi yang tidak bocor agar udara tidak masuk.
- Rendahnya tekanan penguapan air menyebabkan rendahnya tekanan proses adsorpsi di batasi oleh transfer massa.

### b. Metanol

Dibanyak hal kemampuan atau performa methanol berada diantara air dan ammonia. Metanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk membuat es. Meskipun demikian pada temperature lebih dari 120 °C, tekanan menjadi tidak stabil. Untuk temperature aplikasi lebih dari 200 °C adsorben yang biasa digunakan adalah karbon aktif, silica gel, dan zeolit.

### c. Ammonia

Besarnya panas laten spesifik ammonia adalah setengah lebih rendah dari panas laten spesifik air, pada temperature 0 °C dan memiliki tekanan penguapan yang tinggi. Ammonia memiliki keuntungan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai refrigerant sampai -40 °C, dan dapat dipanaskan sampai 200 °C. Kerugian dari ammonia :

- Beracun, sehingga penggunaanya dibatasi
- Tidak dapat ditampung pada instalasi yang terbuat dari tembaga atau campurannya.

## 2.7 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah diproses dengan cara diaktivasi sehingga senyawa karbon tersebut berpori dan memiliki luas permukaan yang sangat besar dengan tujuan untuk meningkatkan daya adsorpsinya (Arfan, 2006). Karbon aktif merupakan material yang unik karena material ini memiliki pori/celah/rongga dengan ukuran skala molekul (nanometer). Pori tersebut memiliki gaya *Van Der Waals* yang kuat.

Karbon aktif digunakan sebagai adsorben dengan segala kegunaan. Karbon aktif merupakan jenis adsorben yang paling banyak digunakan, baik itu dari segi aplikasi maupun volume penggunaanya dan ditambah lagi dengan penggunaan karbon aktif telah digunakan sejak 1600 S.M oleh bangsa Mesir untuk tujuan pengobatan. Abad ke-13, bangsa Jepang telah menggunakan karbon aktif untuk pemurnian sumur mereka. Karbon aktif (*activated charcoal*) secara komersial telah digunakan pada industry pembuatan gula di Inggris pada tahun




1794. Zaman perang dunia pertama, karbon aktif telah dikembangkan sebagai *gas purifier*, yaitu sebagai penyaring udara/*filter* pada masker yang digunakan para prajurit untuk menghindari terhirupnya gas beracun.

Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air. Luas permukaan (*surface area*) adalah salah satu sifat fisik dari karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar  $1.95 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$ , dengan total volume pori-porinya  $10.28 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan diameter pori rata-rata 21.6 Å, sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak (Martin, 2008).

### 2.7.1 Klasifikasi Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai beberapa klasifikasi, diantaranya seperti pada **Tabel 2.3**.

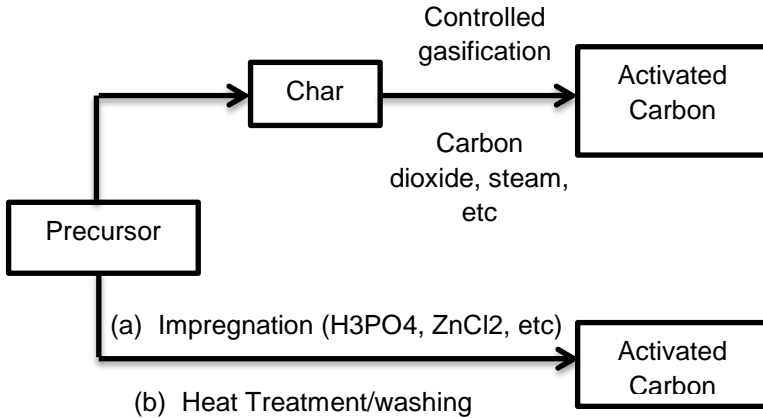
**Tabel 2.3** Klasifikasi karbon aktif berdasarkan bentuknya

Jenis Karbon Aktif	Ukuran mm	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	<0.18	Digunakan pada fasa gas	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0.2 - 5	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0.8 - 5	Digunakan pada fasa gas	

Sumber : (Martin,2008)

## 2.7.2 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Berikut merupakan penjelasan secara skematis proses pembuatan karbon aktif secara umumnya terdapat pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.5** Skema pembuatan karbon aktif secara umum (Marsh, *et al.*,2006)

Ada 2 metode yang digunakan, yaitu metode aktivasi fisika (*physical/thermal activation*) dan aktivasi kimia (*chemical activation*). Menurut Martin(2008) pada prinsipnya pembuatan karbon aktif terdiri atas tiga proses sebagai berikut :

### 1. Pemilihan bahan dasar

Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai macam bahan, selama bahan tersebut mengandung unsur karbon seperti batubara, tempurung kelapa, kayu, sekam padi, tulang binatang, kulit biji kopi, dan lain-lain. Pemilihan bahan dasar untuk dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria yaitu unsur inorganic yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki *durability* yang baik, dan mudah untuk diaktivasi.

### 2. Karbonasi

Karbonasi adalah suatu proses pirolisis pada suhu 400-900 °C. Pirolisis adalah suatu proses untuk merubah komposisi

kandungan kimia dari bahan organik dengan cara dipanaskan dalam kondisi tidak ada kandungan udara sekitar. Jadi, bahan dasar “diselimuti” gas inert untuk mencegah bahan terbakar karena adanya udara sekitar. Biasanya gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dan Argon (Ar) digunakan pada proses karbonisasi. Tujuan karbonisasi untuk menghilangkan zat-zat yang mudah menguap (*volatile matter*) yang terkandung pada bahan dasar. Bahan dasar yang telah melalui proses karbonisasi sudah memiliki pori-pori.

### 3. Aktivasi

Aktivasi adalah bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka atau menciptakan pori yang dapat dilalui oleh adsorbat, memperbesar distribusi dan ukuran pori serta memperbesar luas permukaan karbon aktif dengan proses *heat treatment* pada temperature 800-1200 °C. Menurut Marsh, et al(2006)

Terdapat 2 metode aktivasi, yaitu :

#### a. Aktivasi Fisika

Bahan dasar dari karbon aktif diaktivasi menggunakan *activating agent* dari gas CO<sub>2</sub> atau *steam* pada suhu 800-1200 °C. Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik/sifat dari karbon aktif yang dihasilkan proses aktivasi fisika antara lain adalah bahan dasar, laju aliran kalor *furnace*, laju aliran gas, proses karbonisasi sebelumnya, temperature pada saat proses aktivasi, *activating agent* yang digunakan, lama proses aktivasi, dan alat yang digunakan.

#### b. Aktivasi Kimia

Bahan dasar direndam terlebih dahulu pada *activating agent* berupa bahan kimia tertentu yang bersifat asam (misalnya : *phosphoric acid* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), basa (*potassium hydroxide* KOH, *sodium hydroxide* NaOH). Proses dilanjutkan dengan proses karbonisasi, dan kemudian hasil proses karbonisasi tersebut didinginkan lalu dicuci dengan tujuan menghilangkan atau membuang *activating agent* yang sebelumnya telah bercampur pada bahan dasar.