

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Solidifikasi

Adalah suatu metode untuk mengubah limbah yang terbentuk padatan halus menjadi padat dengan menambahkan bahan pengikat kemudian dilanjutkan dengan penambahan bahan pematat (*Solidifying Agent*). Tujuannya adalah untuk mengubah limbah yang bersifat berbahaya menjadi tidak berbahaya dengan merubah karakteristik fisik dengan cara mengubah bentuk limbah cair atau lumpur limbah menjadi bentuk padat monolit untuk mengurangi kemampuan atau penyebaran dari zat pencemar yang ada dalam limbah sehingga diperoleh produk dalam bentuk matrik padat sehingga mudah diangkut dan disimpan (Wentz,A,Charles,1995).

Metode ini dilatarbelakangi dari suatu kenyataan bahwa bahan yang termasuk ke dalam golongan bahan berbahaya dan beracun tingkat bahayanya paling tinggi bila dalam bentuk gas dan paling rendah bila dalam bentuk padat (Manahan,1994).

Bahan yang digunakan dalam proses *solidifikasi* adalah bahan non *radioaktif* untuk mengikat limbah menjadi satu kesatuan (*monolit*). Bahan yang digunakan disesuaikan dengan :

1. Kemampuan unsur pencemar dari limbah yang meliputi : jenis, sifat, dan tingkat bahaya dari bahan pencemar.

2. Sifat fisik dan kimia limbah : cairan, lumpur, resin penukar ion dan zat padat.
3. Sifat pengepakan dalam kaitannya dengan sistem pembuangan.

Tujuan dari proses *solidifikasi* antara lain :

1. Meningkatkan karakteristik fisik dan penanganan limbah
2. Mengurangi luas permukaan sehingga kontaminan yang lolos menjadi lebih sedikit
3. Membatasi kelarutan pencemar
4. Mereduksi *toksitas*.

Bahan pengikat (*Binder*) yang sering digunakan antara lain :

1. Semen atau bahan pengikat hidraulik lainnya
2. Kapur Ca(OH)_2
3. Senyawa silikat (tanah liat, pozolan dan lain-lain).
4. Bahan termoplastik
5. Polimer organik

2.1.1 Prinsip Dasar Solidifikasi

Secara umum proses pengolahan limbah industri dengan metode/teknologi yang ada pada saat ini tidak terlepas dari hukum termodinamika yang menyatakan bahwa suatu zat tidak dapat dihilangkan atau musnah, melainkan hanya berubah sifat/jenis dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya. Oleh karena itu dari setiap kegiatan proses transformasi dari bahan baku menjadi produk akan mengeluarkan berupa hasil buangan/*waste*. (Breck, W.G, 1997).

Bahan yang digunakan dalam proses *solidifikasi* merupakan penahan primer yang membatasi terlepasnya *radionuklida* atau pencemar, dengan demikian hasil *solidifikasi* harus memiliki kualitas yang baik yang antara lain dapat dilihat dari proses pengujian yang dilakukan terhadap hasil proses tersebut antara lain pengujian kuat tekan, uji susut berat serta uji lindi. (Anonim, 2002).

Dalam proses *solidifikasi* menggunakan mineral lokal yang mana mineral lokal merupakan mineral yang keberadaannya terdapat di Indonesia sehingga sumber daya alam terutama mineral dapat digunakan seoptimal mungkin guna mereduksi beban pencemaran khususnya limbah bahan berbahaya dan beracun. Mineral lokal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bentonit, feldspar dan kaolin dengan dilakukan proses pemanasan yang berfungsi untuk mengubah bentuk limbah menjadi bentuk padat monolit dengan memperhatikan kualitas monolit yang terbentuk. (Endro, 2001).

Pemanasan yang dilakukan pada suhu 150°C terjadi reaksi air mekanis dan air yang terperangkap dalam mineral akan menguap, banyaknya air yang menguap tergantung pada ukuran mineral. Reaksi dehidrasi air kristal mulai terjadi pada suhu 450°C sampai 700°C yang mana akan terjadi dekomposisi mineral, yaitu lepasnya air terhidrat dalam mineral. Pada suhu 700°C terjadi reaksi dehidrasi air mekanis dan reaksi dehidrasi air kristal atau reaksi dekomposisi. Reaksi kristalisasi terjadi pada suhu 1000°C dan transformasi senyawa-senyawa oksida membentuk senyawa-senyawa kristalin. Pada pemanasan tahap ini mineral telah mengurai total menjadi *silik amorf* dan *alumina amorf* serta terjadi reaksi oksidasi dari senyawa pengotor yang mudah teroksidasi

pada suhu tinggi yang mana adanya oksidasi ini berpengaruh terhadap pembentukan monolit.

Pemanasan sampai suhu 1300°C terjadi reaksi kristalisasi silika dari bentuk *amorf* menjadi *crystobalite*. Sampai tahap ini telah mulai terjadi *vitrifikasi* dari mineral yang dipanaskan dengan ruang-ruang kosong yang terjadi karena ditinggal oleh air dan senyawa organik yang terbakar (teroksidasi) akibat adanya reaksi dehidrasi dan oksidasi yang sudah mulai merapat. Untuk mendapatkan kualitas *solidifikasi* yang baik dengan pemerataan unsur yang akan *disolidifikasi* dengan bahan *Solidifying Agent*, maka homogenitas harus dijaga antara bahan yang digunakan dan unsur yang akan *disolidifikasi*. (Endro, 2001).

Mineral lokal (*Solidifying Agent*) yaitu bentonit, feldspar dan kaolin dengan kandungan utama silikat dan aluminium mampu melakukan penyerapan, agar unsur yang telah terserap tidak terlepas baik karena adanya reaksi dari luar ataupun kerusakan struktur mineral liat, maka harus dipadatkan menjadi satu kesatuan dengan memperhatikan komposisi yang baik dari bahan yang digunakan serta homogenitas sehingga dapat mencegah terlepasnya hasil penyerapan. Hal ini sesuai dengan tujuan *solidifikasi* yaitu mencegah agar pencemar tidak terlepas ke lingkungan.

Hasil akhir dari proses solidifikasi atau pengungkungan harus dapat membatasi terlepasnya radionuklida/pencemar dan mempunyai sifat antara lain :

1. Bercampur serasi dengan komponen limbah
2. Homogen
3. Kelarutan rendah

4. Permeabilitas rendah
5. Kekuatan mekanik baik

Untuk mendapatkan lumpur dari limbah cair perlu melakukan proses pengolahan kimia, dalam hal ini menggunakan tambahan kapur sebagai bahan koagulan untuk menghasilkan endapan lumpur, kemudian lumpur tersebut dikeringkan dan digerus lalu dicampur dengan bahan lain sebagai campuran dalam membuat monolit.

2.2 Industri Penyamakan Kulit

Limbah industri sebagai hasil samping (*Inside product*) dari suatu proses produksi yang pada akhirnya harus dibuang ke alam sekitarnya yang mana dapat mengakibatkan alam harus menerima jumlah limbah yang lebih besar dari kemampuan alam untuk melakukan pembersihan diri (*self purification*) terlampaui. Pada saat seperti inilah istilah polusi atau pencemaran terjadi sehingga dapat menurunkan kualitas lingkungan (degradasi lingkungan).

Pada industri penyamakan kulit banyak dihasilkan limbah cair dimana limbah yang dihasilkan sangat bervariasi sifatnya. Pada proses penyamakan dengan menggunakan bahan penyamak krom, yang mempengaruhi pencemaran adalah sisa garam krom dari natrium sulfide, garam krom perlu mendapatkan penanganan atau pengolahan yang baik ini dikarenakan limbah krom termasuk dalam kategori senyawa berbahaya dan beracun (B₃), berbahaya karena sifat toksisitasnya yang tergantung pada kadar yang dikandungnya. (Aloy, 1976).

2.2.1 Bahan Penyamakan Kulit

Bahan untuk penyamakan industri kulit terbagi menjadi 4 golongan besar yaitu :

1. Bahan penyamakan nabati

Adalah bahan penyamakan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan baik kulit kayu, buah atau daun-daun seperti : kulit kayu, pinang, mahoni, dll.

2. Bahan penyamak sintesis

Adalah bahan penyamak yang terdiri dari bahan-bahan phenol yang telah dibesarkan molekulnya dengan melebihi kondensasi dan sulfonasi. Dalam perdagangan telah merupakan bahan penyamak yang siap dipakai dengan nama antara lain : irgantone, tanigan, yang mana jenis ini banyak digunakan untuk penyamakan kulit reptil yang membutuhkan warna asli dari kulit tersebut.

3. Bahan penyamak minyak

Adalah bahan yang biasanya berasal dari minyak ikan hiu atau lainnya, yang dalam perdagangan disebut minyak ikan kasar.

4. Bahan penyamak krom

Adalah bahan penyamak krom dengan dua valensi atom krom yaitu valensi +3 dan valensi +6. Bahan ini digunakan untuk menyamak jaket, kulit box dsb. Bahan penyamak krom dalam perdagangan dikenal dengan *chromium powder*, *chrom alunin* dsb. (Eddy, 1985).

2.2.2 Bahan Baku Proses Penyamakan Kulit

Menurut anonim (2001) bahan baku dari proses penyamakan kulit terdiri dari :

1. Bahan baku utama : kulit sapi, domba dll
2. Bahan pendukung :
 - a. Garam dapur (NaCl)
 - b. Asam sulfat (H_2SO_4)
 - c. Anti septic dan fungisida
 - d. Kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 - e. Bahan pencuci (Hostapol)
 - f. Soda kue NaHCO_3
 - g. Natrium sulfide (Na_2S)
 - h. Ammonium format (HCOOH)
 - i. Khrom oksida (Cr_2O_3)
 - j. *Solvent* (pelarut)
 - k. Sodium asetat.

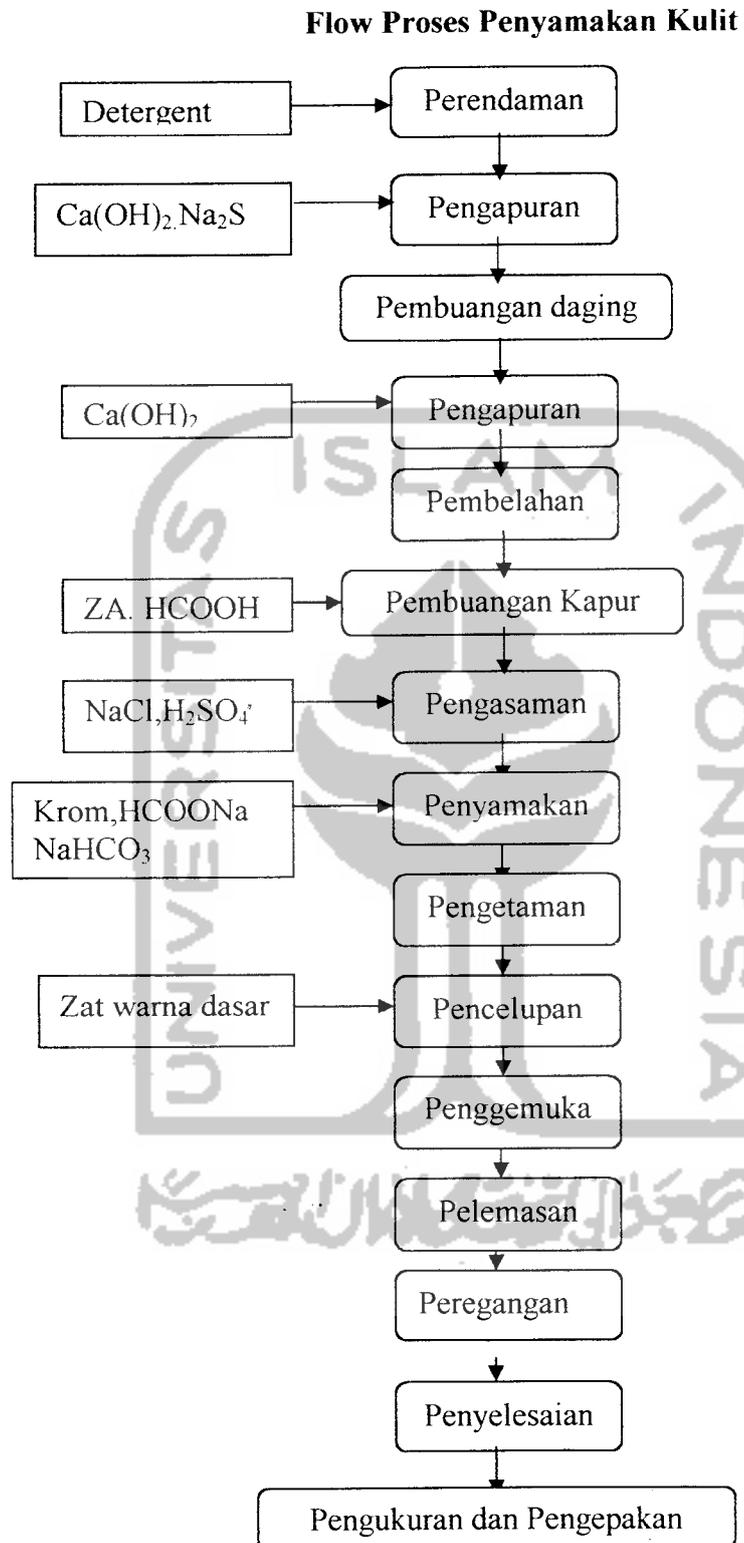
2.2.3 Proses Penyamakan Kulit

Proses penyamakan kulit meliputi beberapa tahap yaitu :

1. Pengawetan sementara, dilakukan dengan cara menambahkan garam dapur merata pada kulit mentah.

2. Perendaman (*Soaking*), bertujuan untuk menghilangkan garam dan mengembalikan kadar air pada kulit seperti semula. Bahan yang digunakan antara lain adalah detergent dan *antiseptic*.
3. Pengapuran (*liming*), bertujuan untuk merontokkan bulu-bulu pada kulit mentah dan membuang lapisan kulit atas (*epidermis*). Bahan yang ditambahkan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
4. Pembuangan daging (*fleshing*), bertujuan untuk membuang sisa-sisa daging pada kulit yang bias menghalangi masuknya zat kimia pada *fleshing* dimana pada tahap ini terjadi penurunan berat kulit sebesar 20 %.
5. Pengapuran ulang (*reliming*), bertujuan untuk menyempurnakan pembuangan bulu kasar dan halus. Lama pengapuran ulang \pm 8-10 jam.
6. Pembelahan (*splitting*), kulit yang sudah bersih dari daging dan bulu-bulu, dibelah menjadi 2 bagian untuk meratakan ketebalannya.
7. Pembuangan kapur (*deliming*), bertujuan untuk menetralkan pH kulit dengan cara menambahkan ammonium sulfat sebanyak 1,5 % dari berat kulit. Lama proses pembuangan kapur \pm 3-4 jam
8. Pengasaman (*Pickling*), bertujuan untuk mengasamkan kulit agar dapat tercapai kondisi pH bahan penyamak dan untuk menghilangkan sisa-sisa kapur. Lama pengasaman kurang lebih 8-10 jam.
9. Penyamakan (*tanning*), bertujuan untuk mengawetkan kulit sehingga tahan terhadap zat kimia, bakteri dan panas.
10. Pengetaman (*shaving*), kulit diserut agar rata dengan ketebalan yang diinginkan, misal dengan ketebalan 1-2 mm

11. Pencelupan (*dyeing*), bertujuan sebagai proses pengecatan dasar yang mana bahan yang digunakan adalah zat kulit atau bahan *fiksasi* (bahan penyempurnaan dari cat kulit.).
12. Penggemukan (*flat liquoring*), bertujuan untuk melemaskan serat-serat kulit, sehingga menjadi tahan tarik dan elastis.
13. Pengeringan (*drying*), bertujuan untuk menghilangkan kadar air dalam kulit, dilakukan dalam waktu ± 3 hari.
14. Pelemasan (*milling*), yaitu proses dimana kulit diputar dalam air selama kurang lebih 15 menit
15. Peregangan, bertujuan untuk meregangkan kulit agar membuka.
16. Pementangan (*tacking*), bertujuan untuk menyempurnakan peregangan agar kulit menjadi rata.
17. Penyelesaian (*finishing*), bertujuan untuk menyempurnakan kulit dengan warna sesuai dengan pesanan.
18. Pengukuran dan pengepakan.



Gambar 2.1 Flow Proses Penyamakan Kulit

(Sumber : Engineering Dept PT. Budi Makmur Jaya Murni).

2.2.4 Sumber dan Karakteristik Limbah Industri Penyamakan Kulit

Limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari larutan yang digunakan pada unit pemrosesan yaitu : perendaman air, penghilangan bulu, pemberian bubuk kapur, perendaman dengan ammonia, pengasaman, penyamak, pemucatan sampai pemberian warna. Penghilangan bulu menggunakan kapur dan sulfide merupakan penyumbang/kontributor terbesar beban pencemar pada industri penyamakan kulit (EMDI, BAPEDAL, 1994).

Menurut Oetoyo (1981) sumber dan jenis buangan industri penyamakan kulit yang ada adalah :

Tabel 2.1 Sumber dan jenis buangan industri penyamakan kulit

Proses	Jenis Buangan
Perendaman	Detergen, Antiseptik, NaCl
Pengapuran	Bulu, Protein, Ca(OH) ₂ , Sulfat
Pembuangan kapur	Asam format (HCOOH), NaCl
Pengasaman	H ₂ SO ₄ , NaCl, HCOOH
Penyamakan	Cr, HCOON, Natrium bikarbonat

(Sumber : Oetoyo, etal“ Pola Penanganan Limbah Industri Penyamakan Kulit Karet dan Plastik ”, Yogyakarta).

Bahan penyamak krom merupakan bahan penyamak yang paling penting diantara bahan penyamak mineral seperti bahan penyamak alumunium dan bahan penyamak *zirconium*. Hal ini dikarenakan adanya sifat-sifat yang khusus yang dimiliki oleh bahan penyamak krom yang berhubungan dengan struktur molekul atom krom itu sendiri.

Bahan penyamak krom yang digunakan adalah garam yang mengandung atom-atom yang bervalensi +3 (garam krom trivalen) sebagai chromium oksida (Cr_2O_3) di pasaran kadarnya 25 %.

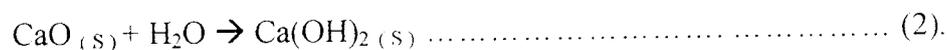
2.3 Senyawa Kapur (CaO)

Kalsium (Ca) adalah logam putih perak, yang agak lunak. Kalsium membentuk kation kalsium (II), Ca^{2+} , dalam larutan-larutan air. Garam-garamnya biasanya berupa bubuk putih dan membentuk larutan yang tak berwarna, kecuali bila anionnya berwarna. (Petrucci, 1999). Kalsium karbonat terjadi karena reaksi:



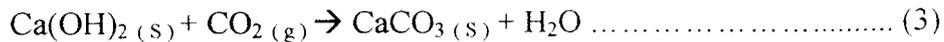
Batu kapur adalah senyawa unsur golongan alkali tanah yang sangat penting. Kapur (Kalsium oksida) adalah zat kimia industri yang menempati peringkat keenam yang diproduksi di Amerika pada tahun 1987. Pembakaran batu kapur untuk menghasilkan kapur, mungkin adalah reaksi kimia pertama yang dimanfaatkan oleh manusia (Achmad, Hiskia, 1992).

Adonan kapur telah digunakan oleh orang Yunani untuk membangun kuilnya, orang Romawi membangun jalan raya dan orang Cina membangun tembok di negaranya. Adonannya terdiri dari satu bagian kapur dan tiga bagian pasir yang dicampur dengan air dan dicampur dengan batu dan bata, dapat melekatkan batu-batu untuk membangun jalan dan tembok. Pada tahap awal terjadi reaksi :



Kapur Kalsium hidroksida

Kemudian kalsium hidroksida menyerap CO_2 dari udara membentuk kalsium karbonat. Persamaan reaksi yang terjadi :



Pada dewasa ini, untuk membuat beton digunakan semen, bukan lagi adonan kapur. Semen dibuat dengan memanaskan campuran kapur, pasir, dan tanah liat pada suhu 1500°C membentuk kalsium aluminosilikat.

CaO merupakan isodorm kalsit organik. Kalsium karbonat atau batu kapur, berdasarkan sifat-sifat periodik unsur maka Ca^{2+} merupakan logam ringan (Golongan II A) yang dibuat dengan cara elektrolisis lelehan garam dan bersifat reaktif. (Achmad, Hiskia, 1992).

Kapur dapat ditemui dalam bentuk :

1. Kapur oksida

Bahan kapur oksida yang diperdagangkan disebut kapur sirih atau *Quick lime* (CaO) karena merupakan batu kapur yang dibakar sehingga terbentuk CaO adapun reaksi yang terjadi sbb :

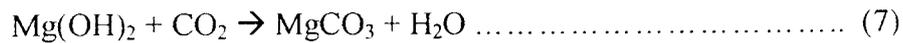
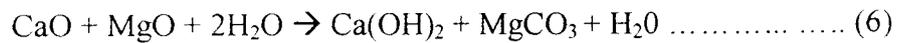


Kemurnian kapur jenis ini sekitar $\pm 85 - 95\%$ dan biasanya kotoran yang lazim dijumpai dalam kapur oksida berupa senyawa besi.

2. Kapur hidroksida

Bahan ini dapat diperoleh dengan menambahkan air pada batu kapur yang sudah dibakar, biasanya dikenal sebagai kapur tembok atau *slaked lime*

(Ca(OH)₂) dengan reaksi pembentukan sebagai berikut :



Kemurnian kapur ini sekitar 95 – 96 % dengan endapannya berupa komponen senyawa kapur seperti oksida, hidroksida dan karbonat.

3. Kapur karbonat

Kapur ini diperoleh dengan menggiling batu kapur (CaCO₃) atau dolomit (CaMg(CO₃)₂) hingga kehalusan tertentu. Reaksi kapur ini relatif agak lambat, oleh karena itu dapat bermanfaat dalam waktu yang relatif lama. Kemurnian kapur ini berkisar antara 75 – 98 %. (Linarsih,2002).

2.4 Kromium

Kromium berasal dari bahasa Yunani yaitu *Chroma* yang berarti warna. Logam kromium ditemukan pertama kali oleh Nicolas-Louis Vaqueline (1763-1829), seorang ahli kimia Perancis pada tahun 1797. Logam ini merupakan logam kristalin yang berwarna putih keabu-abuan dan tidak begitu liat.

Salah satu logam transisi yang penting adalah kromium (Cr). Sepuhan kromium (*chrome plating*) banyak digunakan pada peralatan sehari-hari, pada mobil dan sebagainya, karena lapisan kromium ini sangat indah, keras dan melindungi logam lain dari korosi. Kromium juga penting dalam paduan logam dan digunakan dalam pembuatan "*stainless steel*". (Achmad, Hiskia, 1992).

Senyawa kromium mempunyai warna yang sangat menarik dan digunakan sebagai pigmen seperti kuning krom (timbal(II)kromat) dan hijau krom (kromium(III)oksida). Kromium dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II).

Beberapa sifat kromium dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Beberapa sifat fisik logam kromium

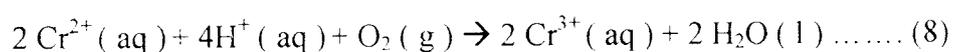
Lambang	Cr
Nomor atom	24
Massa atom relative (Ar)	51,996
Konfigurasi elektron	$3d^5 4s^1$
Jari-jari atom (nm)	0,117
Jari-jari Ion M^{3+} (nm)	0,069
Keelektronegativitas	1,6
Energi ionisasi (I) kJ mol^{-1}	659
Kerapatan (g cm^{-3})	7,19
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	1890
Titik didih ($^{\circ}\text{C}$)	2475
Bilangan oksidasi	2, 3, 6
Potensial elektroda (V)	
$M^{2+}_{(aq)} + 2e \rightarrow M_{(s)}$	- 0,56
$M^{3+}_{(aq)} + e \rightarrow M^{2+}_{(aq)}$	- 0,41

(Sumber : Achmad, H, 1992 Kimia unsur dan radiokimia)

Dalam bidang industri, kromium diperlukan dalam dua bentuk, yaitu kromium murni, dan aliasi besi-kromium yang disebut ferokromium sedangkan logam kromium murni tidak pernah ditemukan di alam. Logam ini ditemukan dalam bentuk persenyawaan padat atau mineral dengan unsur-unsur lain. Sebagai bahan mineral kromium banyak ditemukan dalam bentuk *Chromite* (FeOCr_2O_3). Kadang-kadang pada bahan mineral chromite juga ditemukan logam-logam magnesium (mg), Aluminium (Al) dan senyawa silikat (SiO_2). Logam-logam dan senyawa silikat tersebut dalam mineral *Chromite* bukan merupakan penyusun *Chromite* tetapi berperan sebagai pengotor (*impurities*).

Berdasarkan sifat-sifat kimianya, logam kromium dalam persenyawaannya mempunyai bilangan oksidasi +2, +3 dan +6. Logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, bahkan pada proses pemanasan, cairan logam teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit, akan tetapi dalam udara yang mengandung karbondioksida (CO_2) dalam konsentrasi tinggi, Logam Cr dapat mengalami peristiwa oksidasi dan membentuk Cr_2O_3 . Kromium merupakan logam yang sangat mudah bereaksi. Logam ini secara langsung dapat bereaksi dengan hidrogen, karbon, silika dan boron (Palar, 1994).

Senyawa-senyawa yang dapat dibentuk oleh kromium mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan valensi yang dimilikinya. Senyawa yang terbentuk dari logam Cr^{2+} akan bersifat basa, dalam larutan air kromium (II) adalah reduktor kuat dan mudah dioksidasi di udara menjadi senyawa kromium (III) dengan reaksi :



Senyawa yang terbentuk dari ion kromium (III) atau Cr^{3+} bersifat amporter dan merupakan ion yang paling stabil di antara kation logam transisi yang lainnya serta dalam larutan, ion ini terdapat sebagai $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ yang berwarna hijau. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam. Cr^{3+} dapat mengendap dalam bentuk hidroksida. Krom hidroksida ini tidak terlarut dalam air pada kondisi pH optimal 8,5 – 9,5 akan tetapi akan melarut lebih tinggi pada kondisi pH rendah atau asam. Cr^{6+} sulit mengendap, sehingga dalam penanganannya diperlukan zat pereduksi dari Cr^{6+} menjadi Cr^{3+} . (Palar, 1994).

Kromium dengan bilangan oksidasi +6 mudah membentuk senyawa oksidator dengan unsur lain karena memiliki sifat oksidasi yang kuat, maka Cr^{6+} mudah tereduksi menjadi Cr^{3+} dan kromium (VI) kebanyakan bersifat asam.

2.4.1 Krom (Cr) Dalam Lingkungan

Logam krom dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik pada strata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Kromium yang masuk ke dalam strata lingkungan datang dari berbagai sumber, tetapi yang paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta immobilisasi bahan bakar. Masuknya krom ke lapisan udara dari strata lingkungan adalah dari pembakaran, mobilitas batu bara dan minyak bumi.

Pada pembakaran batubara akan terlepas krom sebesar 10 ppm ke udara, sedangkan dari pembakaran minyak bumi akan terlepas krom sebesar 0,3 ppm. Keadaan ini dapat diartikan bahwa setiap tahunnya akan dilepas sebanyak 1400

ton krom ke udara dari proses pembakaran batu bara dan 50 ton krom dari proses pembakaran minyak bumi. (Palar, 1994).

Logam krom (Cr) di udara ditemukan dalam bentuk debu dan partikulat-partikulat, seperti logam-logam berat lainnya. Debu atau partikulat krom dalam udara tersebut dapat masuk ke dalam tubuh hewan ataupun manusia melalui pernapasan (*respirasi*). Partikel atau debu krom yang terhirup manusia lewat rongga hidung, mengikuti jalur-jalur respirasi sampai ke paru-paru untuk kemudian berikatan dengan darah di paru-paru sebelum dibawa darah ke seluruh tubuh. (Palar, 1994).

Logam krom dapat masuk ke badan perairan melalui dua cara yaitu cara alamiah dan non alamiah. Masuknya krom secara alamiah disebabkan oleh faktor fisika, seperti erosi (pengikisan) yang terjadi pada batuan atau mineral. Disamping itu, debu dan partikel krom di udara akan dibawa turun oleh air hujan. Secara non alamiah masuknya krom lebih merupakan dampak dari aktivitas manusia, yang dapat berupa limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga. (Palar, 1994).

Logam krom dalam perairan akan mengalami proses kimia seperti reaksi reduksi-oksidasi (redoks), yang dapat mengakibatkan terjadinya pengendapan atau sedimentasi logam krom di dasar perairan. Proses kimiawi yang berlangsung dalam badan air juga dapat mengakibatkan terjadinya reduksi dari senyawa-senyawa Cr^{6+} yang sangat beracun menjadi Cr^{3+} yang kurang beracun. Peristiwa reduksi ini dapat berlangsung apabila kondisi air bersifat asam. Untuk perairan dengan kondisi basa, ion-ion Cr^{3+} akan mengendap di dasar perairan.

2.4.2 Kegunaan Krom (Cr) Dalam Kehidupan

Kromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Dalam industri *metallurgy*, logam ini banyak digunakan dalam penyepuhan logam (*chromium plating*) yang memberikan dua sifat, yaitu *dekoratif* dan sifat kekerasan yang mana *chromium plating* ini banyak digunakan pada macam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai ke alat transportasi. (Breck, W.G and Brown. R.C,1997).

Kromium dapat pula digunakan dalam alat penganalisa napas yang mana alat ini digunakan polisi untuk menangkap peminum alkohol yang mengemudi mobil. Dalam bidang kesehatan, kromium dapat digunakan sebagai orthopedi, radioisotope kromium dalam bentuk Cr^{51} yang dapat menghasilkan sinar gamma digunakan untuk penandaan sel-sel darah merah serta sebagai penjinak tumor tertentu. (Palar,1994).

Dalam industri kimia, krom digunakan sebagai :

1. Cat pigment (*dying*), dapat berwarna merah,kuning,orange dan hijau
2. *Elektroplating (chrome plating)*
3. Penyamakan kulit (*tanning*)
4. *Treatment woll*

Dari aktivitas atau kegiatan di atas merupakan kontributor/sumber utama terjadinya pencemaran krom ke air dan limbah padat dari sisa proses penyamakan kulit juga dapat menjadi sumber kontaminasi air tanah

2.4.3 Keracunan Kromium (Cr)

Sebagai logam berat, krom termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh krom ditentukan oleh valensi ionnya. Logam Cr^{6+} merupakan bentuk yang paling banyak dipelajari sifat racunnya dikarenakan Cr^{6+} merupakan *toxic* yang sangat kuat dan dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. (Soemirat, 1994).

Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadi pembengkakan pada hati. Tingkat keracunan krom pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan krom dalam urine, kristal asam kromat yang sering digunakan sebagai obat untuk kulit, akan tetapi penggunaan senyawa tersebut seringkali mengakibatkan keracunan yang fatal. (Palar, 1994).

Kontaminasi logam krom (Cr) dapat terjadi melalui :

1. Penghisapan udara tercemar

Dengan menghisap udara yang tercemar oleh krom akan mengakibatkan peradangan dan kanker paru-paru. Pengaruh terhadap gangguan pernapasan yaitu iritasi paru-paru akibat menghirup debu krom (Cr) dalam jangka panjang dan mempunyai efek juga terhadap iritasi kronis. Pada pekerja *chrome-plating* dan pada industri penyamakan kulit sering terjadi kasus luka pada *mocusa* hidung.

2. Kontak langsung

Bisul merupakan salah satu ciri luka yang diakibatkan oleh kontak dengan kromat pada kulit, dan luka akan membengkak bernanah selama beberapa

minggu. Selain itu, karakter luka akibat kontak dengan kromat dapat pula berupa luka pada lubang hidung, lalu merambat keseluruh lenter sehingga saluran pernapasan akan terganggu.

3. Makanan dan minuman

Kromium yang masuk ke dalam jaringan tubuh melalui air minum akan tertimbun di lever, limfa, dan ginjal secara bersamaan, dalam waktu yang panjang akan mengendap dan menimbulkan kanker. (Palar,1994).

2.5 Penetralkan Krom dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Krom dapat dinetralkan dengan CaCO_3 yang telah dilarutkan dalam air dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Penambahan kapur ini didasari karena krom lebih bersifat asam sedangkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mempunyai sifat basa sehingga diharapkan akan terjadi netralisasi.

Krom dapat dipisahkan dari air buangan penyamakan kulit dengan jalan mengendapkan krom hidroksida $\text{Cr}(\text{OH})_2$ sehingga endapan krom dapat digunakan lagi sebagai bahan penyamak kulit. Pemisahan ini dilakukan dengan cara mencampur air limbah yang mengandung krom yang bersifat asam dengan larutan kapur yang bersifat basa, sehingga diharapkan air limbah mempunyai pH yang netral.(Benefield, 1998).

Pencampuran cairan krom ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) bekas penyamakan kulit dengan larutan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan menghasilkan reaksi sebagai berikut :



Kromium	Kalsium	Kromium	Kalsium
sulfat	hidroksida	hidroksida	sulfat

(Sumber : M. Alloy, Tannery and pollution, Centre toqnique, France).

2.6 Pengolahan Limbah Dengan Adsorpsi

Adsorpsi adalah penjerapan suatu unsur atau senyawa dalam suatu zat cair dengan menggunakan bahan penjerap padat dalam hal ini digunakan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Adsorpsi meliputi proses kontak antara padatan dengan cairan atau gas dan perpindahan massa terjadi pada fluida ke padatan (Tinsley, 1979).

Proses adsorpsi ada dua yaitu proses adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi secara fisika yaitu proses berlangsung cepat, dan dapat balik dengan panas adsorpsi kecil ($\pm 5-6$ kkal/mol), sehingga diduga gaya yang bekerja di dalamnya sama dengan seperti cairan (*gaya Van Deer Wals*). Unsur yang terjerap tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan penjerap. Adsorpsi fisika dapat balik (*reversibel*), tergantung pada kekuatan daya tarik antar molekul penjerap dan bahan terjerap lemah maka terjadi proses adsorpsi, yaitu pembebasan molekul bahan penjerap (Tinsley, 1979).

Adsorpsi kimia adalah merupakan hasil interaksi kimia antara penjerap dengan zat-zat terjerap, kekuatan ikatan kimia sangat bervariasi dan ikatan kimia sebenarnya tidak benar-benar terbentuk tetapi kekuatan adhesi yang terbentuk lebih kuat dibanding dengan daya ikat penjerap fisika. Panas adsorpsi kimia lebih besar dibanding dengan adsorpsi fisika ($\pm 10-100$ kkal/mol). Proses kimia tidak

dapat balik (*inreversibel*) dikarenakan memerlukan energi untuk membentuk senyawa kimia baru pada permukaan adsorben sehingga proses balik juga diperlukan energi yang tinggi. (Tinsley, 1979).

Penjerapan tergantung pada sifat zat padat yang mengadsorpsi, sifat atom/molekul yang dijerap, 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.

2.7 Proses Penjerapan

Proses penjerapan merupakan proses adsorpsi yang disebabkan oleh gaya tarik menarik antar molekul, apabila zat tersebut berhubungan. Suatu zat dapat terjerap oleh permukaan adsorben bila gaya tarik antar molekul zat berbeda. Saat terjadi gaya tarik-menarik molekul dari kedua zat saling kontak disebut adhesi, jika terjadi gaya tolak-menolak antara kedua zat maka disebut kohesi. (Benefield, 1998).

Proses pembentukan keramik dimaksud meliputi proses dehidrasi air higroskopis, proses oksidasi dan diakhiri dengan proses vitrifikasi. Pada tahap dehidrasi air higroskopis, maka air higroskopis biasanya akan menguap secara sempurna bersama-sama asap bahan bakar yang terbakar mulai saat pembakaran sampai suhu 150°C. Tahapan ini sering disebut sebagai tahap *water smoking* atau dehidrasi air mekanis. Pada pembakaran lanjut sampai dengan 800°C, maka akan terjadi dehidrasi air kristal atau reaksi dekomposisi mineral, yaitu lepasnya air terikat secara struktural di dalam mineral. Setiap mineral memiliki temperatur akhir dekomposisi yang berbeda, misalnya pada kaolin proses dekomposisi kaolin terjadi pada suhu antara 460°C – 600°C.

Selanjutnya pada tahap oksidasi, maka bahan organik maupun anorganik yang ada dalam mineral alam akan teroksidasi dengan adanya udara pembakaran. Proses oksidasi akan mulai terjadi pada suhu antara 350-500°C. Tahapan ini sangat penting dalam proses pembuatan keramik. Pada tahap ini memungkinkan terjadi oksida-oksida tertentu yang mampu mewarnai produk keramik pada tahap pembakaran lanjut. Pada pembakaran lanjut akan terjadi proses pembentukan kristal. Proses ini biasa disebut dengan proses kristalisasi yang merupakan reaksi dimana oksida-oksida mengalami transformasi atom membentuk senyawa-senyawa kristalin. Proses kristalisasi ini mulai terjadi pada temperatur pembakaran antara 850°C sampai 1470°C. Pada suhu 850°C – 1050°C maka akan terjadi reaksi eksotermal yaitu terjadinya peruraian senyawa alumina membentuk Mullite dan Trydimite. Apabila suhu pembakaran dinaikkan sampai 1350°C maka mulai terjadi kristalisasi awal mullite dan pada suhu 1470°C, dan

maka akan terjadi perubahan trydimite menjadi kristobalile (SrO_2) yang stabil. Pada pembakaran selanjutnya, maka kesetimbangan antara mullite dan kristobalite akan dicapai. Selanjutnya pada pembakaran mencapai suhu 2000 °C akan terjadi peleburan.

Webar (1972) dalam adsorpsi digunakan istilah *adsorbat* dan *adsorben*. *Adsorbat* adalah substansi yang terjerap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya pada penelitian yaitu limbah krom, sedangkan *adsorben* adalah suatu media penjerap dalam penelitian ini digunakan $CaCO_3$.

Menurut Dlouhy (1982) proses penjerapan dalam adsorpsi dipengaruhi :

1. Bahan penjerap
Bahan yang digunakan untuk menjerap 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 menjerap 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 penjerapan antara -100/+200 mesh.
3. Derajad keasaman (pH larutan)
Pada pH rendah, ion H^+ akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan dijerap, sehingga efisiensi penjerapan turun. Proses penjerapan akan berjalan baik bila pH larutan tinggi. Derajad 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 jerap

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

5. Konsentrasi

Pada konsentrasi larutan rendah, jumlah bahan dijerap sedikit, sedang pada konsentrasi tinggi jumlah bahan yang dijerap semakin banyak. Hal ini disebabkan karena kemungkinan frekuensi tumbukan antara partikel semakin besar.

2.8 Keramik

Keramik berasal dari bahasa Yunani yaitu “keramos” yang berarti periuk atau belanga yang dibuat dari tanah (Astuti, 1997). Sedangkan menurut istilah keramik adalah semua barang atau bahan yang dibuat dari bahan-bahan tanah atau batuan silikat dan yang proses pembuatannya melalui pembakaran pada suhu tinggi. Keramik sebagai karya seni dan ilmu pengetahuan, yang terbuat dan menggunakan material padat dengan keutamaan komponennya dan dikomposisikan dalam bagian besar material non metal anorganik (W.D. Kingery, 1975).

Industri keramik dapat dibagi menjadi beberapa golongan yaitu : keramik putih/keramik halus, bahan-bahan bangunan dari tanah, gelas, benda perekat martel, bahan-bahan tahan api (*refractory*) dan *abrasives* (benda-benda

pengosok). Bahan pembuat keramik dapat berupa bahan plastis dan bahan non plastis. Yang termasuk dalam bahan plastis antara lain seperti kaolin, clay, *stone ware clay* (tanah benda batu), *earthen ware clay* (tanah batu merah) *fire clay* (tanah api) serta bentonit. Sedangkan bahan non plastis antara lain silika (SiO_2) disebut juga *glass former*, *flint* (SiO_3), feldspar ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$). (Chang, 2000).

2.8.1 Penggolongan Keramik

Keramik mencakup komoditi yang sangat luas. Atas dasar fungsi dan mikrostruktur produknya, keramik dapat dibagi menjadi dua golongan yaitu keramik konvensional dan keramik maju (*advanced ceramic*). Keduanya dibedakan terutama atas dasar presisinya dalam pemakaian seperti ketetapan dimensi, sifat fisis, mekanisme magnet, listrik, optik dan termis/suhu (Anonim, 2000).

Keramik konvensional mempunyai struktur makro, sebagian besar terdiri dari fase gelas sebagai matrik diantara kristal yang terdispersi di dalamnya, bahan baku utamanya adalah lempung. Produk yang dihasilkan antara lain batu bata, genteng, semen portland dan lain-lain. Keramik maju lebih berstruktur mikro, sebagian besar terdiri dari fase kristal. Bahan baku utamanya adalah oksida dan non oksida (Astuti, 1997)

Bahan mentah keramik digolongkan menjadi 5 (lima) yaitu :

1. Bahan pengikat contoh : kaolin, *ball clay*, *fire clay*, *red clay*
2. Bahan pelebur contoh : feldspar, kapur
3. Bahan pengisi contoh : silika, *grog* (samot)

4. Bahan tambahan contoh : *water glass*, *talk*, pyrophillit
5. Bahan mentah glasir (Bahan yang membuat lapisan gelas pada permukaan benda keramik setelah melalui proses pembakaran pada suhu tertentu), diantaranya adalah :
 - a. Bahan mengandung SiO_2 - pasir kuarsa - lempung – feldspar.
 - b. Bahan mengandung oksida basa - potas felspar - batu kapur - soda abu.
 - c. Bahan mengandung Al_2O_3 - kaolin – feldspar.
 - d. Bahan pewarna contoh : senyawa cobalt, senyawa besi, senyawa nikel, senyawa chrom dan sebagainya.
 - e. Bahan perekat contoh : gum.
 - f. Bahan penutup contoh : oksida sirkon, oksida seng.
 - g. Bahan pelebur contoh : asam borat, borax, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , BaCO_3 , Pb_3O_4 dan sebagainya. (www.Ipteknet.Com, 2003).

Jenis badan keramik menurut kepadatan :

1. Gerabah (*earthenware*) : Dibuat dari semua jenis bahan tanah liat yang plastis dan mudah dibentuk dan dibakar pada suhu maksimum 1000°C . Keramik jenis ini struktur dan teksturnya sangat rapuh, kasar dan masih berpori. Agar supaya kedap air, gerabah kasar harus dilapisi glasir, semen atau bahan pelapis lainnya. Gerabah termasuk keramik berkualitas rendah apabila dibandingkan dengan keramik batu (*stoneware*) atau porselin. Bata, genteng, paso, pot, anglo, kendi, gentong dan sebagainya termasuk keramik jenis gerabah. Genteng telah banyak dibuat berglasir dengan warna yang menarik sehingga menambah kekuatannya.

2. Keramik Batu (*Stoneware*): dibuat dari bahan lempung plastis yang dicampur dengan bahan tahan api sehingga dapat dibakar pada suhu tinggi (1200°-1300°C). Keramik jenis ini mempunyai struktur dan tekstur halus dan kokoh, kuat dan berat seperti batu. Keramik jenis termasuk kualitas golongan menengah.
3. Porselin (*Porcelain*): adalah jenis keramik bakaran suhu tinggi yang dibuat dari bahan lempung murni yang tahan api, seperti kaolin, alumina dan silika. Oleh karena badan porselin jenis ini berwarna putih bahkan bisa tembus cahaya, maka sering disebut keramik putih. Pada umumnya, porselin dipijar sampai suhu 1350°C atau 1400°C, bahkan ada yang lebih tinggi lagi hingga mencapai 1500°C. Porselin yang tampaknya tipis dan rapuh sebenarnya mempunyai kekuatan karena struktur dan teksturnya rapat serta keras seperti gelas. Oleh karena keramik ini dibakar pada suhu tinggi maka dalam bodi porselin terjadi penggelasan atau *vitrifikasi*. Secara teknis keramik jenis ini mempunyai kualitas tinggi dan bagus, disamping mempunyai daya tarik tersendiri karena keindahan dan kelembutan khas porselin. Juga bahannya sangat peka dan cemerlang terhadap warna-warna glasir.
4. Keramik Baru (*New Ceramic*): adalah keramik yang secara teknis, diproses untuk keperluan teknologi tinggi seperti peralatan mobil, listrik, konstruksi, komputer, cerobong pesawat, kristal optik, keramik metal, keramik multi lapis, keramik multi fungsi, komposit keramik, silikon, *bioceramic*, dan keramik magnet. Sifat khas dari material keramik jenis ini disesuaikan dengan keperluan yang bersifat teknis seperti tahan benturan, tahan gesek, tahan

panas, tahan karat, tahan suhu kejut seperti isolator, bahan pelapis dan komponen teknis lainnya.(www.Ipteknet.Com,2003).

2.8.2 Bahan Baku Keramik

Secara garis besar, bahan baku untuk produk-produk keramik (tradisional maupun maju) dibedakan menjadi tiga macam (Anonim, 1998) yaitu :

1. Bahan Alam/Mineral (*Crude Material*)

Yang dimaksud bahan alam/mineral adalah bahan-bahan asli yang berasal dari alam dan belum mengalami proses pengolahan oleh manusia, seperti mineral feldspar (K, Ca, Na), mineral lempung seperti kaolinit ($\text{Al}_2 (\text{Si}_2\text{O}_3)(\text{OH})_4$) dan bentonit (Al, Na, Mg) dan mineral barite. Keadaan bahan-bahan mentah di atas sangat banyak di tanah air, dan bila dapat dimanfaatkan untuk pembuatan produk keramik, khususnya keramik maju akan memberikan manfaat yang lebih tinggi.

2. Industrial Mineral

Industrial mineral umumnya berbentuk oksida dan memiliki kemurnian yang relatif lebih tinggi. Bahan-bahan ini merupakan hasil pengolahan (secara fisik atau kimia) dari bahan-bahan alam sehingga memenuhi spesifikasi untuk digunakan langsung dari industri. Yang tergolong industrial mineral antara lain : *calcined dolomite*, *zircon* dan *flint (crushed dan milled quartz)* (SiO_2).

3. *Industrial Inorganic Chemical*

Inorganic Chemical merupakan bahan baku untuk industri keramik maju, yang pada umumnya berbentuk oksida, *calcined oxides* ataupun bentuk yang

lainnya. Bahan ini belum memiliki sifat-sifat unik yang baik sehingga untuk mendapatkan mutu/kualitas yang baik, masih harus diolah dengan teknologi lanjutan yang bersifat penerapan teknologi tinggi. Yang tergolong bahan ini antara lain : BaCO_3 , calcined alumina, titanat dan *inorganic pigment*.

2.8.3 Pembuatan Keramik

Pembuatan keramik mulai dari proses pengolahan bahan, pembentukan badan keramik, pengeringan, penyusunan dan pembakaran.

1. Pengolahan Bahan

Bahan pembuat keramik harus diolah terlebih dahulu sebelum bahan siap dibentuk, karena hampir semua bahan alam murni mengandung banyak *grit* (bahan kasar dalam bahan halus). Pemisahan dapat dilakukan dengan cara manual atau secara mekanis. Bahan-bahan keramik alam dihancurkan, disaring dan diambil diameter bahan yang dikehendaki. Penyaringan dapat dilakukan dengan cara basah dan kering.

2. Pengeringan

Pengeringan benda keramik dimaksudkan untuk menghilangkan apa yang disebut air plastisnya saja, sedang air yang terikat dalam molekul tanah liat (air kimia) hanya bisa dihilangkan dengan pembakaran. Tujuan dari pengeringan adalah untuk memberikan kekuatan kepada barang-barang mentah sehingga dapat disusun dalam tungku dan menghilangkan air yang berlebihan yang mana dapat menimbulkan kesukaran-kesukaran dalam proses

pembakaran. Kerusakan yang dapat terjadi antara lain perubahan bentuk dan retak-retak.

3. Pembakaran

Proses pembakaran bahan keramik sering juga disebut *sintering processes*. Suhu yang dipakai dalam pembakaran sangat tergantung dari metode, bahan yang akan dibakar dan benda hasil bakar. Sebagai contoh pada metode standar *Pressure Sintering* dengan materi dasar Si_3N_4 memerlukan suhu 1700°C – 1800°C pada gas nitrogen.

Dalam proses pembakaran, jenis air yang harus dihilangkan adalah air suspensi, air antar partikel, air pori antar partikel setelah pengerutan, air terserap (*adsorpsi*) pada partikel dan air kisi dalam struktur kristalnya.

2.9 Bentonit

Bentonit merupakan suatu mineral yang termasuk dalam jenis aluminosilikat dengan mineral penyusun utamanya adalah monmorilonit dengan kadar > 75 % yang pertama kali diperkenalkan oleh Knight pada tahun 1898. Bentonit diambil dari nama Shale dan Beton, yang terbentuk waktu itu di sekitar daerah Benton, Montana, USA. Bentonit merupakan spesifikasi jenis lempung yang memiliki sifat plastis dan koloidal yang tinggi (Chang, 2000).

Bentonit hampir ditemukan di setiap negara terutama di daerah Vulkanik. Bentonit dapat digunakan sebagai bahan pembuatan keramik karena mempunyai sifat plastisitas yang tinggi, partikel-partikel tanahnya sangat halus dan komposisinya banyak mengandung silika (Kingery, 1976). Mengingat bentonit

mampu melakukan pertukaran ion, maka penggunaan bentonit sangat potensial untuk penanganan limbah radiaktif cair dan B3 yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan.

Dewasa ini potensi penggunaan logam B3 semakin membahayakan kelanjutan pembangunan nasional dan mengancam kelestarian fungsi lingkungan hidup. Untuk itu bentonit dapat digunakan sebagai salah satu alternatif metode pengelolaan limbah B3 khususnya limbah krom. Dalam hal ini limbah krom akan dikungkung oleh bentonit dan mineral lokal lainnya yang selanjutnya dibuat komposit keramik dalam bentuk monolit keramik.

Menurut Chang (2000) nama lain dari bentonit ialah *soap clay*, *taylorit*, *bleaching clay*, *fullers earth*, *konfolensit*, *saponit*, *smegmatit*. Sifat bentonit antara lain :

1. Berkilap lilin umumnya lunak, plastis dan sarang
2. Berwarna pucat dengan kenampakan putih, hijau muda, kelabu merah muda dalam keadaan segar dan menjadi krem apabila lapuk
3. Bila diraba terasa licin seperti sabun
4. Bila dimasukkan dalam air akan menghisap air sehingga menjadi mengembang dengan kadar air normal 10 – 18 % (% v/v).
5. Mudah pecah
6. Mengandung mineral utama montmorilonit lebih besar dari 50 % dan mineral beidelit dalam jumlah kecil, serta mineral tambahan berupa feldspar, kuarsa, zircon dan kaolinit.
7. Derajat keasaman (pH) sebesar 7,5 – 8 dengan berat jenis sekitar 2 – 2,5 gr/L.

Terbentuknya bentonit disebabkan oleh :

1. Proses pelapukan

Faktor utama yang menyebabkan terbentuknya mineral bentonit adalah komposisi batuan, komposisi kimia air dan daya larut air tersebut pada batuan. Pembentukan bentonit dikarenakan terjadinya proses pelapukan sebagai akibat reaksi ion-ion H^+ yang terdapat dalam air tanah dengan mineral-mineral silikat.

2. Proses hidrothermal

Pada alterasi hidrotermal yang sangat lemah, mineral-mineral yang kaya akan magnesium seperti hornblende dan biotit cenderung membentuk klorit. Terjadinya montmorillonit terutama disebabkan oleh adanya magnesium, kehadiran kalium baik yang berasal dari feldspar maupun mika primer yang terbentuk karena alterasi hidrotermal sering ditemukan zona yang berbentuk lingkaran.

3. Proses transformasi/*detrivikasi*

Proses ini dari abu gunung api yang sempurna, akan terjadi apabila debu gunung tersebut di endapkan dalam cekungan danau atau laut. Gelas alam (*natural glass*) yang dikandung abu gunung api lambat laun akan mengalami *detrivikasi* seperti pada endapan *piroklastik* di laut tengah.

Klasifikasi bentonit menurut Nutting (Batemen, 1950) dapat dibagi dalam lima tipe tinjauan dari kekuatan daya serapnya yaitu :

1. Tipe bentonit, dimana mineral montmorillonit mempunyai daya serap rendah dan hampir tidak dapat ditingkatkan daya serapnya.

2. Tipe bentonit, dimana daya serapnya rendah, tetapi masih dapat diaktifkan hingga mencapai tingkat daya serap cukup tinggi
3. Tipe bentonit yang daya serapnya sudah cukup tinggi tetapi masih bias jika ditingkatkan lebih tinggi lagi daya serapnya.
4. Tipe bentonit yang daya serapnya cukup tinggi dan tidak mudah dipengaruhi oleh proses kimia
5. Tipe bentonit yang daya serapnya cukup tinggi tetapi apabila terkena pencucian asam, daya serapnya akan turun.

2.10 Feldspar

Feldspar merupakan kelompok mineral dengan komposisi aluminium silikat, potassium (kalium), sodium kadang-kadang kalsium. Rumus umum feldspar adalah MZ_4O_8 , dimana M adalah kation-kation K^+ , Na^+ , atau Ca^+ , sedangkan komponen Z adalah kation-kation Al^{3+} , dan Si^{4+} tetapi sebagian digantikan dengan Fe^{3+} . Feldspar terjadi selama proses kristalisasi magma baik melalui proses *pneumatolytic* ataupun proses *hidrotermal* dalam urat pegmatik tetapi jarang terjadi karena proses kristalisasi larutan magma pada suhu rendah. Feldspar merupakan mineral pembentuk batuan beku terutama pada batuan beku dalam (*plutonic rock*) yang bersifat umum tetapi terdapat pula pada batuan erupsi ataupun *metamorf* (Chang, 2000).

Rumus kimia feldspar adalah $KAlSi_3O_8$ dengan komposisi $K_2O = 16,9\%$, $Al_2O_3 = 18,4\%$ dan $SiO_2 = 64,7\%$. Feldspar ini berfungsi sebagai perekat dan

pengisi serta pencair pada keramik. Pencair di sini dimaksudkan untuk merendahkan suhu pengelasan.

Pada batuan granit, feldspar berasosiasi dengan kuarsa, mika, khlorit, beryl dan rutil sedangkan pada batuan pegmatis feldspar berasosiasi dengan kuarsa, mika, dan topas.

Feldspar sering juga didapatkan dalam bentuk endapan yang terjadi karena proses dignesa dari endapan piroklastik halus yang bersifat asam (*riolitik*) dan terendapkan dalam lingkungan lakustrin yang umumnya berada dalam cekungan tersier.

Sifat fisik feldspar adalah berwarna putih, kebiruan, hijau muda dan kuning kotor, nilai kekerasan 6-6,5 mohs, berat jenis 2,4-2,8 gr/L dengan titik lebur 1100-1500°C.

Adapun jenis feldspar adalah :

1. Natrium (sodium) feldspar ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)
2. Kalsium feldspar ($\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_8$)
3. Kalium (potas) feldspar (KAlSi_3O_8)

Feldspar digunakan dalam berbagai industri seperti industri keramik, gelas dan kaca lembaran.

2.11 Kaolin

Nama kaolin berasal dari “Kaoling” bahasa Cina yang berarti pegunungan tinggi. Kaolin merupakan masa batuan yang tersusun dari mineral lempung dengan kandungan besi yang rendah. Kaolin mempunyai komposisi hidros

aluminium silikat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan disertai beberapa mineral penyerta seperti Fe_2O_3 , MgO , Na_2O_3 dan lain-lain. Mineral yang termasuk dalam kelompok kaolin adalah *kaolinit*, *nakritm diskrit* dan *halosit* dengan kaolinit sebagai mineral utama (Chang, 2000).

Proses pembentukan kaolin adalah karena proses pelapukan dan proses *hidrotermal* alterasi pada batuan beku yang banyak mengandung feldspar dimana mineral potassium aluminium silikat dan feldspar dirubah menjadi kaolin. Dapat pula terbentuk sebagai pelapukan batuan *metamorf* khususnya *gneiss*, sedang kaolin sekunder merupakan hasil transportasi kaolin primer.

Proses pelapukan terjadinya kaolin :



Feldspar

Kaolin

Hancurnya kaolinit berakibat pada pembentukan gipsit dan pengendapan dalam tanah bersamaan dengan hilangnya silikat alam, kemudian apabila lingkungan pelapukan itu berubah dan tanah kontak dengan air yang kaya silikat, gipsit akan berubah menjadi kaolinit.

Partikel-partikel kaolin merupakan partikel yang tidak mudah dihancurkan dan hal ini menjadi penyebab sifat-sifat plastisitasnya dan daya mengerut dan mengembang yang rendah. Luas permukaan kaolin adalah sekitar $7 - 30 \text{ m}^2/\text{g}$. Diantara jenis mineral yang ada, kaolin diperkirakan yang paling luas penyebarannya dalam tanah.

Mineral silikat di antara kaolin mampu menyerap air yang disebabkan oleh gaya elektrik. Dengan penyerapan, terjadi orientasi air akibat adanya medan listrik

pada permukaan lempung dan molekul-molekul air tersebut kehilangan sebagian dari keluasaannya untuk bergerak.

Tingkat stabilitas dan struktur serta karakteristik air antar lapis tergantung pada kehadiran kation antar lapis dan pada komposisi lempung antar lapis. Air antar lapis bereaksi dengan oksigen maupun dengan kation-kation yang ada dalam ruang antar misel.

Mineral silikat di antaranya kaolin mampu menjerap air yang disebabkan oleh gaya elektrik. Dengan penjerapan, terjadi orientasi air akibat adanya medan listrik pada permukaan lempung dan molekul-molekul air tersebut kehilangan sebagian dari keluasaannya untuk bergerak. Dalam istilah termodinamika dikatakan bahwa energi bebas air telah menurun akibat jerapan.

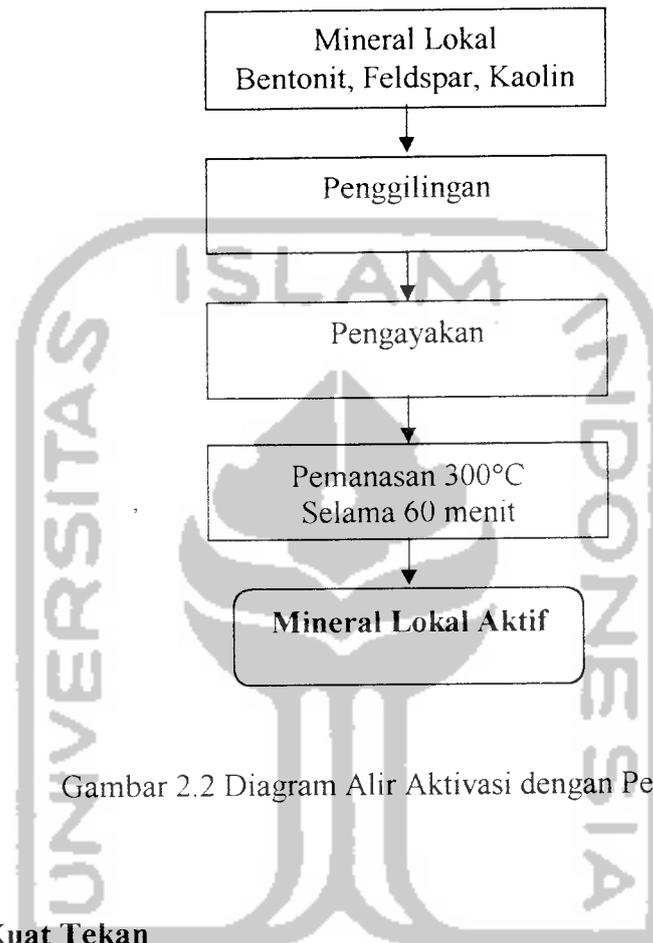
Kaolin sebagai salah satu bahan dasar pembuatan keramik merupakan salah satu jenis dari tipe mineral clay yang mempunyai sifat :

1. Plastis dan mudah dicetak pada waktu basah, sifat plastisnya dan *work ability* kebanyakan dipengaruhi oleh kondisi fisik
2. Kaku setelah dikeringkan
3. *Vitreous* (bersifat kaca) setelah dipanaskan pada temperatur yang sesuai

2.12 Aktivasi

Aktivasi adalah suatu proses dengan tujuan menaikkan kapasitas adsorpsi untuk memberikan sifat yang diinginkan sehubungan dengan penggunaannya. Penggunaannya aktivasi biasanya dengan cara pemanasan (Linarsih,2002). Dalam

penelitian ini mineral lokal bentonit, feldspar dan kaolin dipanaskan pada suhu 300°C selama 60 menit. Berikut ini gambar proses dari aktivasi.



Gambar 2.2 Diagram Alir Aktivasi dengan Pemanasan

2.13 Kuat Tekan

Kuat tekan adalah suatu nilai yang menggambarkan tentang kekuatan (*strength*) dari suatu bahan yang mana kuat tekan biasanya diwakili oleh tegangan maksimum dengan satuan MPa (Mega Pascal) atau KN/cm² serta Ton/m². Kuat tekan merupakan salah satu uji karakteristik fisik yang mana dilakukan dengan cara memberikan beban secara bertahap sampai benda uji tersebut mengalami kerusakan. Kuat tekan dari suatu bahan tergantung dari beberapa faktor antara lain adalah : pembakaran (suhu) dan lamanya pembakaran.



Persamaan yang berlaku untuk kuat tekan adalah :

$$f'_{ci} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f'_{ci} : Kuat desak masing-masing benda uji (KN / cm²)

P : Beban maksimum (KN)

A : Luas penampang (cm²)

Uji ketahanan tekan merupakan cara untuk mengetahui seberapa besar tingkat ketahanan suatu monolit. Dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan Paul Weber terhadap monolit keramik limbah setelah dilakukan pembakaran.

2.14 Lindi/*Leachate*

Adalah cairan yang keluar dari suatu cairan yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar yang ditimbulkan dari limbah yang mengalami proses pembusukan. Menurut EPA *Leachate* adalah suatu cairan yang mencakup semua komponen di dalamnya yang terkandung di dalam cairan tersebut sehingga cairan tersebut tersaring dari limbah yang berbahaya.

Leachate telah dihasilkan sejak manusia pertama kali melakukan penggalian timbunan limbah untuk menyelesaikan persampahan. Tentu saja pada tahap ini jumlah *leachate* yang dihasilkan sangat kecil dan bercampur dalam suatu tanah liat. Resiko yang didapat jika tidak adanya suatu drainase yang baik dan pengolahan limbah cair dapat menyebabkan suatu dampak yaitu penyakit bagi manusia akibat timbulnya *leachate* tersebut.

Pelindian merupakan parameter yang sangat menentukan terhadap kualitas hasil solidifikasi yang berkaitan dengan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu untuk menentukan kualitas lindi adalah dengan *Toxicology Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) adalah salah satu evaluasi toksisitas limbah untuk bahan-bahan yang dianggap berbahaya dan beracun dengan penekanan pada nilai *leachate*. Pada umumnya uji ini ditujukan terutama untuk melihat potensi toksisitas *leaching* dari logam berat pada penelitian ini yaitu logam chromium.

2.15 Hipotesa

Berdasarkan rumusan masalah dan landasan teori, maka dapat dibuat hipotesa sebagai berikut :

1. Dengan memvariasikan prosentase penambahan kapur Ca(OH)_2 untuk mendapatkan efisiensi penurunan kadar krom yang optimal.
2. Mineral lokal bentonit, feldspar dan kaolin merupakan jenis lempung yang dapat digunakan sebagai bahan keramik untuk mengolah limbah krom.
3. Dengan memvariasikan persentase penambahan limbah krom terhadap campuran bahan keramik diduga dapat diperoleh monolit keramik limbah yang dapat mengungkung krom.
4. Dengan pemanasan pada suhu tertentu diduga akan diperoleh monolit keramik limbah yang mampu mengungkung krom.