

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Padat Industri Minyak

Limbah padat yang dihasilkan industri minyak disebut *oil sludge*. Dimana minyak hasil penyulingan (*refines*) dari minyak mentah biasanya disimpan dalam tangki penyimpanan. Oksidasi proses yang terjadi akibat kontak antara minyak, udara dan air menimbulkan adanya sedimentasi pada dasar tangki penyimpanan, endapan ini adalah *oil sludge*. *Oil sludge* terdiri dari, minyak (*hydrocarbon*), air, abu, karat tangki, pasir, dan bahan kimia lainnya. Kandungan dari *hydrocarbon* antara lain benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, dan logam berat seperti timbal (Pb) pada *oil sludge* merupakan limbah B3 yang dalam pengelolaannya harus mengacu pada peraturan pemerintah no. 18 tahun 1999, dimana limbah B3 harus diproses untuk mengubah karakteristik dan komposisi limbah B3 menjadi tidak beracun dan berbahaya.

Sebenarnya banyak teknik pengolahan limbah *oil sludge* yang dapat diaplikasikan seperti, *incineration* (pembakaran), *centrifuges* (pemisahan), *steam extraction* (ekstraksi), dan *bioremediation* (mikrobiologi). Namun, kenyataan dilapangan menunjukkan bahwa teknologi tersebut masih jauh dari yang diharapkan, ditambah lagi dengan biaya operasional yang masih sangat mahal.

Dewasa ini pemanfaatan plasma dengan suhu tinggi (*thermal plasma*) dalam berbagai proses industri meningkat. *Thermal plasma* adalah gas yang terionisasi (*ionized gas*). *Thermal plasma* dapat dibuat dengan *electric arc*, yang

terbentuk diantara dua elektroda, dalam sebuah alat yang disebut *plasma torch*. Dengan memasukkan gas seperti, udara, argon, nitrogen, steam dan lain sebagainya kedalam *plasma torch*, atom atau molekul gas akan bertumbukan dengan elektron yang terbentuk dalam *electric arc*. Hasil dari proses ini adalah panas dan gas terionisasi yang akan memproduksi *thermal plasma jet* dengan temperatur yang sangat tinggi.

Plasma yang dihasilkan dapat dipergunakan untuk mengolah dan mendaur ulang limbah *oil sludge*. Plasma ini dapat dipergunakan untuk menguapkan senyawa organik (*hydrocarbon*) yang terkandung dalam *oil sludge*. Senyawa organik yang menguap dapat dibentuk kembali dalam bentuk minyak, dan dapat dimanfaatkan.

Energi yang diperlukan dalam proses dibentuk dalam *plasma torch*. Gas yang dipergunakan dalam *torch* adalah argon atau nitrogen (dalam hal ini tidak ada oksigen). Gas organik yang terbentuk dalam reaktor bersamaan dengan gas argon atau nitrogen kemudian dimasukkan ke dalam kondensor, untuk mengubah uap gas tadi menjadi cairan. Setelah melalui pendinginan dalam kondensor cairan yang terbentuk dari gas organik tadi adalah *light oil* yang 100% dapat dipergunakan kembali. Gas argon atau nitrogen sendiri dapat dipergunakan kembali dalam reaktor proses.

Normal operasi temperatur yang dipergunakan dalam proses ini adalah sekitar 800 hingga 1200 derajat celcius, suhu terbaik yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan *hydrocarbon* dalam *oil sludge*. Kondisi dalam reaktor proses dikondisikan sedemikian rupa agar tidak terjadi proses oksidasi pada

material *hydrocarbon* dan dapat mendukung proses pembentukan minyak pada kondensator. Residu yang dihasilkan dari proses ini akan bebas dari kandungan *hydrocarbon*, dan siap untuk dibuang ke TPA dengan aman. Apabila pada *oil sludge* terkandung logam berat seperti timbal proses lanjutan dengan plasma dapat dilakukan untuk mendaur ulang logam tersebut.

Beberapa kelebihan dari pemanfaatan proses ini adalah energi efisiensinya dapat mencapai 80%, hal ini jauh lebih tinggi dibandingkan pada proses yang menggunakan gas atau bahan bakar minyak lain yang hanya dapat mencapai 20%. Juga plasma proses akan lebih efektif jika diaplikasikan pada limbah *oil sludge* yang memiliki kandungan *hydrocarbon* di atas 10%. Selanjutnya, kandungan *hydrocarbon* pada residu yang dihasilkan berkisar dibawah 0.01% dari total *hydrocarbon*.

Dengan menerapkan plasma proses pada limbah *oil sludge* diharapkan pencemaran lingkungan dan dampaknya bagi kesehatan masyarakat dapat dihindari. Lebih dari pada itu *oil sludge* dapat didaur ulang sehingga dapat menjadikan nilai tambah bagi industri perminyakan nasional.

2.1.1 Limbah Katalis RCC - 15

Secara umum, katalis didefinisikan sebagai zat yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa terkonsumsi selama reaksi. Katalis dapat memperbesar laju reaksi karena dapat menghasilkan mekanisme baru yang mempunyai energi aktivasi yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis. Katalis tidak

dapat merubah kesetimbangan termodinamika reaksi, tetapi hanya mempercepat tercapainya kesetimbangan reaksi.

Umumnya katalis dapat digolongkan menjadi 2 kelas, yaitu katalis homogen dimana semua zat yang terlibat dalam reaksi termasuk katalis berada dalam satu fasa yang sama, dan katalis heterogen dimana reaksi terjadi pada batas 2 fasa. Kebanyakan katalis heterogen adalah padatan seperti halnya katalis pada proses RCC (*Residu Catalytic Cracking*). Katalis akan menurunkan energi pengaktifan, sehingga memudahkan terjadinya reaksi.

Limbah katalis ini digunakan pada suatu kilang minyak yang dilengkapi RCC sebagai suatu bahan untuk mengarahkan dan mempercepat laju reaksi produk utama yang diinginkan seperti : LPG (*Elpiji*), Propylene, Polygasoline, Naptha, LCD (bahan dasar diesel) dan *Decant Oil* (bahan dasar *fuel oil*). Sedangkan sifat-sifat limbah katalis jenis Zeolit kristalin adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas adsorpsi tinggi.
2. Tidak bersifat korosif.

Adapun rumus yang menyusun limbah katalis jenis Zeolit kristalin adalah sebagai berikut : $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan struktur reguler, yang merupakan hasil proses dari RCC. Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis yang mengandung unsur-unsur Oksida silica dan Alumina. Selain itu didalamnya juga mengandung unsur-unsur kecil lainnya, seperti : Sodium, Calcium, Magnesium dan *Rare earth family* (*lanthanum, cerium*). Sebagian unsur-unsur penyusun dari Zeolit kristalin merupakan sebagai bahan dasar bangunan (semen) seperti : Alumina, Silika dan Kalsium.

Limbah katalis (kalis bekas) proses perengkahan minyak bumi dari UP.VI Balongan Indramayu Jawa Barat, termasuk kategori limbah B3, dengan kadar logam nikel antara 14720-14800 mg/kg. Pada akhir proses, katalis ini akan dikeluarkan berupa limbah, yang setiap harinya mencapai \pm 17 ton/hari. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 1994 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah katalis ini termasuk ke dalam daftar limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) bila memiliki nilai LD50 (Lethal Dose 50%) lebih kecil dari 15 g/kg BB.

Dengan adanya kesamaan antara unsur-unsur penyusun limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi dengan unsur-unsur penyusun semen, sehingga limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi dapat digunakan sebagai bahan tambah adukan beton (semen). Dengan penambahan limbah katalis hasil penyulingan minyak bumi maka faktor air semen (fas) akan berkurang, sehingga dapat meningkatkan kuat desak beton. Faktor air semen akan mempengaruhi kualitas beton yang diinginkan, semakin kental pastinya maka akan semakin berkurang susut pengerasannya. Jadi dengan adanya penambahan limbah katalis terhadap adukan semen maka nilai faktor semen (fas) akan menurun, sehingga akan meningkatkan kuat desak beton.

PT.Pertamina telah melakukan uji terhadap kandungan limbah katalis yang mereka hasilkan. Adapun hasil pengukuran komposisi Kimia *Spent* dan *Fresh Catalyst* yang dilakukan di UNPAD :

Tabel. 2.1 Hasil Pengukuran Komposisi Kimia *Spent* dan *Fresh Catalyst* Pada Tahun 2000 di PT. Pertamina.(Pertamina, Lembaga Penelitian UNPAD)

Parameter	Satuan	Limit Deteksi	<i>Fresh Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst (Duplicate)</i>	<i>Spent Catalyst</i>
SiO ₂	%	N/A	37,31	48,46	47,12
Al ₂ O ₃	%	N/A	40,49	44,20	45,34
Fe ₂ O ₃	%	0,03	0,70	0,90	0,60
TiO ₂	%	N/A	0,70	0,77	0,70
K ₂ O	%	0,01	0,08	0,17	0,14
Na ₂ O	%	0,002	0,05	0,09	0,45
CaO	%	0,01	0,16	tt	0,16
MgO	%	0,001	tt	tt	0,26
As *	mg/kg	0,002	tt	tt	0,005
Ba	mg/kg	0,1	tt	tt	tt
B	mg/kg	1	N/A	N/A	N/A
Cd	mg/kg	0,005	4,00	4,00	4,50
Cr	mg/kg	0,05	17,10	17,10	165,50
Cu	mg/kg	0,02	4,00	4,00	21,00
Pb	mg/kg	0,1	53,00	53,00	67,50
Hg **	mg/kg	0,0002	tt	tt	tt
Se *	mg/kg	0,002	tt	tt	tt
Zn	mg/kg	0,005	76,00	76,00	105,00
Ni	mg/kg	0,04	48,00	48,00	14.760
V	mg/kg	0,2	50,00	50,00	437,50
Ag	mg/kg	0,01	3,00	3,00	2,50
Co	mg/kg	0,01	36,00	36,00	358,50
Mn	mg/kg	0,01	16,00	16,00	27,50
P ₂ O ₅	%	N/A	0,23	0,14	0,23
SO ₃	%	N/A	0,20	0,04	0,04
H ₂ O	%	N/A	6,61	3,08	0,56
LOI	%	N/A	20,25	4,70	4,29

Keterangan : * Metoda Gas Hydrida (*Gas Hydride Method*)

** Teknik Uap Dingin (*Cold Vapour Technique*)

N/A Dulu tidak Tersedia

Dari pengukuran yang diperoleh, didapat beberapa logam berat dengan konsentrasi tinggi atau sama dengan ketentuan yang berlaku, sehingga perlu diuji toksisitasnya, seperti Cr, Cu, Pb, Zn, dan Ni. Sedangkan CaO, SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ mengandung unsur oksida yang tinggi sehingga dapat membentuk ikatan semen dan memberikan kontribusi kuat semen pada bahan genteng beton.

2.1.2 Penelitian Tentang Limbah Katalis

Hingga saat ini telah dilakukan penelitian tentang limbah katalis, diantaranya :

1. Menurut penelitian yang dilakukan di Amerika maupun di Australia, (*Majalah Konstruksi, No : 253 – Juni, 1997*) limbah katalis yang dihasilkan RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya beracun (B3). Oleh karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton ataupun keramik.
2. Menurut penelitian yang dilakukan di Amerika maupun di Australia, (*Majalah Konstruksi, No : 253 – Juni, 1997*) limbah katalis yang dihasilkan RCC, tidak dikategorikan sebagai limbah bahan berbahaya beracun (B3). Dari hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa katalis bekas dalam CaCl₂ hanya sebesar 3,96 - 4,80 hingga tidak bersifat korosif.
3. Menurut hasil analisa TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*), limbah katalis memiliki logam dibawah baku mutu yang ditetapkan, sehingga lebih aman untuk lingkungan. Berdasarkan hal tersebut

katalis bekas tidak dapat digolongkan dalam limbah B3. Karena tidak memenuhi uji karakteristik penggolongan secara kimia.

Oleh karena limbah katalis tidak berbahaya dan cukup aman, maka dapat digunakan sebagai campuran untuk memproduksi bahan bangunan. Proses pembuatan produk tersebut dilakukan dengan mencampurkan beberapa bahan dengan perbandingan pasir : 64%, limbah katalis : 16%, semen : 20%, dengan tambahan air untuk adukan.

2.2 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun

Limbah bahan berbahaya dan beracun, disingkat B3 adalah setiap limbah yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung atau tidak langsung dapat merusak dan/atau mencemarkan lingkungan hidup dan/atau dapat membahayakan kesehatan manusia. Oleh karena itu, limbah B3 harus dikelola terlebih dahulu. Pengelolaan limbah B3 merupakan suatu rangkaian kegiatan yang mencakup penyimpanan, pengumpulan, pemanfaatan, pengangkutan, pengolahan limbah, serta penimbunan hasil pengolahan tersebut.

Hierarki pengelolaan limbah B3 dimaksudkan agar limbah B3 yang dihasilkan sesedikit mungkin bahkan jika mungkin sampai nol dengan upaya reduksi pada sumber dengan pengolahan bahan, substitusi bahan, modifikasi proses, dan dengan dilakukannya teknologi bersih. Jika masih dihasilkan limbah B3, maka dapat diupayakan pemantauan limbah B3 untuk mengurangi jumlah limbah B3 dan meminimalkan beban pengolahan. Pemantauan limbah B3

mencakup perolehan kembali (*recovery*), penggunaan kembali (*reuse*) dan daur ulang (*recycle*). Timbulan limbah B3 yang sudah tidak dapat diolah atau dimanfaatkan yang harus ditimbun pada lokasi penimbunan (*landfill*) yang memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan.

Identifikasi limbah B3 berdasarkan karakteristiknya dapat dibagi seperti dijelaskan sebagai berikut. Penentuan yang lebih spesifik terhadap kandungan bahan organik dan anorganik yang diklasifikasikan sebagai komponen aktif B3, ditentukan dengan metoda *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) :

1. Mudah Meledak

Limbah mudah meledak adalah limbah yang melalui reaksi kimia dapat menghasilkan gas dengan suhu tekanan dan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.

2. Mudah Terbakar

Limbah mudah terbakar adalah limbah yang apabila berdekatan dengan api, percikan api, gesekan atau sumber nyala lain akan mudah menyala atau terbakar dan apabila telah nyala akan terus terbakar hebat dalam waktu lama.

3. Limbah Reaktif

Limbah yang bersifat reaktif adalah limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepaskan atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.

4. Limbah Beracun

Limbah beracun adalah limbah yang mengandung racun yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Limbah B3 dapat menyebabkan kematian dan sakit serius. Apabila masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit, atau mulut. Prosedur ekstraksi untuk menentukan senyawa organik dan anorganik (TCLP) dapat digunakan untuk identifikasi limbah ini. Limbah yang menunjukkan karakteristik beracun yaitu jika diekstraksi dari sampel yang mewakili mengandung kontaminan lebih besar.

5. Limbah Infeksi

Limbah yang menyebabkan infeksi, yaitu bagian tubuh yang diamputasi dan cairan dari tubuh manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lain yang terkena infeksi kuman penyakit yang menular.

6. Limbah Korosif

Limbah yang bersifat korosif, yaitu limbah yang menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit atau mengkorosikan baja.

7. Uji Toksikologi

Uji TCLP yaitu untuk menentukan mobilitas kontaminan pencemar organik maupun anorganik yang terdapat dalam limbah cair, padat ataupun campuran (multifasa). Jika hasil analisa total limbah menunjukkan bahwa jenis kontaminan tidak terdeteksi atau konsentrasinya di bawah ambang batas (menurut peraturan yang berlaku), maka uji TCLP tidak perlu dilakukan. Jika hasil analisa larutan ekstraksi TCLP bahan tertentu mengandung kontaminan terdaftar dengan

konsentrasi tinggi atau sama dengan ketentuan yang berlaku, maka bahan tersebut termasuk kategori B3.

2.2.1 Klasifikasi Limbah B3

Dalam pengembangan peraturan untuk implementasi legislasi yang berhubungan dengan polutan padat dan polutan cair, Agen Perlindungan U.S (EPA US) telah mengeluarkan dan merevisi definisi untuk sampah berbahaya RCRA dan polutan terbesar. Definisi ditinjau secara singkat di bawah ini.

Sampah Berbahaya RCRA. EPA US telah mendefinisikan sampah berbahaya RCRA dalam tiga kategori umum, yaitu : sampah terdaftar, karakteristik sampah berbahaya dan sampah berbahaya lain. Berdasarkan pada kriteria yang ditentukan dalam Kode Regulasi Federal (40 CFR 261,11), EPA US telah mempersiapkan sampah berbahaya khusus. Jika suatu sampah memenuhi kriteria tersebut, diasumsikan adanya racun pada konsentrasi sampah itu. Karakteristik sampah berbahaya ditentukan pada dasar dari ignitabilitas, pengkaratan, reaktivitas dan toksisitas. Toksisitas ditentukan dengan sebuah analisis tentang konstituen yang dihasilkan dari sebuah uji ekstraksi.

Polutan Terbesar. Pada tahun 1979, menurut Hukum Federal Pengontrol Polusi Air sebagai pengganti Hukum Air Bersih (1977), EPA US, dibutuhkan untuk mempersiapkan daftar polutan toksin yang terbukti berbahaya pada kesehatan manusia. Empat kriteria yang digunakan untuk mengkasifikasikan polutan-polutan tersebut :

1. Potensi kerusakan yang membebaskan air dari material-material tersebut dapat diciptakan dengan sifat baik dari sifat toksikologi tertentu. Sifat-sifat ini memasukkan bioakumulasi, karsinogenitas, mutagenitas, teratogenitas atau toksisitas akut tinggi.
2. Keseriusan pembebasan atau potensi pembebas pada polutan tersebut dengan titik sumber. Faktornya memasukkan kealamiahannya dan peningkatan efek toksik yang bergabung dengan polutan tersebut.
3. Pengaturan standar anak sungai untuk titik sumber pembebas.
4. Keseluruhan efek lingkungan tentang pengukur kendali telah tersedia.

Daftar inisial dari polutan terbesar terdiri dari 65 kelompok polutan, terdiri dari sejumlah 129 substansi spesifik.

Klasifikasi Berbahaya Lain, telah dikemukakan oleh agen-agen seperti : Lembaga Internasional untuk Peneliti Kanker, Institusi Kanker Nasional dan Lembaga Penelitian Lingkungan Kelompok Peneliti Karsinogen. (Tchobanoglous, 2001).

Untuk mengklasifikasikan limbah yang tergolong B3 yaitu harus mengidentifikasi karakteristik limbah yang dihasilkan, namun demikian karakteristik dan prosedur analitik merupakan hal yang penting dalam identifikasi limbah B3 pada suatu jenis industri atau kegiatan lain yang menghasilkan limbah B3.

Unsur-unsur yang tergolong dalam limbah B3 didominasi oleh unsur-unsur logam berat seperti tembaga (Copper-Cu), timbal (Plumbum), merkuri, kadmium (Cd), kromium dan lain-lain. Perbedaan logam berat dengan biasa dapat ditentukan berdasarkan karakteristiknya yaitu memiliki spesifik *gravity* yang sangat besar (lebih dari 4) mempunyai nomor atom 22-23 dan 40-50 serta unsur-unsur lantanida dan aktinida memiliki respon biokimia khas (spesifik) pada organisme hidup, logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *Oxygen Seeking* metal, logam-logam yang mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur-unsur nitrogen atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga *nitrogen sulfur seeking metal* dan dari logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk ion-ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B.

Pengolahan limbah B3 adalah proses untuk mengubah jenis, jumlah dan karakteristik limbah B3 menjadi tidak berbahaya dan/atau tidak beracun dan/atau immobilisasi limbah B3 sebelum ditimbun dan/atau memungkinkan agar limbah B3 dimanfaatkan kembali (daur ulang). Sebelum melakukan pengolahan limbah B3 dilakukan uji untuk mengetahui kandungan/parameter fisika dan/atau kimia dan/atau biologi guna menetapkan proses teknologi pengolahan limbah B3.

Pada umumnya, proses pengolahan B3 dilakukan dengan tujuan:

- mengurangi sifat toksik
- mengurangi konsentrasi senyawa berbahaya dalam limbah sehingga selanjutnya dapat diolah dan dimusnahkan ataupun digunakan kembali

- fiksasi limbah dalam suatu matriks yang akan menghalangi terjadinya pelindian
- menerangkap limbah untuk mencegah terjadinya lindi. Lindi adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi terlarut, termasuk juga materi organik hasil proses dekomposisi biologis.

2.3 Prinsip Solidifikasi

Solidifikasi adalah teknologi pengolahan yang dapat diterapkan terhadap limbah padat dan cair. Sistem pengolahan limbah dengan stabilisasi dirancang untuk membatasi atau mengurangi lepasnya kontaminan yang berbahaya di limbah. Hal ini dicapai dengan cara mengurangi kelarutan unsur-unsur berbahaya, memperkecil area paparan yang dapat menyebabkan terjadi migrasinya unsur-unsur tertentu atau dengan cara menghilangkan daya racun unsur tersebut. Cara pengolahan ini sekaligus memperbaiki sifat-sifat mudah diangkut untuk transportasi lebih lanjut jika diinginkan.

Stabilisasi dari kontaminan anorganik yang masih dalam bentuk atomnya, seperti Cd, Pb, dan logam lain mirip dengan bentuk alamiahnya. Dengan mempelajari bentuk kejadian di alam, kita dapat belajar tentang metode stabilisasi yang optimum. Stabilisasi harus dipertimbangkan sebagai proses pengolahan limbah yang mengurangi pergerakan kontaminan ke lingkungan, ditinjau dari tingkat pergerakan geologinya.

Solidifikasi adalah suatu proses dengan kuantitas bahan pematat yang mencukupi, termasuk zat padat itu sendiri, ditambahkan ke bahan berbahaya untuk menghasilkan suatu bahan yang bermassa padat. Pematatan / pengerasan massa disempurnakan dengan penambahan reagen yang berfungsi untuk:

1. Meningkatkan kekuatan bahan
2. Menurunkan tingkat penekanan
3. Menurunkan permeabilitas limbah

Tujuan utama solidifikasi adalah meningkatkan integritas struktur dari bahan dan mengurangi tingkat penyebaran ke lingkungan. Tingkat keefektifan proses solidifikasi dapat sering dievaluasi dengan mengukur kekuatan bahan.

Dalam stabilisasi dan solidifikasi yang sukses melalui mekanisme-mekanisme seperti di bawah ini :

1. *Makroencapsulation*

Adalah suatu mekanisme dimana unsur pokok limbah B3 secara fisika terperangkap dalam matriks padatan yang jauh lebih besar, sehingga limbah B3 berada dalam pori-pori yang tidak terlewatkan pada bahan penstabil. Degradasi bahan yang telah terstabilkan meski dalam bentuk partikel yang besar. Bahan yang terperangkap tersebut bebas untuk bergerak. Limbah yang telah terstabilkan harus mengalami proses/siklus pembekuan dan peleburan atau pembasahan dan pengeringan supaya dapat bebas untuk dilepaskan ke lingkungan.

2. *Mikroencapsulation*

Limbah B3 diperangkap dalam struktur kristal dari bahan padatan pada ukuran mikroskopik. Akibatnya meskipun bahan yang terstabilkan terdegradasi dalam bentuk partikel yang lebih kecil, namun sebagian besar tetap dihambat. Karena limbah tidak berubah secara kimia, tingkat pelepasan kontaminan dari massa terstabilisasi akan meningkat, sejalan dengan penurunan ukuran partikel.

3. Absorpsi

Adalah suatu proses yang memasukkan kontaminan ke dalam bahan penyerap (*sorbent*) seperti layaknya *sponge*/busa menyerap air. Absorpsi membutuhkan tambahan bahan padat untuk menyerap cairan bebas yang terkandung dalam limbah. Proses digunakan terutama untuk mengeluarkan/menghilangkan cairan untuk meningkatkan pengolahan limbah, yaitu memadatkan limbah. Cairan diperas dari tanah. Absorpsi digunakan hanya untuk menyempurnakan perlakuan/pengolahan terhadap limbah. *Adsorbent* yang umum digunakan adalah :

- Tanah
- Abu
- Semen
- Soda
- Mineral tanah liat seperti : tentonite, haolinite, dan lain lain.
- Serbuk gergaji
- Jerami

4. Adsorpsi

Suatu fenomena kontaminan diikat secara elektronika untuk menstabilkan limbah dalam suatu padatan. Adsorpsi merupakan fenomena permukaan dan ikatannya merupakan ikatan *van der waals/hydrogen bending*. Kontaminan diikat secara kimia dalam padatan yang stabil lebih aman untuk dikeluarkan ke lingkungan.

5. Presipitasi

Proses stabilisasi tertentu akan mengendapkan kontaminan dari limbah yang menghasilkan bentuk *konstituent* lebih stabil dalam limbah. Pengendap seperti hidroksida, sulfida, silika, karbonat dan phosphate masuk dalam massa yang terstabilisasi sebagai bagian dari struktur material. Fenomena ini bisa diaplikasikan untuk stabilisasi limbah anorganik seperti lumpur logam hidroksida. Contohnya logam karbonat memiliki kelarutan yang lebih kecil daripada hidroksida logam. Pada pH tinggi reaksi untuk membentuk karbonat metal dari karbonat hidroksida :



Me = Metal

Pembentukan logam karbonat antara lain dengan pH. Karbonat logam lebih stabil pada pH tinggi. Pada kondisi asam, logam akan kembali larut dan terbebas ke lingkungan sebagai suatu larutan.

6. Detoksifikasi

Reaksi kimia tertentu yang terjadi selama proses stabilisasi akan menghasilkan limbah dengan toksisitas yang rendah. Detoksifikasi adalah suatu mekanisme yang mengubah unsur kimia ke bentuk lain yang tidak *toxic*.

2.3.1 Proses Solidifikasi

Langkah-langkah utama yang dilakukan dalam proses solidifikasi adalah sebagai berikut:

- 1). Analisa dan penilaian
- 2). Pengolahan pendahuluan
- 3). Penambahan bahan pengikat dan pematat
- 4). Pengendalian kualitas hasil akhir
- 5). Pembuangan/penggunaan kembali produk akhir
- 6). Monitoring lahan.

Beberapa teknik pengerasan dalam proses S/S:

- 1). Proses dengan teknik penyemenan (*cement-based processes*)
- 2). Proses dengan materi pozzolan (*Pozzolan processes*)
- 3). Proses dengan teknik thermoplastic (*thermoplastic techniques*)
- 4). Proses dengan teknik polimer organik (*organic polymer techniques*)
- 5). Proses dengan teknik pengkapsulan permukaan (*surface encapsulation techniques*)
- 6). Proses swa-penyemenan (*self cementing techniques*)
- 7). Vitrifikasi

Penilaian terhadap keefektifan proses solidifikasi dapat dilakukan melalui uji kualitas bahan yang dihasilkan. Kriteria atau parameter yang dapat digunakan untuk menilai kualitas produk adalah kekuatan tekan (*compressive strength*), permeabilitas, kualitas lindi, serta stabilitas jangka panjang.

1). Kekuatan tekan

Produk hasil S/S harus memiliki kekuatan tekan yang memungkinkan produk menahan beban dari benda-benda yang diletakkan di atasnya.

2). Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan suatu bahan untuk meloloskan cairan. Materi hasil solidifikasi diharapkan mempunyai permukaan yang kecil, sehingga dapat menahan air meskipun kelarutan dari komponennya tidak mencapai nol. Apabila komponen beracun yang dapat terlarut jadi sedikit, maka semakin sedikit air yang melewati materi tersolidifikasi, sehingga akan semakin sedikit jumlah bahan beracun yang memasuki tanah.

3). Kualitas lindi

Kualitas lindi merupakan salah satu kriteria yang cukup penting dari pengujian control kualitas, meskipun karakteristik fisik juga penting bila solidifikasi buangan dipakai sebagai konstruksi. Uji yang dilakukan untuk menentukan kualitas lindi merupakan uji pelindian atau *Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)*.

4). Stabilitas jangka panjang

Pengujian stabilitas jangka panjang terhadap sifat-sifat fisik pada matriks hasil solidifikasi hanya dapat dilakukan pada lahan pembuangan yang sesungguhnya.

Kendala-kendala dalam proses solidifikasi terutama disebabkan oleh sifat-sifat limbah yang akan diolah, antara lain:

- limbah mengandung senyawa yang mudah terbakar/meledak
- limbah mengandung volatile yang cukup tinggi
- limbah mengandung bahan-bahan dengan biodegradable yang tinggi
- limbah mengandung insektisida, fungisida, dan pestisida
- limbah mengandung borat (terlindikan), gula (melepaskan kapur)
- limbah mengandung kation atau anion yang mengganggu proses.

Stabilisasi dan solidifikasi banyak diaplikasikan untuk:

1. Remediasi (pemulihan) lahan tempat pembuangan limbah B3.
2. Pengolahan residu / sisa-sisa proses pengolahan sebelumnya. (contoh: abu dari sisa pengolahan thermal dengan *incinerator*).
3. Pengolahan bahan yang terkontaminasi bila ditemukan sebagian besar tanah yang mengandung kontaminan.

Untuk mengurangi volume akhir limbah, biasanya limbah dilakukan penghilangan air lebih dahulu sebelum dilakukan proses solidifikasi. Dalam proses solidifikasi limbah menjadi bentuk *block* atau padatan yang kompak digunakan suatu bahan pengikat atau polymer. Sebagai bahan pengikat yang banyak digunakan adalah semen Portland, *thermoplastic*, *organik polymer* dan *pozzolanic*.

2.4 Teknologi Beton

Karakteristik dari beton harus dipertimbangkan dalam hubungannya dengan kualitas yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi tertentu. Pendekatan praktis yang paling baik untuk mengusahakan kesempurnaan semua sifat beton, akan berarti pemborosan bilamana dipandang dari segi ekonomi. Yang paling diharapkan dari suatu konstruksi adalah dapat memenuhi harapan maksimal, dengan tepat mengikuti variasi sifat-sifat beton, dan tidak hanya terpancang pada satu pandangan saja.

Beton dapat mencapai kuat-hancur sampai sekitar 80 N/mm^2 (12.000 lb/in^2), atau lebih, tergantung pada perbandingan air-semen serta tingkat pematatannya. Kuat-hancur antara 20 dan 50 N/mm^2 pada umur 28 hari biasa diperoleh di lapangan bila pengawasan pekerjaannya baik, dengan perbandingan berat semen : pasir : mill sebagai $1 : 2,5 : 1$ (L. J. Murdock, 1999).

Agregat yang kotor dan banyak pasirnya, akan membutuhkan perbandingan air/semen yang banyak untuk memperoleh daya pengerjaan (workabilitas) yang memenuhi syarat. Di sini dihasilkan beton yang cenderung retak-retak karena penyusutan awal. Kehilangan air dan penyusutan yang terjadi sebelum atau selama beton mulai mengikat merupakan sebab umum dari retak pada konstruksi beton, terutama pada tempat-tempat terjadinya perubahan penampang melintang. Kadang-kadang retak-retak yang mulai terjadi pada saat awal menjadi lebih nyata kemudian.

Bahan yang dipergunakan untuk membuat genteng beton adalah semen yang normal pengerasannya maupun yang cepat pengerasannya, bersama pasir

pada perbandingan 1 : 2,5. Campuran yang dipakai berkonsistensi menyerupai tanah lembab, tetapi harus sebasah mungkin agar gentengnya dapat segera diangkut dari mesin.

2.4.1 Genteng Beton

Genteng beton ialah unsur bangunan yang dibuat dari campuran bahan-bahan semen Portland, agregat halus, air, dan atau tanpa kapur, trass, pigmen, dan bahan pembantu lain, yang dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dipergunakan untuk atap. Namun, bahan dasar yang digunakan adalah semen Portland, pasir, dan mill dengan perbandingan berat 1 : 2,5 : 1 (SNI 03 – 0096 – 1987).

Genteng beton harus mempunyai bentuk yang sama, panjang, lebar, dan tebal genteng beton untuk seluruh partai yang diserahkan kepada proyek harus sama dan seragam. Bentuknya harus sedemikian hingga dapat tersusun rapih pada rangka atap dan tidak memungkinkan masuknya air hujan secara langsung maupun karena tempias.

Ukuran panjang efektif genteng beton harus sesuai dengan jarak reng dari luar ke luar sehingga akan memberikan beban lentur yang masih dapat diizinkan. Tebal genteng tidak boleh kurang dari 8 mm, adapun pada bagian penumpangan tebalnya minimum 6 mm.

Genteng harus mempunyai kaitan untuk mengkait pada reng. Tebal / tinggi kait minimum 12 mm, lebar kait minimum 20 mm. jika perlu genteng dapat diberi lubang untuk paku, yang dilakukan pada kasau (usuk). Genteng harus mempunyai

penumpangan tepi yang lebarnya minimum 25 mm, dan dilengkapi dengan minimum satu alur air yang kedalamannya minimum 5 mm (Anonim,UGM).

Genteng harus mempunyai permukaan atas yang mulus, tidak terdapat retak, atau cacat lain yang mempengaruhi sifat pemakaian dan setiap jenis bentuknya harus seragam. Sesuai dengan tingkat mutunya, genteng harus memenuhi syarat kuat lentur sebagai berikut :

Tabel. 2.2 Mutu dan Kuat Lentur Minimum Genteng Beton

Tingkat Mutu	Kuat Lentur Rata-Rata dari 10 Genteng yang diuji (kg)	Kuat Lentur Masing-Masing Genteng (kg)
I	150	120
II	80	60

(Sumber: Anonim, 1992)

2.4.2 Semen Portland

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI – 1982).

Semen Portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Di dunia sebenarnya terdapat berbagai macam semen, dan tiap macamnya digunakan untuk kondisi-kondisi tertentu sesuai dengan sifat-sifatnya yang khusus (Tjokrodimuljo, 1992).

Suatu semen jika diaduk dengan air akan terbentuk adukan pasta semen, sedangkan jika diaduk dengan air kemudian ditambah pasir menjadi mortar semen, dan jika ditambah lagi dengan kerikil / batupecah disebut beton.

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak / padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Walaupun semen hanya kira-kira mengisi 10 persen saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (Tjokrodimuljo, 1992).

Perbedaan sifat jenis semen satu terhadap semen yang lain dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya.

1. Susunan Kimia

Karena bahan dasarnya terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi, maka bahan-bahan ini menjadi unsur-unsur pokok semennya. Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks, namun pada semen biasa dapat dilihat sebagaimana pada tabel. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Tabel. 2.3 Susunan Unsur Semen Biasa

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda / potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

(Sumber: Tjokrodimuljo, 1992)

2. Hidrasi Semen

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah ke luar dan ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 – 5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Proses hidrasi pada semen Portland sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Proses hidrasi butir-butir semen berlangsung sangat lambat. Bila masih dimungkinkan, penambahan air masih diperlukan oleh bagian dalam dari butir-butir semen (terutama yang berukuran besar), untuk menyempurnakan proses hidrasi.

3. Kekuatan Pasta Semen dan Faktor Air-Semen

Kekuatan semen yang telah mengeras tergantung pada jumlah air yang dipakai waktu proses hidrasi berlangsung. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi hanya kira-kira 25 persen dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan setelah mengeras. Air kelebihan dari yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya memang diperlukan pada pembuatan beton, agar adukan beton dapat bercampur dengan baik, diangkut dengan mudah, dan dapat dicetak tanpa rongga-rongga yang besar (tidak keropos). Akan tetapi, hendaknya selalu diusahakan jumlah air yang sesedikit mungkin, agar kekuatan beton tidak terlalu rendah. Kelebihan air akan mengakibatkan pasta semen berpori lebih banyak, sehingga hasilnya kurang kuat dan juga lebih berpori.

4. Sifat Fisik Semen

Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun yang pasta semennya yang sudah keras, juga betonnya yang dibuat dari semen tersebut. Sifat-sifat fisik semen yang penting yaitu :

a. Kehalusan Butir

Reaksi antara semen dan air dimulai dari permukaan butir-butir semen, sehingga makin luas permukaan butir-butir semen (dari berat semen yang sama) makin cepat proses hidrasinya. Hal ini berarti bahwa, butir-butir semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat daripada semen dengan butir-butir yang lebih kasar. Namun jika terlalu halus, sifat semen akan menjadi kebalikannya, karena terjadi hidrasi awal oleh kelembaban udara.

b. Waktu Ikatan

Semen jika dicampur dengan air membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis, dan akhirnya menjadi keras. Waktu dari pencampuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal, dan waktu sampai mencapai pastinya menjadi massa yang keras disebut waktu ikatan akhir.

c. Panas Hidrasi

Silikat dan aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi media perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut hidrasi.

d. Berat Jenis

Berat jenis semen berkisar pada 3,15. Berat jenis bukan merupakan petunjuk kualitas semen, nilai ini hanya digunakan dalam hitungan perbandingan campuran.

2.4.3 Pasir

Agregat adalah adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (beton). Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar (beton). Walaupun namanya sebagai pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimuljo, 1995). Agregat yang umum digunakan adalah pasir, kerikil, dan batu-batu pecah.

2.4.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan (Tjokrodimuljo, 1992).

Air yang memenuhi persyaratan sebagai air minum memenuhi syarat pula untuk bahan campuran beton, namun tidak berarti air pencampur beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Adapun syarat minimal sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram / liter.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram / liter.
3. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram / liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram / liter.

2.5 Logam Berat

Logam berat merupakan komponen alami tanah. Elemen ini tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria-kriteria yang sama dengan logam-logam lain. Perbedaannya terletak dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini berikatan dan atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup. Logam berasal dari kerak bumi yang berupa bahan-bahan murni, dan anorganik. Logam mula-mula diambil dari pertambangan dibawah (kerak bumi), yang kemudian dicairkan dan pemurnian logam tersebut yakni dari pencairan sampai menjadi logam dan sebagian terbuang kedalam lingkungan. Secara alami siklus perputaran logam dan kerak bumi kemudian kelapisan tanah, kemudian ke makhluk hidup (tanaman, hewan, manusia) ke dalam air, mengendap dan akhirnya ke kerak bumi.

Beberapa logam seperti Nikel (Ni), Mangan (Mn), Timah (Pb), Khrom (Cr), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Besi (Fe), dan Mercury (Hg) adalah komponen penting dalam air meskipun terdapat dalam jumlah kecil. Beberapa jenis dari logam-logam ini ada yang justru diperlukan untuk pertumbuhan kehidupan biologis dan terkadang tidak adanya jenis logam kemungkinan dapat menghambat pertumbuhan algae, tetapi kelebihanannya sedikit saja dari jumlah logam-logam itu akan mengganggu biota aquatis karena terjadi keracunan. Maka perlu dilakukan langkah dan pengawasan guna mengurangi kadar konsentrasi logam-logam berat ini. Untuk itu dapat terdeteksi dengan cara Spektrofotometri Serapan Atom atau AAS.

Kandungan alamiah logam akan berubah-ubah tergantung berapa kadar pencemar akibat ulah manusia atau oleh perubahan alam seperti erosi. Walaupun demikian, ternyata kandungan logam dalam lingkungan oleh pengaruh pertambangan masih lebih besar dari pada akibat erosi alamiah (Darmono, 1995).

2.5.1 Pencemaran Logam Berat

Secara alamiah unsur atau senyawa logam berat terdapat di dalam air, sedimen, dan organisme laut, namun kadarnya rendah. Pada kondisi ini unsur atau senyawa logam berat tidak bersifat racun. Sifat racun logam berat akan timbul apabila kadarnya meningkat. Peningkatan kadar logam berat berkaitan erat dengan masuknya limbah yang mengandung logam berat.

Logam berat dalam jumlah berlebihan dapat bersifat racun. Hal ini disebabkan terbentuknya senyawa merkaptida antara logam berat dengan gugus –

SH yang terdapat dalam enzim, sehingga aktivitas enzim tidak berlangsung. Mekanisme toksisitas logam menurut Connel dan Miller (1995) dalam Ochiai (1997) adalah sebagai berikut :

1. Logam menahan gugus fungsi biologis yang esensial dalam biomolekul (misalnya protein dan enzim). Logam berikatan dengan gugus -SH (misalnya sistein) dan gugus yang mengandung nitrogen (misalnya lisin dan histidin imidazol).
2. Menggantikan ion logam esensial dalam biomolekul, misalnya menggantikan Zn^{2+} oleh Ni^{2+} yang mengakibatkan deaktivasi enzim.
3. Mengubah konfirmasi aktif biomolekul.

Pencemaran yang ditimbulkan oleh logam berat sampai ke tingkat tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia. Masalah yang ditimbulkan oleh unsur-unsur logam berat ini cukup rumit, karena logam-logam ini mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

- a. Beracun
- b. Tidak dapat dirombak atau dihancurkan oleh organisme hidup
- c. Dapat diakumulasi dalam tubuh organisme termasuk manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menurut Sugeng Martopo (1989), logam berat berdasarkan sifat racunnya yang berdampak terhadap kesehatan manusia dapat dikelompokkan menjadi 4 golongan yaitu :

- a. Sangat racun, dapat menyebabkan kematian ataupun gangguan kesehatan yang tidak pulih dalam waktu singkat yaitu Pb, Hg, Cd, Cr, As, Sb, Ti, U, Be.

- b. Moderat, menyebabkan gangguan kesehatan baik yang dapat pulih maupun yang tidak dapat pulih dalam jangka waktu yang relative lama yaitu : Ba, Be, Cu, Au, Li, Mn, Va, Co, Rb.
- c. Kurang beracun, dalam jumlah besar mengakibatkan gangguan kesehatan yaitu : Bi, Co, Fe, Ca, Mg, Ni, K, Ag, Ti, Zn.
- d. Tidak beracun, tidak menimbulkan gangguan yaitu : Al, Na, Sr, Ca.

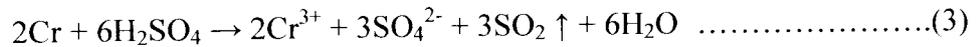
2.5.2 Khromium (Cr)

Khromium (Cr) merupakan logam kristalin berbahaya di permukaan bumi yang berwarna putih dan dijumpai dalam kondisi oksida antara Cr(II) sampai Cr(VI). (Soemirat, 1994) Khromium sebenarnya tidak toksik, tetapi senyawanya sangat iritan dan korosif, menimbulkan ulcus yang dalam pada kulit dan selaput lendir. Inhalasi Cr dapat menimbulkan kerusakan pada tulang hidung.

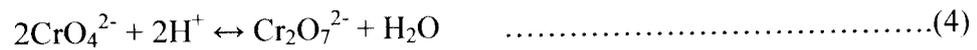
Sifat-sifat khrom yakni mempunyai tiga bilangan oksida, 2+, 3+ dan 6+ dimana logam ini tidak dapat teroksidasi oleh udara yang lembab, dan bahkan pada proses pemanasan cairan logam Cr teroksidasi dalam jumlah yang sangat sedikit sekali. Khrom juga mempunyai titik lebur pada 1765°C sehingga bersifat tahan karat. Logam ini larut dalam asam klorida encer atau pekat. Jika tak terkena udara, akan terbentuk ion-ion khromium (II) :



Dalam asam sulfat pekat panas, khromium melarut dengan mudah, pada mana ion-ion khromium (III) dan belerang dioksida terbentuk :



Khromat juga mudah diubah menjadi dikromat dengan penambahan asam :



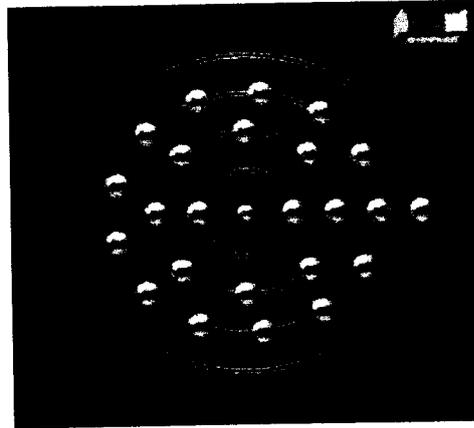
Reaksi ini reversibel. Dalam larutan netral (basa) ion kromat stabil, sedangkan jika diasamkan, akan terdapat terutama ion-ion dikromat (Setiono, 1990).

Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya, logam atau ion-ion khromium yang telah membentuk senyawa, mempunyai sifat-sifat yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr^{2+} akan bersifat basa, dari ion logam Cr^{3+} akan bersifat ampoter, dan dari ion logam Cr^{6+} akan bersifat asam (Palar, 2004). Adapun bentuk-bentuk penurunan dari ion-ion logam :

Tabel. 2.4 Bentuk Penurunan Ion Logam Khrom

Oksida	Formula	Bentuk ion
Khrom (II) oksida	CrO	Cr^{2+}
Khrom (III) oksida	Cr_2O_3	Cr^{3+}
		$\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ (khromit)
Khrom (VI) oksida	CrO_3	CrO_4^{2-} (khromat)
		$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dikromat)

(Sumber: Setiono, 1990)



Gambar. 2.1 Struktur Sel Khrom

Kontaminasi logam khrom (Cr) bisa terjadi melalui :

a. Penghisapan udara tercemar

Dengan menghisap udara tercemari khrom akan mengakibatkan peradangan dan kanker paru-paru. Di Amerika kasus-kasus menyebabkan kematian sebesar 4 kali angka kematian dari kasus yang serupa.

b. Kontak langsung

Bisul merupakan salah satu ciri luka yang diakibatkan oleh kontak dengan khrom pada kulit, dimana luka akan membengkak bernanah selama beberapa minggu. Selain itu karakter luka akibat kontak dengan khrom dapat pula berupa luka pada hidung, lalu merambat ke selaput lender dan pembengkakan pada saluran pernafasan.

c. Makanan dan minuman

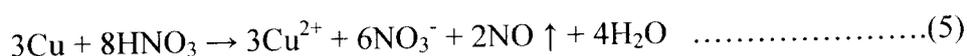
Khrom yang masuk ke dalam tubuh melalui air minum akan tertumpuk di liver, limfa dan ginjal secara bersama. Dan dalam waktu yang panjang akan

mengendap dan menimbulkan kanker. Selain itu khrom dapat dengan cepat tersebar ke dalam pembuluh darah.

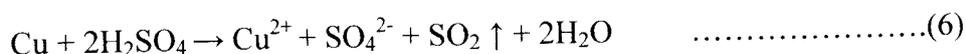
2.5.3 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam merah muda yang lunak, merupakan penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Unsur tembaga di alam, dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Sebenarnya Cu diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia. Tetapi, dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala ginjal, hati, muntaber, pusing kepala, lemah, anemia, kramp, shock, coma, dan dapat meninggal. Dalam dosis rendah menimbulkan rasa kesat, warna, dan korosi pada pipa dan peralatan dapur.

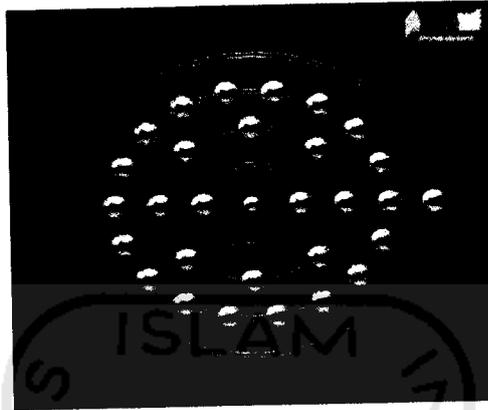
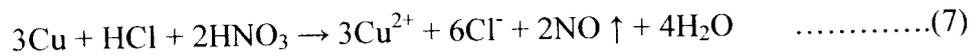
Sifat-sifat tembaga yakni lunak mudah dibentuk, melebur pada suhu 1038°C. Mempunyai dua jenis ion yang dapat membentuk kompleksion-kompleksion yang sangat stabil. (Palar, H, 2004) Logam Cu dan beberapa bentuk persenyawaannya, seperti CuO, CuCO₃, Cu(OH)₂, dan Cu(CN)₂ tidak dapat larut dalam air dingin atau panas, tetapi mereka dapat dilarutkan dalam asam. Logam Cu itu sendiri, dapat dilarutkan dalam senyawa asam sulfat (H₂SO₄) panas dan dalam larutan basa NH₄OH.



Asam sulfat pekat panas juga melarutkan tembaga :



Tembaga mudah juga larut dalam air raja :



Gambar. 2.2 Struktur Sel Tembaga

Logam berat Cu digolongkan ke dalam logam berat dipentingkan atau logam berat essential, artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun, unsur logam ini sangat dibutuhkan tubuh meski sedikit. Toksisitas yang dimiliki oleh Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai toleransi organisme tersebut.

Tembaga berperan khususnya dalam beberapa kegiatan enzim pernafasan sebagai enzim tirosinase dan sitokrom oksidase. Tembaga juga diperlukan dalam proses pertumbuhan sel-sel darah merah yang masih muda, bila kekurangan tembaga, sel darah merah yang dihasilkan akan berkurang.

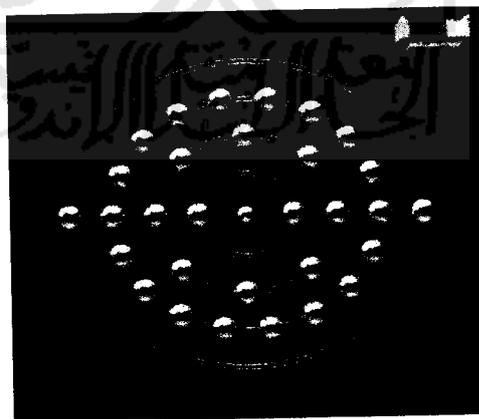
2.5.4 Seng (Zn)

Seng (Zn) adalah logam yang putih kebiruan, merupakan merupakan metal yang mudah didapat antara lain pada industri alloy, keramik, kosmetik, pigmen, dan karet. Seng juga dibutuhkan oleh tubuh antara lain darah, hati, pancreas, ginjal, untuk proses metabolisme.

Sifat-sifat seng (Zn) antara lain mudah ditempa dan liat pada 110-150°C, melebur pada 410°C, dan mendidih pada 906°C. Logamnya yang murni, melarut lambat dalam suasana asam dan alkali. Dengan adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, akan mempercepat reaksi. Seng sangat mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hidrogen :



Pelarutan akan terjadi dalam asam nitrat yang encer sekali.



Gambar. 2.3 Struktur Sel Seng

Zn termasuk jenis logam berat yang sangat toksik, mudah larut serta relatif sering ditemukan di lingkungan. Dapat masuk ke dalam tubuh melalui mulut,

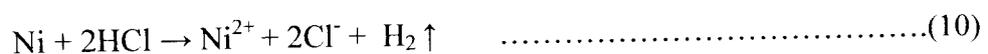
hidung, atau terserap lewat kulit. Setelah masuk tubuh, logam tersebut akan mengalir bersama aliran darah dan beredar ke seluruh tubuh. Hal ini kemungkinan akan mengganggu fungsi darah di dalam hati.

2.5.5 Nikel (Ni)

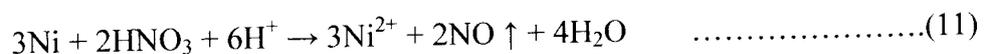
Nikel (Ni) adalah logam putih perak yang keras. Bersifat liat, dapat ditempa dan sangat kukuh. Logam ini melebur pada 1455°C, dan bersifat sedikit magnetis (Setiono, 1990). Biasanya nikel terdapat bersama besi dan kobalt.

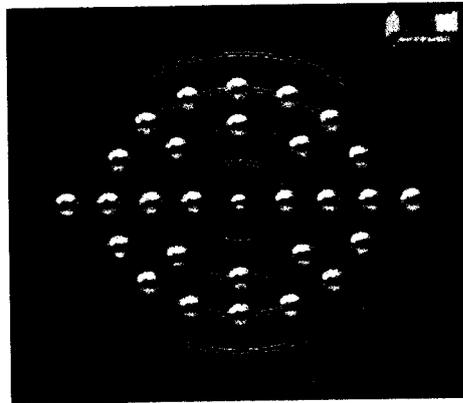
Nikel banyak digunakan untuk pembuatan uang logam, baterai, bahan elektronika, alat laboratorium, prosesi makanan, alloy baja, dan stainless steel. Nikel banyak ditemukan dalam sayur-sayuran, kacang-kacangan, dan biji-bijian. Jika unsur nikel terdapat dalam tubuh manusia jumlahnya melebihi 10 mg sudah cukup mengganggu tubuh. Bila terkena atau keracunan nikel akibat yang timbul kebanyakan adalah dermatitis, terutama bila langsung kontak dengan nikel misalnya memegang uang logam atau perhiasan dari nikel.

Asam klorida (encer maupun pekat) dan asam sulfat encer, mampu melarutkan nikel dengan membentuk hidrogen :



Reaksi-reaksi ini dipercepat jika larutan dipanaskan. Asam nitrat encer dan pekat melarutkan nikel dengan mudah dalam keadaan dingin :





Gambar. 2.4 Struktur Sel Nikel

Senyawa nikel yang paling toksik adalah Nikel Karbonil, ini merupakan hasil reaksi nikel atau senyawanya dengan karbon monoksida. Keracunan nikel dapat terjadi dalam tiga bentuk, yaitu :

1. Kontak langsung dengan larutan garam nikel, ini terjadi pada daerah pengolahan/peleburan biji besi atau galvanisasi, dapat menyebabkan dermatitis.
2. Menghirup persenyawaan Ni-karbonil yang merupakan gas beracun, menimbulkan Bronchopneumonia, Hemorrhagika hingga kematian.
3. Menghirup debu Nikel, ini akan menimbulkan tumor ganas (kanker) pada paru-paru.

2.5.6 Timbal (Pb)

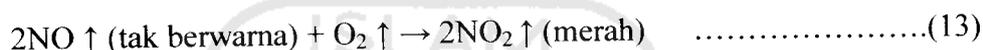
Timbal (Pb) adalah logam yang berwarna abu-abu kebiruan. Selain dalam bentuk logam murni, timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa anorganik dan organik. Bentuk organik seperti tetra etil-Pb dan tetra metil-Pb (TEL &

TML), menyebabkan pengaruh toksisitas yang sama, tetapi agak berbeda dengan bentuk senyawa inorganik-Pb.

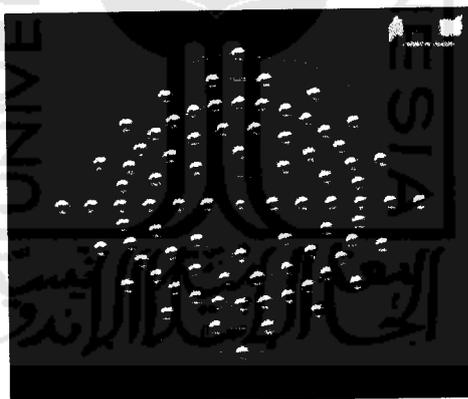
Timbal (Pb) mempunyai sifat mudah melarut dalam asam nitrat yang sedang pekatnya (8M), dan terbentuk juga nitrogen oksida :



Gas nitrogen (II) oksida yang tak berwarna, bila tercampur dengan udara, akan teroksidasi menjadi nitrogen dioksida yang merah :



Dengan asam nitrat pekat, terbentuk lapisan pelindung berupa timbal nitrat pada permukaan logam, yang mencegah pelarutan lebih lanjut (Setiono, 1990).



Gambar. 2.5 Struktur Sel Timbal

Pada zaman dahulu Pb banyak digunakan sebagai konstituen di dalam cat, baterai, dan saat ini banyak digunakan dalam bensin. Pb organik (TEL) sengaja ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan nilai oktan (Soemirat,1994). Kandungan toksisitas Pb masih cukup tinggi, baik dalam industri keramik, tanah liat, dan cat (Darmono, 2001).

2.6 Lindi/Leachate

Adalah cairan yang keluar dari suatu padatan 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 sampah 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*.

TCLP menjadi bagian dari aturan karakteristik toksisitas. Toksisitas adalah satu dari empat karakteristik yang digunakan untuk menentukan jika suatu limbah padat, tidak termasuk limbah berbahaya, atau digolongkan sebagai limbah berbahaya. Tiga karakteristik yang lain adalah ignitabilas, korosivas, dan kereaktifan. Prosedur karakteristik toksisitas pelepasan/lindi ditempatkan; terletak



di : Uji metoda untuk mengevaluasi limbah padat, SW-846 metoda 1311, july 1992.

Metode TCLP untuk menilai resiko karakteristik toksisitas limbah berbahaya yang berada dengan sampah didalam *landfill* pada air tanah. TCLP terdiri atas empat prosedur pokok:

- sampel persiapan untuk melepaskan (*leaching*)
- sampel melepaskan (*leaching*)
- persiapan *leachate* untuk analisa
- analisa *leachate*

TCLP dirancang untuk menentukan mobilitas kedua-duanya baik unsur anorganik dan organik yang berada di cairan, padat, dan contoh lainnya. Berikut pengambilan/penyaringan cairan ekstrak terpisah dari fasa-padat dengan melalui saringan berukuran 0,7 mikron. Jika dapat dipertukarkan (berbagai tahap tidak akan membentuk pada penggabungan-ulang), air saringan cairan awal dari contoh ditambahkan kepada cairan ekstrak dan cairan yang dikombinasikan (ekstrak TCLP) diproses bersama-sama. Jika tidak cocok/bertentangan, cairan diproses secara terpisah dan hasil dikombinasikan secara matematik untuk menghasilkan suatu konsentrasi berat volume rata-rata.

Tes TCLP tidak bisa memprediksikan potensi untuk bahan-kimia beracun untuk melepaskan lindi dari barang sisa berminyak sampai ke tanah untuk mencemari air tanah.

2.7 Kuat Lentur Genteng Beton

Pada penampang balok dilakukan pengujian regangan, tegangan, dan gaya-gaya yang timbul akibat menahan momen batas, yaitu momen akibat beban luar yang timbul tepat pada saat terjadi hancur. Momen ini mencerminkan kekuatan dan di masa lalu disebut sebagai kuat lentur ultimit balok. Kuat lentur suatu balok beton tersedia karena berlangsungnya mekanisme *tegangan-tegangan dalam* yang timbul di dalam balok yang pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh *gaya-gaya dalam* (Dipohusodo, 1994).

Rumus :

$$\sigma = \frac{(M \times Y)}{I} \dots\dots\dots(14)$$

$$M = \frac{1}{4} P \times L \dots\dots\dots(15)$$

$$Y = \frac{1}{2} \times h \dots\dots\dots(16)$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times (h)^3 \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

- σ = Tegangan Ijin
- M = Momen
- I = Inersia
- Y = Tinggi momen
- P = Beban Patah (Hasil Uji)
- L = Panjang Benda Uji
- h = Tinggi Benda Uji

2.8 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka ataupun landasan teori, maka dapat dibuat suatu hipotesa sebagai berikut :

1. Limbah katalis RCC-15 PT. Pertamina unit (UP) VI Balongan dapat dipergunakan untuk mensubstitusikan semen dalam pembuatan genteng beton.
2. Solidifikasi limbah katalis RCC-15 PT. Pertamina unit (UP) VI Balongan dengan pembuatan genteng beton tidak hanya terjadi pengikatan hidrolis tetapi juga mampu mengikat logam-logam berat yang kemungkinan terlepas di lingkungan.
3. Genteng beton yang terbentuk dapat memenuhi standar SNI bahan bangunan.

