

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Limbah

Limbah adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan. Limbah merupakan sesuatu benda yang mengandung zat yang bersifat membahayakan atau tidak membahayakan kehidupan manusia, hewan serta lingkungan, dan umumnya muncul karena hasil perbuatan manusia, termasuk industrialisasi. (UU RI.No.23/97,1997 pasal 1)

Secara umum limbah dibagi dua, yaitu :

- Limbah ekonomis, yaitu limbah yang dapat dijadikan produk sekunder untuk produk yang lain dan atau dapat mengurangi pembelian bahan baku.
- Limbah non ekonomis, yaitu limbah yang dapat merugikan dan membahayakan serta menimbulkan pencemaran lingkungan.

2.2 Limbah Industri Minyak dan Gas (Migas)

Limbah industri adalah sisa hasil buangan yang berasal dari industri sebagai akibat proses produksi. Limbah industri merupakan materi atau energi yang tidak berguna lagi dalam proses atau teknologi yang dipilih, seperti limbah pada umumnya maka limbah industri dapat berwujud, (SK Gubernur Jawa Barat No.660.31/SK/624/BKPD/82).

- a. Limbah padat
- b. Limbah cair
- c. Limbah gas

2.2.1 Limbah Padat

Limbah padat adalah semua limbah yang dihasilkan dari aktifitas manusia dan binatang yang berbentuk padat, tidak berguna dan tidak dimanfaatkan atau tidak diinginkan atau dapat didefinisikan sebagai suatu massa heterogen yang dibuang dari aktifitas penduduk, komersial dan industri.

Limbah ini dapat berupa bangunan padat seperti lumpur, sisa-sisa logam, bekas-bekas kemasan, kerak, sisa katalis dan lain-lain. Limbah padat umumnya dapat dimanfaatkan oleh masyarakat atau industri lain tetapi banyak pula yang tidak mungkin dimanfaatkan sehingga perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut.

❖ Karakteristik Limbah Padat

Karakteristik limbah padat adalah berbentuk padat, tidak berguna dan tidak diinginkan, dan konsep pengolahannya yaitu dengan usaha meminimalkan efek kerugian pada lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan limbah padat terutama limbah yang berbahaya.

❖ Sifat Fisik Limbah Padat

Sifat fisik limbah padat yaitu jenis komponennya dan prosentase masing-masing ukuran partikel, kandungan campurannya dan berat tiap komponen dari campuran.

❖ Sifat Kimia Limbah Padat

Sifat kimia limbah padat yaitu analisa rata-rata mengenai campuran, kemudian menguap setelah pembakaran, sisa setelah pembakaran dan sisa karbon yang ada penggabungan abu jumlah prosentase karbon, oksigen, nitrogen, sulfur, dan abu serta nilai kalor.

Limbah industri ini dapat dihasilkan dari sumber yang berbeda, seperti :

1. Material bekas (*Spent Material*) limbah yang dihasilkan tanpa melalui proses.
2. Produk sampingan (*By Product*) material yang dihasilkan dari proses yang spesifik dan menghasilkan produk yang tidak dilakukan proses lebih lanjut.
3. *Treatment Sludge* hasil dari pengolahan air limbah, kontrol emisi udara atau dari pengolahan atau dari limbah bahan berbahaya beracun (B3).
4. *Comersial Chemical product*, produk yang kemudian menjadi limbah setelah mengalami hal berikut :
 - a) Kecelakaan pada tumpahan atau bocornya bahan baku sehingga mencemari lingkungan khususnya tanah.
 - b) Residu dari bekas alat penyimpanan bahan yang berbahaya.
 - c) Pembersihan peralatan, misalnya penggunaan bahan kimia pembersih seperti alkalis, yang merupakan bahan berbahaya.
 - d) Produk yang *off spec* karena kegagalan proses.

2.3 Definisi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah B3 adalah limbah sisa dan atau suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya beracun yang karena sifat dan konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun secara tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup dan atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup yang lain. (PP No.18 thn1999 pasal 1).

Limbah B3 adalah limbah atau bahan yang berbahaya, karena jumlahnya, konsentrasi atau sifat-sifat fisika, kimia dapat menyebabkan atau secara signifikan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan penyakit, kematian dan berbahaya bagi kesehatan manusia atau lingkungan jika tidak benar-benar diolah atau dikelola, disimpan, dibawa atau dibuang (*Resource Conservation And Recovery Act 1976*).

2.3.1 Identifikasi Limbah Berdasarkan Karakteristik

Untuk 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). Di samping itu disebutkan pula bahwa yang termasuk B3 adalah limbah yang memenuhi salah satu atau lebih klasifikasi di bawah ini (pasal 4):

a. Mudah Meledak (*explosive*)

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

b. Mudah Terbakar

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

c. Beracun (*moderately toxic*)

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 atau sama dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah atau instansi yang lain.

d. 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.

e. Korosif (*corrosive*)

Limbah yang bersifat korosif, yaitu limbah yang menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit atau mengkorosi baja. Limbah ini mempunyai pH sama atau kurang dari 2,0, untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa.

f. Bersifat Infeksi

Limbah yang menyebabkan infeksi, yaitu bagian tubuh yang diamputasi dan cairan dari tubuh manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lainnya karena mengandung kuman penyakit seperti hepatitis dan kolera yang ditularkan pada pekerja, pembersih jalan, dan masyarakat di sekitar lokasi pembuangan limbah.

Efek kronis limbah B3 secara umum pada manusia adalah :

1. Karsinogenik (*carcinogenic*), pendorong terjadinya kanker
2. Teratogenik (*teratogenic*), pendorong terjadinya cacat bawaan.
3. Mutagenik (*mutagenic*), pendorong mutasi sel tubuh.
4. Kerusakan Sistem Reproduksi.

2.3.2 Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan limbah B3 adalah rangkaian kegiatan yang mencakup reduksi, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan dan penimbunan limbah B3. Pengelolaan ini bertujuan untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup yang

diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang telah tercemar.(PP No.18 THN 1999 Pasal 2).

2.3.3 Pendekatan Kimia Fisik Dalam Penelitian Limbah B3

Pendekatan kimia fisik bertujuan mengetahui sifat-sifat limbah dan komposisi kimia limbah. Pada dasarnya penentuan sifat fisik dan kimia suatu limbah adalah sifat *intrinsik* yang dimiliki limbah tersebut. Pendekatan yang lebih kompleks namun masih dikategorikan pendekatan kimia fisik adalah pemodelan transport, transformasi dan simulasi kondisi tertentu. Contoh pemodelan yang banyak dilakukan dalam kaitannya dengan potensi migrasi suatu pencemar adalah pemodelan transport melalui air tanah. Contoh simulasi pada laboratorium adalah uji TCLP, yang menstimulasi skenario terburuk yang mungkin terjadi pada limbah.

2.3.4 Pendekatan Komprehensif Dalam Penelitian Limbah B3

Penggabungan antara pendekatan kimia fisik dan biologi, menghasilkan suatu pendekatan yang komprehensif yang diwujudkan lewat penelitian analisis resiko (*risk assessment*). Tujuan *risk assessment* adalah untuk menyediakan suatu dasar yang terkuantitatif dalam pengambilan keputusan, bagaimana suatu limbah atau zat harus dikelola. Adapun langkah-langkah penting dalam melakukan *risk assessment* adalah :

- *Hazard identification* : menjawab apakah saja zat pencemar berbahaya yang ada di lapangan atau fasilitas, serta bagaimana karakteristiknya, langkah ini juga disebut *Source Analysis*.
- *Exposure assessment* : meneliti potensial migrasi pencemar ke reseptor dan tingkat *intake*, langkah ini juga disebut *Parthway Analysis*.
- *Toxicity assessment* : menentukan indeks-indeks toksisitas yang diterima reseptor, langkah ini disebut juga *Receptor Analisis*.
- *Risk Characterisation* : menentukan besarnya *risk* yang diterima oleh reseptor, seperti satu diantara satu juta (1×10^{-6}).

2.4 Spent Catalyst

Katalis adalah suatu bahan yang dipergunakan untuk mempercepat reaksi pada saat proses perengkahan (*cracking*). Pada akhir proses, katalis ini akan dikeluarkan berupa limbah,. Limbah tersebut berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai produk bahan bangunan. Namun pemanfaatan daur ulang tersebut harus hati-hati karena di dalamnya terkandung kadar logam berat yang cukup tinggi yang bila terhisap atau dikonsumsi oleh makhluk hidup dapat membahayakan. 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. (Yuniar Widiarini, Nani Djuangsih dan Tintin Hartati P.)

Limbah katalis ini digunakan pada salah satu kilang minyak yang dilengkapi dengan RCC sebagai bahan bantu 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*).

2.4.1 Karakteristik *Spent Catalyst*

Pada penelitian ini digunakan limbah katalis dari unit 15 RCC Pertamina UP VI Balongan. Adapun susunan kimia limbah katalis adalah $\text{NaAlSiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan struktur regular yang merupakan hasil dari proses RCC (*Residue Catalic Cracker*). Limbah katalis yang digunakan pada RCC ini adalah jenis yang mengandung unsur-unsur oksida silika dan alumina. Selain itu, di dalamnya juga mengandung unsur-unsur lainnya, seperti : *Sodium*, *Calcium*, *Magnesium*. Sedangkan logam berat (sifat fisik dan kimia berbahaya) adalah Ni, As, serta logam berat lainnya yang mudah larut. Sebagian besar unsur-unsur penyusun dari *zeolit kristalin* merupakan sebagai bahan dasar bangunan seperti : *alumina*, *silica*, *calcium*.

Dengan penambahan limbah katalis ini akan mengakibatkan bertambahnya jumlah kandungan alumina dalam semen, bilamana di dalam semen terdapat senyawa alumina berkadar tinggi dan *silica* pada kadar rendah maka semen akan mengikat dengan cepat dan kekuatan tinggi. Sedangkan sifat-sifat pada limbah katalis jenis *zeolit kristalin* adalah mempunyai kapasitas adsorpsi yang tinggi. (Murdock dan Brook, 1994)

2.4.2 Hasil *risk assessment* US EPA Terhadap *Spent Catalyst*

US EPA membagi katalis perengkahan kedalam dua bagian, yaitu : *equilibrium spent catalyst* dan *catalyst fines*. *Equilibrium spent catalyst* senantiasa dikeluarkan dari reaktor (harian maupun mingguan) dan digantikan dengan *fresh catalyst* untuk mempertahankannya target aktivitas dan total metal. *Catalyst fines* adalah katalis yang terdapat pada alat – alat pengontrol polusi udara, secara fisik keduanya berbeda dalam hal ukuran partikel, lebih dari 70 % *equilibrium spent catalyst* digunakan kembali, sementara itu 15 % *catalyst fines* di *recycled*.

US EPA memilih model monofill dan penghamparan dipermukaan untuk limbah ini karena pengelolaanya hanya dilakukan penumpukan *spent catalyst* yang dinamakan *landfill katalis*, US EPA percaya bahwa pengelolaan seperti ini memiliki resiko paling besar karena limbah tersebut tidak dicampur atau diencerkan dan ditempetkan dalam tempat yang tidak dilapisi (*unlined pit*).

Mengenai *spent catalyst* yang secara legal diizinkan penggunaannya dalam industri semen. US EPA tidak melakukan pengembangan model resiko (*risk assessment*) berhubungan dengan pemanfaatan *spent catalyst* pada industri. Namun US EPA meyakini senyawa-senyawa berbahaya berkadar rendah dalam katalis tidak akan memberikan resiko yang berarti. penggunaan *spent catalyst* perekahan dalam semen akan menyebabkan immobilisasi logam-logam berat sebagai reaksi dengan CaO pada suhu tinggi.

2.4.3 Logam Berat *Spent Catalyst*

a. Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) mempunyai nomor atom (NA) 29 dan massa atom 63.546 termasuk dalam golongan I B. Cu sebetulnya diperlukan bagi perkembangan tubuh manusia. Tetapi dalam dosis tinggi dapat menyebabkan gejala GI, SSP, GINJAL, HATI ; muntaber, pusing kepala, lemah anemia, kram, *konvulsi, shock, coma*, dan dapat meninggal. Dalam dosis rendah menimbulkan rasa kesat, warna, dan korosi pada pipa, sambungan, dan peralatan dapur.

b. Khromium (Cr)

Khromium (Cr) adalah metal kelabu yang keras, dengan NA 24 dan massa atom 51.996. Cr banyak ditemukan pada limbah-limbah industri besar seperti terdapat pada industri gelas, metal, fotografi, *electroplating* dan juga terdapat pada *spent catalyst* RCC proses penyulingan minyak bumi. Logam Cr dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik pada strata perairan, tanah maupun udara (lapisan atmosfer). Logam Cr yang masuk ke dalam strata lingkungan datang dari berbagai sumber, tetapi yang paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta mobilisasi bahan bakar. Khromium sendiri sebetulnya 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. Di dalam paru-paru, Cr ini dapat menimbulkan kanker.

c. Timbal (Pb)

Timbal atau plumbum (Pb) adalah metal kehitaman, dengan NA 82 dan massa atom 207.2 termasuk golongan IVA dahulu digunakan sebagai konstituen di dalam cat, baterai, dan saat ini banyak digunakan dalam bensin. Pb organik (TEL = *tetra ethyl lead*) sengaja ditambahkan ke dalam bensin untuk meningkatkan nilai oktan. Pb adalah racun *sitemik*. Keracunan Pb akan menimbulkan gejala ; rasa logam di mulut, garis hitam pada gusi, gangguan GI, *anorexia*, muntah-muntah, kolik, *encephalitis*, *wrist drop*, *irritabel*, perubahan kepribadian, kelumpuhan dan kebutaan, dan lain-lain.

d. Seng (Zn)

Seng (Zn) adalah metal yang didapat antara lain pada industri alloy, keramik, pigmen, karet, dll. Seng NA 30 dan massa atom 65.38. Toksisitas Zn pada hakekatnya rendah. Tubuh memerlukan Zn untuk proses metabolisme, tetapi dalam kadar tinggi dapat bersifat racun. Di dalam air minum dapat menimbulkan rasa kesat, dan dapat menimbulkan gejala muntaber. Seng menyebabkan warna air menjadi opalescent, dan bila dimasak akan timbul endapan seperti pasir.

e. Nikel (Ni)

Adalah logam berat yang banyak terdapat pada *spent catalyst*. Ni mempunyai NA 28, massa atom 58.70 dan termasuk dalam golongan VIII. Dengan kegunaan utama nikel adalah *unsure alloy* besi maupun non besi. Senyawa Nikel terdapat pada limbah katalis proses perengkahan minyak bumi dari UP.VI Balongan Indramayu Jawa Barat, termasuk kategori limbah B3, dengan kadar logam nikel antara 14720-14800 mg/kg. (Acceng Subagja, 2003).

Di bawah ini adalah kandungan dari *spent catalyst* dan beberapa logam berat yang dikategorikan *toxic* yang terkandung di dalam limbah padat.

Tabel 2.1 Hasil Pengukuran Komposisi Kimia *Spent* dan *Fresh Catalysts*

			1996	1997	2000	2005	Metode
Parameter	Satuan	Limit deteksi	<i>Spent Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst</i>	<i>Spent Catalyst</i>	
SiO ₂	%	N/A	62.7	67,09	47,13	64,06	F-AAS
Al ₂ O ₃	%	N/A	32.45	29,38	45,34	30,76	F-AAS
Fe ₂ O ₃	%	0.03	1.02	0,84	0,61	69,38	F-AAS
CaO	%	0.01	0.04	0,01	0,16	0,52	F-AAS
Cr	mg/kg	0.05	68	68,42	165,5	60,8	F-AAS
Cu	mg/kg	0.02	167.5	200	21	31,4	F-AAS
Pb	mg/kg	0.1	tt	900	67,5	35,25	F-AAS
Zn	mg/kg	0.005	28	500	105	123,8	F-AAS
Ni	mg/kg	0.04	8638	11.000	14.760	12.750	F-AAS

Keterangan : N/A : Data tidak tersedia

(Sumber : PERTAMINA - Lembaga Penelitian, UNPAD dan Data Primer, 2005)

2.4.4 Studi Tentang *Spent Catalyst*

Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa *spent catalyst* RCC UP VI Balongan, terdiri dari oksida *silika*, *alumina*, *ferro* dll, yang bersifat seperti semen portland yang mengakibatkan terjadi reaksi antara silikat dengan kapur padam yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen portland, sehingga dapat digunakan sebagai *mineral Admixture* beton.

Identifikasi sifat aktif pozolan dengan metode ASTM C.311, ternyata limbah katalis bersifat pozolan dengan indeks aktivitas kekuatan tekan sebesar 86% pemanfaatannya sebagai bahan tambahan pada mortar. Didapat proporsi substitusi optimal sebesar 10% dengan penambahan kekuatan tekan sebesar 10,5% dibandingkan kontrol (tanpa penambahan limbah katalis). Sedangkan pemanfaatannya sebagai bahan tambah pada beton, dengan substitusi 10% terhadap beton segar, menurunkan berat/volume beton menjadi 99,7%, menambah waktu pemadatan beton 150%, sedangkan terhadap beton keras pada umur 28 hari, menambah kekuatan tekan 115,1%, menambah elastisitas menjadi 103%, menurunkan koefisien permeabilitas menjadi 76,8% dan menurunkan kehilangan berat akibat pengaruh lingkungan menjadi 92,4%. Pemanfaatan limbah katalis RCC sebagai bahan tambahan dalam mortar dan beton dengan substitusi 10% masing-masing menurunkan *leaching* Ni menjadi 0,15 mg/l (teoritis). Hasil ini menunjukkan bahwa beton mempunyai fungsi ganda dalam pengelolaan limbah B3. (Aceng Subagja, 2003).

Secara garis besar penelitian dibagi menjadi dua kajian yaitu kajian teknis dan kajian keamanan lingkungan, untuk kajian teknis dilakukan pemanfaatan *spent catalyst* sebagai *mineral Admixture* beton. Untuk kajian lingkungan meliputi kajian perlindungan logam berat dengan uji TCLP dan uji hayati LC50. (Lembaga Penelitian UNPAD).

2.5 Solidifikasi - Stabilisasi

2.5.1 Solidifikasi

Secara umum proses pengolahan limbah industri dengan metode atau teknologi yang ada pada saat ini tidak terlepas dari hukum termodinamika yang menyatakan bahwa suatu zat tidak dapat dihilangkan atau dimusnahkan, melainkan hanya berupa sifat/jenis dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya.

Istilah solidifikasi dikenal pada pengolahan padat, yaitu suatu metode untuk mengubah limbah yang berbentuk padatan halus menjadi padat dengan menambahkan bahan pengikat (binder). Tujuannya adalah untuk mengubah limbah yang bersifat berbahaya menjadi tidak berbahaya karena permeabilitasnya berkurang dan kekuatan fisiknya meningkat, sehingga mudah diangkut dan disimpan/ditimbun. Metode ini dilatar belakangi dari suatu kenyataan bahwa bahan yang berbahaya dan beracun tingkat bahayanya paling tinggi bila berbentuk gas dan paling rendah bila berbentuk padat (Connor, R.J., 1990).

Teknik solidifikasi yang sekarang banyak digunakan diantaranya fiksasi dan kapsulisasi (pengkapsulan). Pada teknik fiksasi, partikel-partikel limbah diikat secara fisik dan kimia oleh bahan pengikat (binder) yang mengeras. Sedangkan teknik kapsulisasi, limbah diselimuti oleh bahan pengikat yang mengeras dibagian luar. Bahan pengikat yang sering digunakan adalah semen/bahan pengikat hidrolik lainnya, kapur dan senyawa silikat.

Proses solidifikasi pada prinsipnya adalah proses kombinasi antara limbah (B3 atau tidak) dengan bahan-bahan aditif yang mempunyai sifat saling mengikat/melekat dan secara fisik dapat mengerasakan limbah tersebut. Dengan

demikian limbah tersebut lebih tahan terhadap proses (*leaching*) atau pun bila terjadi proses *leaching* senyawa B3 lebih lambat dan rendah konsentrasinya, sehingga tidak membahayakan lingkungan dibandingkan dengan tanpa pengelolaan.

Proses pengolahan secara stabilisasi/solidifikasi bertujuan untuk mengubah sifat fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat B3 agar pergerakan senyawa B3 ini terhambat atau terbatas dan membentuk massa monolit dengan struktur yang kekar. Sedangkan proses pengolahan secara *incineration* bertujuan untuk menghancurkan senyawa B3 yang terkandung di dalamnya menjadi senyawa yang tidak mengandung B3 (Persyaratan limbah B3).

2.5.2 Tata cara kerja stabilisasi/solidifikasi :

Untuk mengetahui bagaimana proses atau tata cara proses stabilisasi/solidifikasi maka harus diperhatikan hal-hal berikut ini :

1. Limbah B3 sebelum distabilisasi/solidifikasi harus dianalisa karakteristiknya guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3 tersebut.
2. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, selanjutnya terhadap hasil olahan tersebut dilakukan uji TCLP untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*). Hasil uji TCLP sebagaimana dimaksud, kadarnya tidak boleh melewati nilai ambang batas sebagaimana yang telah ditetapkan.

3. Terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*) dengan "*Soil Penetrometer Test*", dengan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos uji "*Paint Filter test*".
4. Limbah B3 olahan yang memenuhi persyaratan kadar TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes *paint filter test*, selanjutnya harus ditimbun ditempat penimbunan (*landfill*) yang ditetapkan pemerintah atau yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan. (PP No.18.1999)

2.5.3 Stabilisasi

Stabilisasi adalah proses penanganan limbah berbahaya yaitu mencampur limbah dengan bahan atau *aditif* atau *reagen* kimia untuk mengurangi sifat bahaya limbah, sehingga dapat :

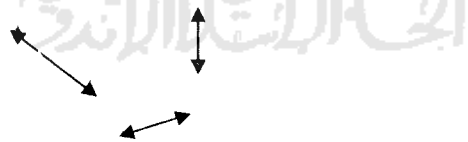
- Meningkatkan karakteristik fisik dan penanganan limbah.
- Mengurangi luas permukaan sehingga kontaminan yang lolos menjadi lebih sedikit.
- Membatasi kelarutan pencemar.
- Mereduksi toksisitas.

Jadi stabilisasi pada prinsipnya adalah mengurangi mobilitas bahan pencemar dalam limbah. Proses stabilisasi secara umum dilakukan dengan mengubah *sludge* menjadi bentuk yang kompak, tidak berbau dan tidak mengandung mikroorganisme yang mengganggu kesehatan serta bahan-bahan pencemar yang berada di dalamnya tidak mudah mengalami perliindian (*leached*).

Proses stabilisasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan mencampur dengan tanah liat yang dilanjutkan dengan pembakaran seperti pernah dilakukan di Afrika Selatan, dicampur dengan semen dan bahan lainnya sehingga bahan pencemar di dalamnya menjadi lebih stabil (JA. Slim and Wakefield, 1991).

2.6 Paving Blok Limbah Industri

Paving blok/bata beton adalah suatu bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu dari paving blok tersebut (SNI 03-0691-1996). Paving blok adalah adukan kering yang dibuat dengan cara pemadatan dan tersusun dari campuran pasir dan semen Portland (Heinz Frick, Ch. Koemartadi, 1999). contoh unit paving blok seperti pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Model Paving Blok yang digunakan

Campuran dari agregat halus, air dan semen saja disebut adukan atau mortar (PUBI, 1982). Berdasarkan bahan susunnya paving blok termasuk golongan adukan (mortar). Pencampuran dan pemakaian jenis bahan susun serta

komposisi yang berbeda akan menghasilkan paving blok yang bervariasi kuat desaknya. Pada umumnya paving blok yang digunakan di Indonesia pada setiap tempat mempunyai karakteristik kekuatan desak sebesar 300 kg/cm^2 kecuali untuk area lalu lintas berat, dimana standar kekuatannya adalah 450 kg/cm^2 (Pino Iskandar, 1984).

Bentuk paving blok/bata beton harus sempurna dalam arti tidak terdapat retak-retak dan cacat, bagian sudut dan rusuknya tidak mudah diremukkan dengan kekuatan jari tangan. Bentuk dan ukuran paving blok bervariasi tergantung selera konsumen, namun secara umum ada 4 – 5 bentuk yang beredar di pasaran seperti bentuk empat persegi panjang, bentuk huruf S, bentuk huruf I, bentuk *hexagonal* (segi enam) dan bentuk segi tiga. Ketebalannya pun bervariasi tetapi setiap produsen harus dapat memberikan penjelasan yang jelas kepada konsumen berapa ketebalan paving blok yang dibuat. Penyimpangan dimensi ukuran yang dapat ditolerir menurut SNI 03-0691-1996 sampai $\pm 8\%$. Ada 4 kelas mutu paving blok seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Standar Kuat Tekan Paving Blok

Mutu Paving Blok	Kuat Tekan (Kg/cm^2)		Kegunaan
	Rata-rata	Minimal	
A	400	350	Untuk Jalan
B	200	170	Untuk pelataran parkir
C	150	125	Untuk pejalan kaki
D	100	85	Untuk taman dan penggunaan lain

(sumber : SNI 03-0691-1996)

2.7 Semen Portland

Semen portland adalah bahan pengikat hidraulik yang di campur batu agregat menjadi beton. Semen dibuat dengan cara mereaksikan lempung dan batu kapur pada suhu tinggi. Bubuk yang terjadi dikalsium dan trikalsium silikat, yang membentuk ikatan bersilika bila dicampur air. Bila semen ditambahkan air maka akan terjadi proses *takreversibel*. Sebagian air akan membentuk ikatan permanen, sisanya membentuk *slurry* yang dapat dituang/dibentuk (Anton. J Hartomo, 1996).

Secara umum semen dapat dikatakan sebagai material yang sangat halus yang mempunyai sifat adhesif maupun kohesif dan dapat mengikat butiran-butiran agregat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen yang dipakai dalam pembuatan beton disebut semen hidrolis.

Semen portland merupakan semen hidrolis berbentuk serbuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang mengandung kapur, silika, alumina dan kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah yang dibakar dengan suhu 1550 °C (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1992).

Semen portland dibuat dengan melalui beberapa langkah, sehingga sangat halus dan memiliki sifat adhesif dan kohesif. Semen portland diperoleh dengan membakar secara bersamaan suatu campuran yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping dan yang mengandung alumina dengan perbandingan tertentu. Setelah itu dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan.

Reaksi kimia antara semen portland dengan air menghasilkan senyawa-senyawa yang disertai dengan pelepasan panas. Kondisi ini mengandung resiko besar terhadap penyusutan kering beton dan kecendrungan retak pada beton. Reaksi semen dengan air dibedakan menjadi dua yaitu periode pengikatan dan periode pengerasan. Proses pengikatan adalah merupakan peralihan dari keadaan dari keadaan plastis keadaan keras, sedangkan pengerasan adalah penambahan kekuatan setelah proses pengikatan selesai.

Semen Portland sebagai penyusun beton mempunyai sifat sebagai berikut ini :

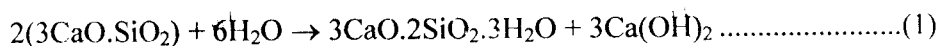
a. Susunan kimia

Ketika semen dicampur dengan air, timbul reaksi kimia antara unsur-unsur penyusun semen dengan air. Reaksi-reaksi ini menghasilkan bermacam-macam senyawa kimia yang menyebabkan terjadinya proses ikatan dan pengerasan. Ada empat oksida utama pada semen akan membentuk senyawa-senyawa kimia yaitu :

1) Trikalsium Silikat, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S). 50%

Sifatnya sama dengan sifat semen pada umumnya yaitu apabila ditambah dengan air senyawa ini akan mengeras dalam beberapa jam, dengan melepaskan panas. Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awalnya, terutama dalam 14 hari pertama.

Reaksi Trikalsium silikat dengan air :



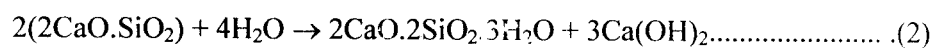
Trikalsium silikat

kapur bebas

2) Dikalsium silikat, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C2S). 25%

Senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, yang terjadi dari 14 sampai 28 hari dan seterusnya. Proporsi yang banyak dalam semen akan menyebabkan semen mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap agresi kimia yang relatif tinggi dan penyusutan kering yang relatif rendah.

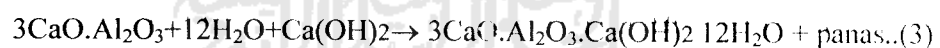
Reaksi Dikalsium silikat dengan air :



Dikalsium silikat ISLAM kapur bebas

3) Trikalsium Aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A). 12%

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai dengan pelepasan panas yang besar, menyebabkan pengerasan awal tetapi kurang kontribusinya pada kekuatan batas, kurang ketahanan terhadap agresi kimiawi, paling menonjol mengalami disintegrasi oleh sulfat air tanah dan sangat besar untuk oleh perubahan volume. Reaksi semen portland dalam beton dengan membentuk ikatan awal adalah :

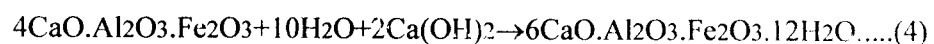


Trikalsium Aluminat UNIVERSITAS ISLAM Tetra Kalsium Aluminat hidrat

4) Tetra Kalsium Alumino ferite, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF). 8%

Senyawa ini tidak tampak berpengaruh terhadap kekuatan dan sifat-sifat semen keras lain. (Teknologi Beton, Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995)

Reaksi :

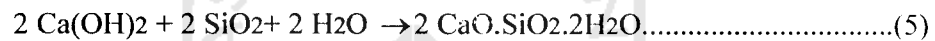


Tetra Kalsium Alumino ferite

Kalsium Alumino Ferit hidrat

Unsur-unsur $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ adalah bagian yang terpenting dalam semen hidrasi karena kedua unsur ini dengan adanya air merupakan pengikat pada proses hidrasi dan membentuk kalsium silikat hidrat atau C-S-H. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1995).

Dari persamaan reaksi diatas terlihat adanya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bebas, Dengan adanya *spent catalyst* dalam paving blok dengan campuran semen portland, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bebas akan diikat oleh Silikat yang terkandung di dalamnya, dengan reaksi sebagai berikut :



Reaksi Pozzolan

Dengan reaksi tersebut campuran beton menjadi lebih padat (*impermeable*) dan lebih kuat serta tahan sulfat

b. Hidrasi semen

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah keluar dan kedalam, maksudnya hidrasi mengendap dibagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 – 5 jam sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah. Pada tahap hidrasi berikutnya, pasta semen terdiri dari gel dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$, air dan beberapa senyawa lain.

c. Kekuatan pasta semen dan faktor air semen.

(pasir) sangat berperan dalam menentukan kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strenght*), dan tingkat keawetan (*durability*).

Agregat berdasarkan besar butiran dibedakan menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus adalah agregat dengan ukuran maksimum 4,75 mm, sedangkan agregat kasar adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari 4,75 mm. Agregat halus berupa pasir sedangkan agregat kasar dapat berupa kerikil atau batu pecah (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995).

Untuk mendapatkan mutu beton yang baik agregat yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan yaitu :

1. Agregat harus bersih dan tidak mengandung zat yang berbahaya terhadap beton, seperti :
 - Partikel lebih kecil dari 200 mesh
 - Zat organik
 - Garam-garam khlorida
 - Sulfat
2. Agregat harus keras
3. Agregat harus kekal (tidak mudah berubah bentuk)
4. Agregat tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali

2.9 Air

Air merupakan bahan dasar penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan untuk bahan antara agregat, agar dapat dengan mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang dibutuhkan

hanya 30% dari berat semen, tapi pada kenyataannya nilai faktor air semen yang dipakai sulit kurang dari 0,35. Kelebihan air dapat dipakai sebagai pelumas. Secara umum air akan dapat digunakan untuk pencampuran beton adalah air yang bila dipakai akan dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90%. Kekuatan beton yang menggunakan air suling. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995).

Menurut PUBI 1982, dalam pemakaian untuk adukan beton sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut.

- a) Tidak mengandung lumpur (benda-benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan lainnya) lebih dari 15 gram/liter.
- c) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.10 Lindi / Leachate

Leachate adalah suatu cairan yang mencakup semua komponen di dalamnya yang terkandung di dalam cairan tersebut sehingga cairan tersebut tersaring dari limbah yang berbahaya (EPA). Secara umum lindi/*leachate* adalah cairan yang keluar dari suatu cairan yang terkontaminasi oleh zat-zat pencemar yang ditimbulkan dari limbah yang mengalami proses pembusukan.

Perlindian 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*

2.11 Kuat Tekan Paving Blok

Kuat tekan paving blok adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji paving blok hancur bila dibebani gaya tekan tertentu. Kekuatan tekan paving blok terutama dipengaruhi oleh perbandingan air dan semennya. Semakin rendah perbandingan air dan semennya semakin tinggi kuat tekan kuat tekan paving blok.

Disamping itu kuat tekan paving blok juga dipengaruhi oleh hal sebagai berikut :

1. Sifat-sifat dari bahan pembentuknya.
2. Perbandingan bahan-bahannya.
3. Cara pengadukan dan penuangan.
4. Cara pemadatan.
5. Perawatan selama proses pengerasan, dan
6. Umur paving blok.

Pengujian kuat tekan paving blok dilakukan terhadap benda uji paving blok dengan ukuran 20 x 10 x 6 cm. Pengujian paving blok berdasarkan atas benda uji pada umur 28 hari.

Untuk menghitung kekuatan tekan masing-masing paving blok dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana : P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

Hasil pengujian pada paving blok perlu diperiksa perkiraan kuat tekan dari keseluruhan benda uji paving blok yang telah diuji.

Sedangkan pengujian nilai kuat tekan rata-rata (*mean*) dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$\sigma_{rt} = \sum \frac{\sigma}{n}$$

Dimana : n = Jumlah seluruh nilai hasil pengujian

σ = Kuat tekan paving blok yang didapat dari masing-masing benda uji (kg/cm²).

σ_{rt} = Kuat tekan paving blok rata-rata (kg /cm²).

2.12 Pengujian Daya Serap Air

Pelaksanaan pengujian daya serap air dilakukan setelah paving blok mengalami rawatan pada suhu 60 °C dengan umur 28 hari. Banyaknya benda uji sebanyak 5 buah untuk masing-masing variasi komposisi perbandingan volume dan diambil nilai rata-rata :

Tahapan pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Setelah pencetakan paving blok didiamkan selama 28 hari
2. Setelah umur 28 hri benda uji di rendam selama 2x24 jam
3. Setelah perendaman benda uji tersebut ditimbang dan diketahui berat basahnya (W_b) dan dikeringkan dalam oven selama 24 jam.

Setelah diketahui berat basah dan berat kering, benda uji dilakukan perhitungan daya serap air dengan perhitungan :

$$\text{Daya serap air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\%$$

Dimana : W_b = berat basah paving (gr)

W_k = berat kering paving (gr).

2.13 Hipotesa Penelitian

Berdasarkan dasar – dasar teori di atas maka dapat diambil suatu hipotesa penelitian sebagai berikut :

1. *Spent Catalyst* RCC sangat baik digunakan untuk campuran paving blok sebagai bahan tambah bahan bangunan dan menambah kuat tekan dan memperbesar daya serap air.
2. Pemanfaatan *spent catalyst* RCC pada paving blok akan mengimobilisasi logam berat yang ada dalam katalis, sehingga ikatan semen akan menyebabkan tertutupnya pori dalam limbah.
3. Pada penelitian terdahulu bahwa *spent catalyst* RCC memiliki sifat *trass* yang sangat baik. Ditunjang dengan hasil fisika dan kimia, diperkirakan menghasilkan beton yang berkualitas tinggi dan waktu setting yang cepat.