

**PEMANFAATAN KATALIS BEKAS (BERBASIS Fe)
SEBAGAI BAHAN PENGISI PAVING BLOCK**



Tesis

Sis Agus Triyanto
L4K002034

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN KATALIS BEKAS (BERBASIS Fe)
SEBAGAI BAHAN PENGISI PAVING BLOCK

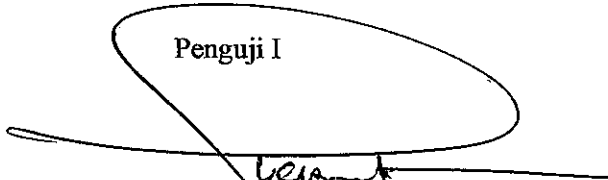
Disusun oleh :

Sis Agus Triyanto, Ir.
L4K002034

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 1 september 2004
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

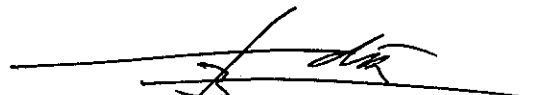
Menyetujui,

Penguji I



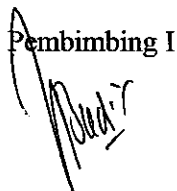
Dr. Ir. Purwanto, DEA

Penguji II




Ir. Syafrudin, CES, MT

Pembimbing I

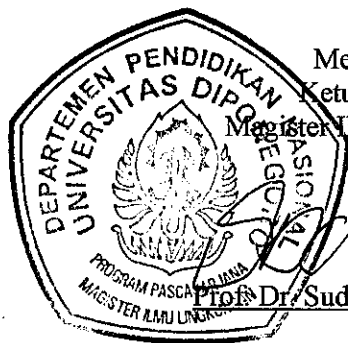


Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA


Pembimbing II



Ir. Danny Soetrisnanto, M.Eng.



Mengetahui,
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,



Dr. Sudharto P. Hadi, MES

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft.	3551/1/MAR/04
Tgl.	4/3/04

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tesis ini dapat disusun sesuai dengan harapan penulis, dimana penyusunan tesis tersebut adalah merupakan salah satu syarat wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa S-2 pada Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Persoalan limbah katalis adalah hal yang sangat umum dihadapi oleh industri kimia dan kerap menjadi permasalahan yang cukup rumit didalam pembuangan atau penanganannya. Oleh karena itu, penulis mencoba mengangkat dan meneliti masalah penanganan katalis dengan judul "Pemanfaatan Katalis Bekas (Berbasis Fe) Sebagai Bahan Pengisi Paving Block", studi kasus di PT. Kaltim Pasifik Amoniak Bontang.

Dengan dimanfaatkannya katalis menjadi bahan pengisi paving block tersebut, diharapkan masalah limbah katalis khususnya yang berbasis besi (Fe) dapat teratasi. Selain itu, pemanfaatan ini juga mempunyai nilai ekonomis tersendiri, karena dapat menggantikan sebagian dari pasir yang berfungsi sebagai bahan pengisi atau agregat dalam pembuatan paving block, disamping kekuatannya juga diharapkan semakin bertambah kuat.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya, kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran didalam penyusunan proposal tesis ini, yaitu :

1. Prof. Dr. Ir. Eko Budihardjo MSc., selaku Rektor Undip Semarang, Prof. Dr. dr. Suharyo, selaku Direktur Program Pascasarjana Undip Semarang, dan Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES, selaku Ketua Program S-2 Ilmu Lingkungan Undip Semarang yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk mengikuti program pascasarjana Ilmu Lingkungan di Universitas Diponegoro Semarang.
2. Dr. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA, sebagai pembimbing I dan Ir. Danny Soetrisnanto, M. Eng., sebagai pembimbing II yang telah dengan sabar dan sepenuh hati membimbing dan mengarahkan penulis, mulai dari persiapan proposal penelitian sampai penyelesaian penulisan, sehingga penulis termotivasi untuk dapat menyelesaikan penulisan ini, disela-sela kesibukan kerja dan deru mesin pabrik.
3. Dr. Ir. Purwanto, DEA, selaku penguji I dan Ir. Syafrudin, CES, MT selaku penguji II yang telah berkenan menguji dan menerima hasil tesis ini, serta memberikan tanggapan, masukan dan koreksi sehingga penulis dapat membuat penulisan ini menjadi lebih baik.

4. Ir. Sutarman Hd. IPM, MSiL, selaku kepala Biro K3LH PT. Pupuk Kaltim Bontang, Ir. Boyke Nayarana, selaku kepala Biro Rancang Bangun PT. Pupuk Kaltim Bontang, Armia Abdullah, selaku Ka. Unit Usaha Analisa Lab. PT. Pupuk Kaltim Bontang dan Muh. Suria Darmawan, BSc, selaku Kasi Lab Air Pem. Lingkungan PT. Pupuk Kaltim Bontang, serta Ibu Suko, selaku direktur CV. Carina, yang telah memberikan penulis kesempatan dan fasilitas menggunakan peralatan sarana dan prasarana sehingga proses belajar mengajar sampai pada penelitian dan penulisan tesis ini dapat terlaksana dengan lancar.
5. Ir. Darius P. Pasaribu, selaku Vice President Manufacturing PT. KPA, Ir. Firman Setiapermana, selaku Manufacturing Manager PT. KPA dan S. Napitupulu, selaku Plant Manager PT. KPA, yang dengan sepenuh hati mendorong dan mendukung penulis untuk segera menyelesaikan penulisan ini, ditengah-tengah tugas rutin yang harus diselesaikan
6. Ika Affanti Sulistiyorini, istri tercinta penulis, yang selalu memberikan dukungan dan mendorong untuk segera menyelesaikan penulisan ini. Serta untuk buah hati penulis yang tercinta, Moh. Rizki Raditya dan Ghevira Tyas Salsabila yang sering penulis tinggalkan pada saat-sat hari libur.
7. Rekan mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan Undip Semarang kelas Bontang yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah menjadi pemacu penulis untuk menyelesaikan penulisan ini.

Penulis menyadari akan keterbatasan yang ada pada diri penulis, karenanya saran dan kritik yang konstruktif untuk perbaikan penulisan ini, sangat diharapkan.

Semoga Allah SWT . selalu melimpahkan taufik dan hidayah kepada hamba-hambaNya yang bersyukur. Amin.

Bontang, Agustus 2004

Penulis

Sis Agus Triyanto

Recycling of Used-Catalyst (Fe based) as Filler in Paving Block Manufacturing

Sis Agus Triyanto*, Setia Budi Sasongko**, Danny Soetrisnanto**
Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
Jl. Imam Bardjo SH No.3 Semarang, Telp./Fax. 024-8453635

Abstract

Used-catalyst with Fe basis, which used inside the ammonia reactor (converter) in ammonia Plant, has become a complicated problem in its recycling or re-using, besides of its big amount, ex-catalyst waste also has no-economic value to be re-used. One of the alternatives solution in re-cycling/re-using the above waste that is by solidification or stabilization, by changing the physical characteristic and chemical of this waste with tying-compound (cement) to become a monolith and strong compound, so it's expected that the movement of catalyst compound can be blocked and limited. To observe more solidification effects to Fe compound in the used-catalyst, which has released or leached from monolith structure, the research sampling of used-catalyst tying to become a strong structure has been elected, that is Paving Block.

The research method used is Case Study in the Ammonia Plant of PT. KPA Bontang, where on November 2003, unloading activity performed for used-catalyst in Ammonia converter 2nd stage. The above used catalyst, along with sand as the "aggregates" mixed with cement, then pressed to be a paving block and has been tested by TCLP (Toxicity Concentration Leaching Procedure) to find-out the leaching Fe possibility of the paving block and strength test to ensure that the strength are not lower than paving block sold in the market.

For TCLP test, research variable choose is soaking duration and the composition of used-catalyst waste added to the paving block processing. Whilst for strength test, choose lifetime and the composition of used-catalyst waste added to the paving, as the variable. From the research sampling obtained, with soaking duration vary, shown that Fe leached between 3, 7, 14, 21, and 28 days – all are still below than limitation standard (1 ppm, as clean water requirement). So is the effect of the used-catalyst composition, as a mixture of basic material, the fact shown that it is not much affecting Fe leached. This shown that tying of cement to aggregate material (read: catalyst & cement) can be stated perfect and accepted by environment.

Whilst the strength test pressing, from the research result found that lifetime of paving block will causing the trend increasing of strength test significantly enough. Moreover the effect of ex-catalyst added, generally will increase the strength, but within a maximum limitation, where from the trial result - obtained strength test with optimum condition is on the following compare composition:

Cement : Sand : Used-catalyst = 0.25 : 1.00 : 1.50

As a whole, strength test of this used-catalyst paving block is bigger than common paving block, from the trial-result at day 21st of used-catalyst paving, for common paving – average result is 89.2 Kg/cm², whilst for used-catalyst paving on the sample composition I (the lowest used-catalyst content) is 132.07 kg/cm².

Key word: Solidification, Aggregates, Leached Fe Content Analysis, and Compressive Strength Test.

PEMANFAATAN KATALIS BEKAS (BERBASIS Fe) SEBAGAI BAHAN PENGISI PAVING BLOCK

Sis Agus Triyanto*, Setia Budi Sasongko**, Danny Soetrisnanto**
Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
Jl. Imam Bardjo SH No.3 Semarang, Telp./Fax. 024-8453635

Abstrak

Limbah katalis bekas berbasis Fe, yang dipakai didalam reaktor amoniak (converter) pada pabrik amoniak, merupakan masalah yang cukup rumit didalam penanganan atau pengelolaannya, disamping karena jumlahnya yang cukup banyak, maka limbah katalis tersebut tidak mempunyai nilai ekonomis yang bisa dimanfaatkan kembali. Salah satu alternatif didalam melakukan pengelolaan limbah katalis bekas berbasis Fe tersebut, adalah dengan cara solidifikasi atau stabilisasi, yaitu mengubah sifat fisik dan kimia dari katalis tersebut dengan senyawa pengikat (semen) menjadi senyawa yang monolit dan kokoh, sehingga diharapkan pergerakan senyawa katalis tersebut dapat dihambat atau dibatasi. Untuk mengamati sampai sejauh mana pengaruh solidifikasi terhadap senyawa Fe dalam katalis tersebut yang lepas atau larut dari struktur yang monolit tersebut, maka dilakukan penelitian pengikatan katalis bekas menjadi struktur yang kokoh, yaitu dipilih paving block.

Metoda penelitian yang digunakan adalah studi kasus pabrik amoniak PT. Kaltim Pasifik Amoniak Bontang, dimana pada bulan November tahun 2003, melakukan kegiatan 'un-load' katalis di ammonia converter 2nd stage. Limbah katalis bekas tersebut, kemudian bersama-sama dengan pasir sebagai 'agregat' dicampur dengan semen, lalu dicetak menjadi paving block dan dilakukan uji TCLP (Toxicity Concentration Leaching Procedure) untuk mengetahui kemungkinan adanya kelarutan Fe dari paving block tersebut dan uji kuat tekan untuk meyakinkan bahwa kekuatannya tidak lebih rendah dari paving yang dijual di pasaran.

Untuk uji TCLP, variabel penelitian yang dipilih adalah waktu perendaman dan komposisi limbah katalis bekas yang ditambahkan dalam pembuatan paving tersebut. Sedangkan untuk uji kuat tekan, dipilih umur dan komposisi limbah katalis bekas yang ditambahkan dalam paving, sebagai variabel. Dari hasil percobaan yang diperoleh, dengan variasi waktu perendaman, ternyata Fe terlarut antara 3, 7, 14, 21 dan 28 hari semuanya masih dibawah ambang batas yang ditentukan (1 ppm, sebagai syarat air bersih). Demikian juga halnya dengan pengaruh komposisi katalis bekas, sebagai campuran bahan baku, ternyata tidak berpengaruh banyak terhadap analisa Fe terlarut. Hal ini menunjukkan bahwa pengikatan dari semen terhadap bahan agregat (baca: katalis bekas dan semen) bisa dikatakan cukup sempurna dan bisa diterima oleh lingkungan.

Sedangkan untuk uji kuat tekan, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa umur dari paving block akan menyebabkan kecenderungan peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan. Sedangkan pengaruh katalis bekas yang ditambahkan, secara umum akan meningkatkan kuat tekan, namun mempunyai batas maksimum, dimana dari hasil percobaan diperoleh kondisi kuat tekan yang optimum adalah pada perbandingan komposisi semen : pasir : katalis bekas = 0,25 : 1,00 : 1,50. Secara keseluruhan, kuat tekan paving block katalis bekas ini mempunyai kekuatan jauh lebih besar dengan paving biasa, yaitu dari hasil percobaan pada umur paving 21 hari, untuk paving biasa rata-rata hasilnya adalah 89,2 Kg/cm² dan paving katalis bekas pada sampel komposisi 1 (kandungan katalis bekas paling rendah) adalah 132,07 kg/cm².

Kata kunci : Solidifikasi, Agregat, Analisa Fe terlarut, Uji kuat tekan

* PT. Pupuk Kalimantan Timur penugasan PT. Kaltim Pasifik Amoniak, Wisma KIE Lt. 3 Jl. Paku Aji Kav 79. Bontang, Telp. 0548-41841; Fax. 0548-41842; Email: sisagus @kpa.co.id

** Jurusan Teknik Kimia FT. Universitas Diponegoro Semarang

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Kegunaan Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pengertian Bahan Berbahaya dan Beracun	6
2.2. Pengolahan Limbah B3	7
2.3. Pengertian Leaching	8
2.4. Batako	9
2.5. Conblock	10
2.6. Beton Bertulang	11
2.7. Bata Beton	12
2.8. Semen Portland	14
2.9. Sifat-sifat Bata Beton (Concrete)	18
2.10 Proses Pengeringan (Curing) pada Bata Beton	19
2.11 Bahan Tambahan (Admixtures) Concrete	20
2.12 Kekuatan Concrete	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Rancangan Penelitian	23

3.2.	Ruang Lingkup Penelitian	24
3.3.	Lokasi Penelitian	24
3.4.	Variabel Penelitian	25
3.5.	Jenis dan Sumber Data	26
3.6.	Instrument Penelitian	26
3.7.	Analisis Data	26
3.8.	Prosedur Penelitian	27
3.9.	Diagram Alir Penelitian	29
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		31
4.1.	Data Awal Penelitian	31
4.2.	Uji Kuat Tekan	34
4.3.	Uji TCLP (Fe terlarut)	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		45
5.1.	Kesimpulan	45
5.2.	Saran	45
BAB VI DAFTAR PUSTAKA		46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Ukuran batako yang ada di pasaran	9
Tabel 2. Peryaratan fisik batu batako	10
Tabel 3. Persyaratan fisik conblock	10
Tabel 4. Kelas dan mutu beton bertulang	11
Tabel 5. Syarat fisis bata beton berlubang	13
Tabel 6. Syarat ukuran standar bata beton berlubang	13
Tabel 7. Syarat fisis bata beton pejal	14
Tabel 8. Syarat ukuran standar bata beton pejal	14
Tabel 9. Komponen penyusun semen	15
Tabel 10. Kandungan senyawa kimia katalis KM1R	31
Tabel 11. Data toksisitas katalis KM1R	32
Tabel 12. Uji logam berat rendaman katalis bekas	33
Tabel 13. Pengujian kuat tekan paving block biasa	34
Tabel 14. Pengujian kuat tekan paving katalis bekas	35
Tabel 15. Hubungan kuat tekan dan umur paving	36
Tabel 16. Hubungan kuat tekan dan komposisi paving	38
Tabel 17. Uji Fe terlarut dan logam berat rendaman paving biasa	40
Tabel 18. Analisa Fe terlarut untuk berbagai komposisi katalis dan waktu perendaman	41
Tabel 19. Hubungan antara Fe terlarut rata-rata dengan waktu perendaman paving katalis	41
Tabel 20. Hubungan antara Fe terlarut rata-rata dengan komposisi bahan baku paving	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kegiatan 'un-loading' katalis reaktor ammonia	2
Gambar 2. Penimbunan limbah katalis sementara	3
Gambar 3. Diagram proses leaching atau ekstraksi secara sederhana	9
Gambar 4. Ilustrasi pembentukan calcium silicate pada beberapa proses hidrasi	16
Gambar 5. Panas yang dibangkitkan pada saat proses hidrasi semen Portland	17
Gambar 6. Hubungan antara perbandingan air : semen dan porosity	21
Gambar 7. Grafik kekuatan concrete sebagai fungsi dari ratio air : semen	22
Gambar 8. Diagram alir penelitian	29
Gambar 9. Grafik hubungan kuat tekan dengan umur paving katalis bekas	37
Gambar 10. Grafik hubungan kuat tekan dengan komposisi bahan baku paving katalis	39
Gambar 11. Grafik hubungan Fe terlarut dengan waktu perendaman paving katalis	42
Gambar 12. Grafik hubungan Fe terlarut dengan komposisi bahan baku paving	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I : Perhitungan untung rugi pembuangan katalis bekas	47
Lampiran II : Uji statistik kuat tekan vs umur paving katalis bekas	49
Lampiran III : Uji statistik kuat tekan vs komposisi bahan baku paving katalis ...	53
Lampiran IV : Statistik analisa Fe terlarut vs waktu perendaman paving katalis ..	58
Lampiran V : Dokumentasi hasil penelitian	62
Lampiran VI : Laporan hasil uji analisa laboratorium	66

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

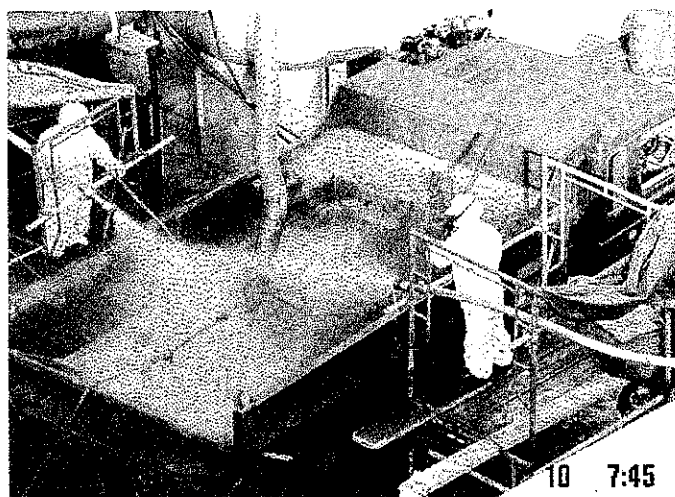
Katalis atau katalisator didefinisikan sebagai suatu zat yang mengubah kecepatan, secara positif atau negatif, mengubah mekanisme dan jumlah tahapan dan dengan demikian meringkas waktu untuk mencapai kesetimbangan suatu reaksi kimia. Namun ia sendiri, secara kimiawi, tak berubah dalam reaksi tersebut. Jadi, katalis dapat mengalami perubahan fisik, namun komposisi kimianya tetap seperti sedia kala.

Performance atau unjuk kerja dari katalis sangat tergantung dari kondisi operasi yang ada atau diterima dan biasanya hal ini juga akan berpengaruh terhadap umur atau 'life time' katalis itu sendiri. Tolok ukur performance dari katalis, biasanya dilihat dari perbedaan tekanan atau 'pressure drop' yang ada di dalam suatu unit peralatan operasi (reactor), bila kondisi operasi dari suatu reaktor, pressure drop kecenderungannya naik dengan drastis, maka perlu diwaspadai unjuk kerja dari keaktifan katalis tersebut, dan dapat segera dipertimbangkan untuk dilakukan penggantian seluruh katalis atau cukup dilakukan penggantian sebagian (topping).

Banyak faktor yang dapat menyebabkan penurunan dari unjuk kerja katalis, diantaranya adalah umur atau 'life time' pemakaian memang sudah tercapai, kesalahan melakukan 'handling' atau 'loading', kesalahan pengoperasian, kesalahan dari spesifikasi katalis tersebut dan seringnya terjadi perubahan kondisi operasi secara mendadak, karena pabrik mati (shut-down) yang tidak terencana yang disebabkan oleh beberapa factor. Dari berbagai penyebab penurunan aktifitas katalis tersebut, biasanya yang paling dominan adalah karena seringnya perubahan kondisi operasi yang berubah secara mendadak dan disebabkan oleh factor dari luar, seperti kegagalan supply listrik, supply bahan baku, instrumentasi dan masih banyak lagi.

PT. Kaltim Pasifik Amoniak yang merupakan salah satu pabrik amoniak yang berlokasi di Bontang dan mempunyai kapasitas terpasang 2.000 ton per tahun, pada bulan November 2003 melakukan kegiatan 'un-loading' katalis di unit '2nd stage ammonia converter', karena dari data pressure drop yang ada, ditengarai bahwa katalis yang mempunyai basis Fe tersebut sudah sangat turun drastis 'performance' ataupun keaktifannya. Berbeda dengan di unit lainnya, jenis katalis yang digunakan di ammonia converter tersebut mempunyai sifat "phirophoryc" yaitu akan membara jika kontak dengan udara, maka pada saat dilakukan unloading katalis ini, kondisi reaktor dijaga dalam keadaan 'positive pressure' atau dengan

dilakukan 'blanket' nitrogen dan setelah katalis tersebut keluar dari reactor langsung disiram dengan air, untuk memastikan katalis tersebut sudah tidak aktif lagi.



Gambar 1. Kegiatan 'unloading' katalis reaktor ammonia

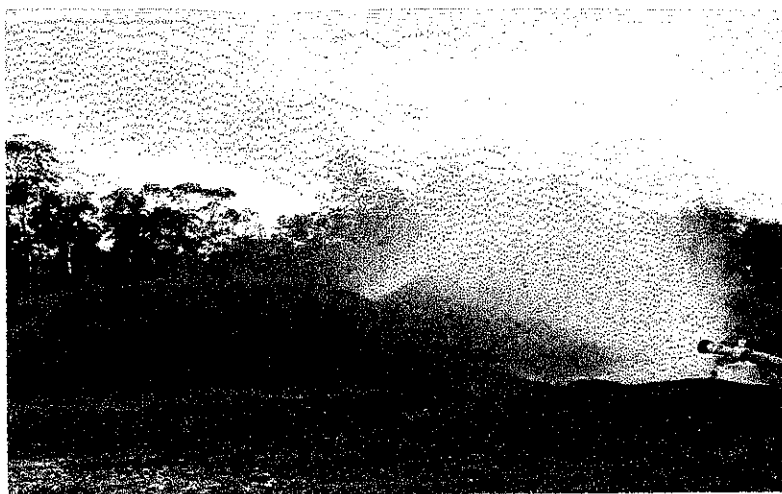
Mengingat jumlah katalis yang di unload cukup besar yaitu sekitar 137 ton dan belum diketahui karakteristiknya, serta belum diketahui benar cara penanganan atau pengolahannya, maka katalis bekas tersebut hanya disimpan atau ditimbun di area lahan terbuka milik PT. Pupuk Kalimantan Timur, dengan waktu penyimpanan yang telah disepakati adalah tidak lebih dari 90 hari, sebagai batas penyimpanan limbah B3. Dengan pertimbangan selama tenggang waktu tersebut, maka harus dicarikan jalan keluarnya apakah limbah katalis tersebut akan di daur ulang (dimanfaatkan kembali) ataukah di kirim ke PT. Parisadha Pemusnah Limbah Indonesia (PPLI), jika memang dari hasil analisa terbukti limbah katalis tersebut terbukti dalam kategori B3.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 tahun 1999 tentang perubahan atas peraturan pemerintah nomor 13 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), dimana disebutkan bahwa pengujian limbah B3 dapat diidentifikasi menurut sumber dan atau uji karakteristik dan atau uji toksikologi, maka limbah katalis itupun perlu dilakukan pengujian limbah B3 dengan menggunakan uji tersebut. Pengujian ini meliputi karakterisasi limbah atas sifat-sifat mudah meledak dan atau mudah terbakar dan atau bersifat reaktif, dan atau beracun dan atau menyebabkan infeksi dan atau bersifat korosif. Sedangkan uji toksikologi digunakan untuk mengetahui nilai akut dan atau kronik limbah. Penentuan sifat akut limbah dilakukan dengan uji hayati untuk mengetahui hubungan dosis-respon antara limbah dengan kematian hewan uji untuk menetapkan LD₅₀.

Sedangkan sifat kronis limbah B3 ditentukan dengan cara mengevaluasi sifat zat pencemar yang terdapat dalam limbah dengan menggunakan metodologi tertentu.

Dari informasi Material Safety Data Sheet (MSDS) katalis tersebut, ternyata dari uji karakteristik, semua unsur ataupun sifat-sifat yang menjadikan bahan tersebut masuk kedalam kategori limbah B3 adalah nihil atau tidak terbukti. Demikian juga dari nilai LD₅₀ yang ada, ternyata juga tidak menimbulkan sifat akut, oleh karena itu kemudian dilakukan uji kronik dengan cara merubah terlebih dahulu katalis tersebut dengan bentuk yang menyatu, kokoh dan stabil atau disebut dengan solidifikasi dan stabilisasi. Setelah dilakukan proses solidifikasi dan stabilisasi, kemudian dilakukan pemantauan secara berkesinambungan apakah material yang telah dibuat kedalam bentuk yang massive masih 'leaching' atau larut ke lingkungan atau tidak, yaitu dengan uji TCLP (Toxicity Concentration Leaching Procedure).

Proses Solidifikasi atau stabilisasi pada limbah katalis adalah suatu pengolahan limbah katalis bekas dengan cara mengubah sifat fisik dan kimiawi katalis dengan cara menambah senyawa pengikat, sehingga pergerakan dari senyawa katalis tersebut dapat dihambat atau dibatasi dan membentuk massa yang monolit dengan struktur yang kokoh. Salah satu cara untuk melakukan proses solidifikasi / stabilisasi adalah dengan mengolah limbah katalis bekas tersebut menjadi bahan bangunan, yakni dengan mencampurkannya kedalam adonan semen, air dan pasir.



Gambar 2. Penimbunan limbah katalis sementara

Setelah dilakukan pencetakan limbah katalis menjadi paving block, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kemampuan "leaching" dengan cara merendam

paving block didalam air sampai beberapa hari, kemudian air rendaman tersebut diambil untuk dilakukan analisa Fe di laboratorium. Dengan dilakukannya perendaman dan analisa ini, dapat diketahui apakah dalam waktu tertentu (misalnya satu minggu, dua minggu, tiga minggu, dan seterusnya) sudah terjadi leaching yang cukup signifikan atau malah sebaliknya justru tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap lingkungan.

Alasan pemilihan paving block dibanding dengan bentuk bahan bangunan yang lain adalah didasarkan pada kenyataan bahwa limbah katalis berbasis Fe tersebut mempunyai berat yang cukup besar, sehingga bila digunakan sebagai batako atau untuk dinding bangunan yang lain dikhawatirkan akan berpengaruh pada kekuatan struktur bangunan secara keseluruhan didalam menahan berat dari beban batako itu sendiri. Hal tersebut tidak akan dijumpai pada paving block, mengingat fungsinya yang berbeda dengan batako.

Mengingat bahan bangunan yang dipilih adalah paving block, maka yang perlu diperhatikan adalah kemampuan dari paving block tersebut dalam menahan berbagai beban yang mungkin diterima, oleh karena itu perlu dilakukan suatu pengujian kuat tekan paving block dengan berbagai komposisi campuran limbah katalis sebagai bahan pengisi atau agregat. Dengan dilakukannya variasi dari komposisi tersebut, maka dapat diketahui apakah dengan melakukan beberapa variabel komposisi bahan baku (limbah katalis) mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap kuat tekan paving block.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada, yaitu sebagai berikut:

- 1.2.1. Katalis bekas hasil 'un-loading' pada unit reaktor ammonia '2nd stage' yang jumlahnya cukup besar yaitu sekitar 137 ton hanya ditimbun di area terbuka, karena belum diketahui cara penanganannya, sehingga diperlukan uji B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)
- 1.2.2. Pemanfaatan katalis bekas sebagai pengisi dalam pembuatan bahan bangunan, merupakan alternatif yang sangat baik, untuk membuat katalis bekas tersebut menjadi senyawa yang kokoh dan 'monolit'.
- 1.2.3. Pemantauan pemakaian katalis bekas yang digunakan sebagai pengisi dalam pembuatan bahan bangunan (paving block) dan pengaruhnya terhadap lingkungan perlu dilakukan secara berkesinambungan.

1.3. Tujuan Penelitian

- 1.3.1. Melakukan identifikasi karakteristik B3 dari katalis bekas ammonia converter dan menentukan alternatif pengelolaannya.
- 1.3.2. Melakukan uji kuat tekan terhadap bahan bangunan (paving block) dari campuran katalis bekas, sebagai fungsi komposisi penambahan katalis bekas.
- 1.3.3. Untuk mengetahui karakteristik paving block katalis bekas dan pengaruhnya terhadap lingkungan.

1.4. Kegunaan Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini, maka diharapkan akan diperoleh beberapa manfaat, yaitu:

- 1.4.1. Dapat dijadikan pegangan atau acuan didalam pengelolaan limbah katalis, khususnya yang berbasis Fe atau katalis bekas dari reaktor ammonia (ammonia converter).
- 1.4.2. Dapat dijadikan pegangan didalam menentukan batas dan jenis beban yang bisa melalui bahan bangunan paving block dari limbah katalis tersebut.
- 1.4.3. Memberikan kepastian kepada masyarakat yang memanfaatkan penggunaan bahan bangunan (paving block katalis bekas) ini, bahwa bahan bangunan tersebut adalah aman untuk dipakai.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Bahan Berbahaya dan Beracun

Bahan berbahaya dan beracun yang selanjutnya disingkat dengan B3 adalah bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. Untuk mengidentifikasi limbah sebagai limbah B3, maka diperlukan uji karakteristik dan uji toksikologi atas limbah tersebut. Pengujian ini meliputi karakterisasi limbah atas sifat-sifat mudah meledak dan atau mudah terbakar dan atau bersifat reaktif, dan atau beracun dan atau menyebabkan infeksi dan atau bersifat korosif. Sedangkan uji toksikologi digunakan untuk mengetahui nilai akut dan atau kronik limbah. Penentuan sifat akut limbah dilakukan dengan uji hayati untuk mengetahui hubungan dosis-respon antara limbah dengan kematian hewan uji untuk menetapkan nilai LD₅₀. Sedangkan sifat kronis limbah B3 ditentukan dengan cara mengevaluasi sifat zat pencemar yang terdapat dalam limbah dengan menggunakan metodologi tertentu.

Yang dimaksud dengan LD₅₀ (Lethal Dose fifty) adalah dosis limbah yang menghasilkan 50 % respon kematian pada hewan uji. Nilai tersebut diperoleh dari analisis data secara grafis dan atau statistik terhadap hasil uji hayati tersebut. Apabila nilai LD₅₀ secara oral lebih besar dari 50 mg/kg berat badan, maka terhadap limbah yang mengandung salah satu zat pencemar yang ada dalam limbah tersebut dengan Lampiran III Peraturan Pemerintah No. 85 tahun 1999 ini, perlu dilakukan evaluasi sifat kronis. Sifat kronis limbah (toksik, mutagenic, karsinogenik, teratogenik dan lain-lain) ditentukan dengan cara mencocokkan zat pencemar yang ada dalam limbah tersebut dengan Lampiran III Peraturan Pemerintah tersebut diatas. Apabila limbah tersebut mengandung salah satu atau lebih zat pencemar yang terdapat dalam lampiran III, maka limbah tersebut merupakan limbah B3 dengan mempertimbangkan beberapa faktor yang ada.

Apabila suatu limbah tidak tercantum dalam Lampiran I Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999, lolos uji karakteristik limbah B3, lolos uji LD50, dan tidak bersifat kronis, maka limbah tersebut bukan limbah B3, akan tetapi pengelolaannya harus memenuhi ketentuan yang berlaku atau tidak bertentangan dengan peraturan yang ada.

2.2. Pengolahan Limbah B3

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). Proses pengolahan limbah B3 dapat dilakukan secara pengolahan fisika dan kimia, stabilisasi/solidifikasi, dan insenerasi.

Proses pengolahan secara fisika dan kimia bertujuan untuk mengurangi daya racun limbah B3 dan/atau menghilangkan sifat/karakteristik limbah B3 dari berbahaya menjadi tidak berbahaya. Proses pengolahan secara stabilisasi/ solidifikasi bertujuan untuk mengubah watak 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 insenerasi bertujuan untuk menghancurkan senyawa B3 yang terkandung didalamnya menjadi senyawa yang tidak mengandung B3.

Proses solidifikasi didefinisikan sebagai teknik peringkasan limbah berbahaya yang dimasukkan kedalam suatu bahan padat dari kesatuan struktur yang tinggi. Peringkasan meliputi buangan partikel halus, peringkasan mikro atau sebuah bblok besar atau pengemasan dari buangan peringkasan makro (Corner, 1990).

Proses stabilisasi adalah teknik pengolahan limbah berbahaya dan beracun (B3) yang bersifat larut untuk diubah kedalam bentuk kurang larut, kurang menyebar atau racunnya berkurang. Solidifikasi/stabilisasi (S/S) adalah proses penyediaan satu atau keduanya dari teknik tersebut yang dilakukan secara simultan. Alasan utama pengolahan limbah dengan solidifikasi dan stabilisasi adalah:

- Memperbaiki karakteristik penanganan untuk pengangkutan di tempat atau dari area limbah tersebut.
- Membatasi penyebaran atau kelarutan dari polutan yang terkandung dalam buangan.
- Mengurangi paparan sepanjang pengangkutan.
- Penghilangan racun yang terkandung dalam cemaran.

(Sumber: Environment Engineer's Handbook, 1997)

Dengan demikian, proses stabilisasi/solidifikasi adalah suatu tahapan proses pengolahan limbah B3 untuk mengurangi potensi racun dan kandungan limbah B3 melalui upaya memperkecil/membatasi daya larut, pergerakan/penyebaran dan daya racunnya (immobilisasi unsure yang bersifat racun) sebelum limbah B3 tersebut dibuang ke tempat penimbunan akhir (landfill). Prinsip kerja stabilisasi/solidifikasi adalah pengubahan watak fisik dan kimiawi limbah B3 dengan cara penambahan senyawa pengikat, sehingga pergerakan senyawa-senyawa B3 dapat dihambat atau terbatas dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kekar (massive). Bahan-bahan yang biasa digunakan adalah bahan pencampur (gypsum, pasir, lempung, abu terbang dan lain-lain) dan bahan perekat (semen, kapur, tanah liat dan lain-lain).

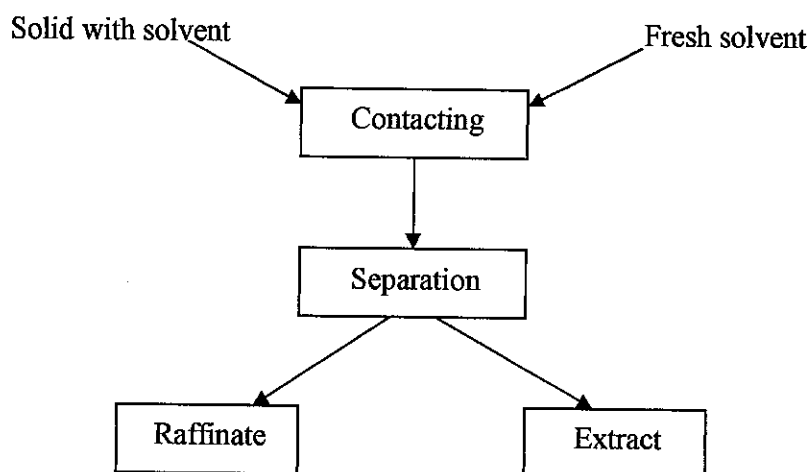
2.3. Pengertian "Leaching"

Leaching atau pelindian adalah terlepas atau terlarutnya material dari struktur padatan ke lingkungan sekitarnya atau dalam industri kimia proses leaching sering diartikan sebagai ekstraksi, pencucian atau penapisan suatu komponen dapat larut dari suatu campuran dengan komponen tak dapat larut melalui perlokasi campuran itu dengan pelarut tertentu (biasanya air), dimana komponen dapat larut dipisahkan.

Untuk proses leaching 'single stage', maka langkah tahapannya meliputi dua tahapan penting yaitu pertama, kontak antara padatan (solid) dengan pelarut (solvent) agar terjadi perpindahan massa dari padatan (solute) ke solvent, kemudian selanjutnya pemisahan hasil pelarutan dari padatan yang ada. Bagian atau komponen yang terlarut (solvent) disebut dengan 'extract' sedangkan bagian material sisa padatan yang tidak tersaring disebut dengan 'raffinate'.

Proses leaching atau pelindian menjadi semakin penting dan mendapat perhatian serius, sejalan dengan banyaknya material atau bahan berbahaya atau beracun yang dibuang atau ditimbun dalam tanah sebagai bahan buangan atau sampah. Barangkali tidak disadari bahwa dengan terurainya atau terdekomposisinya bahan kimia beracun akan menghasilkan senyawa yang jauh lebih dahsyat efek racunnya dan dengan adanya hujan, maka material tersebut akan menembus air tanah, danau, aliran sungai, sumur dan sebagainya. Meskipun beberapa material beracun mempunyai kelarutan dalam air yang sangat rendah dan konsentrasi yang dianggap berbahaya juga rendah, namun tetap saja harus diwaspadai.

Secara mudah proses leaching single stage dapat digambarkan dalam gambar berikut ini:



Gambar 3. Diagram proses leaching atau ekstraksi secara sederhana

2.4. Batako

Batu batako adalah batu buatan atau batu cetak yang tidak dibakar. Batu batako, pada umumnya dibuat dari tras dan batu kapur dengan perbandingan 5 : 1, jika kualitas tras cukup baik dan jika perlu ditambah dengan semen portland, diaduk sebaik-baiknya dalam keadaan kering. Tempat pembuatan harus benar-benar kering dan mempunyai atap. Sebagai dasar tempat untuk mengaduk harus dipakai bahan yang dapat menjaga agar adukan tidak bercampur dengan tanah. Kemudian adukan yang kering dicampur dengan air secukupnya. Untuk mengetahui kadar air dari suatu adukan, maka adukan tersebut dibuat bola-bola yang digenggamkan pada telapak tangan dan dijatuhkan. Apabila bola adukan dijatuhkan hanya sedikit berubah bentuknya, maka kandungan air dalam adukan tersebut terlalu banyak, dan bila dilihat telapak tangan tidak berbekas air, maka kadar air adukan tersebut kurang.

Ukuran batako yang umum dalam perdagangan adalah seperti dalam tabel berikut:

Tabel 1. Ukuran batako yang ada di pasaran

Jenis batu	Ukuran (P x L x T)	Pemakaian
Untuk dinding luar	Panjang : 400±3 mm Lebar : 200±3 mm Tinggi : 200±2 mm	Bagian luar 25 mm Dinding pemisah Lubang 20 mm
Untuk dinding luar	Panjang : 400±3 mm Lebar : 200±3 mm Tinggi : 150±2 mm	Bagian luar 25 mm Dinding pemisah Lubang 15 mm
Batu khusus untuk dinding pengisi dengan tebal 10 cm	Panjang : 400±3 mm Lebar : 200±3 mm Tinggi : 100±2 mm	Bagian luar 25 mm Dinding pemisah Lubang 15 mm

Sumber: Persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia , hal. 11.

Sedangkan persyaratan fisik dari batu batako, dapat dilihat seperti dalam tabel berikut:

Tabel 2. Persyaratan fisik batu batako

Batako Berlubang	Kuat tekan minimum (N/mm ²)		Penyerapan air maksimum
	Rata-rata	Masing-masing	
A1	2.0	1.7	-
A2	3.5	3.0	-
B1	5.0	4.5	35 %
B2	7.0	6.5	25 %

Sumber: Persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia , hal. 12.

Catatan:

- Batako A1 dan A2 untuk dipakai dalam konstruksi yang tidak memikul beban, dimana A1 dipasang pada tempat yang terlindung dari cuaca luar dan diberi lapisan pelindung, sedangkan A2 dapat digunakan tanpa lapisan pelindung.
- Batako B1 dan B2 dapat dipakai dalam konstruksi yang memikul beban dimana B1 pada tempat yang terlindung dari cuaca luar dan B2 pada tempat yang tak terlindung cuaca luar.

2.5. Conblock

Conblock adalah bata berlubang yang dibuat dengan cara pemadatan. Conblock dibuat dari campuran pasir dan semen Portland. Pada prinsipnya, ukuran-ukuran bata conblock mirip dengan ukuran batako. Sedangkan persyaratan fisiknya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Persyaratan fisis conblock

	Kuat tekan (Havern) min.	Penguapan air maksimal
Mutu I Untuk konstruksi yang dibebani dan yang tidak terlindung	6.5 N/mm ²	25 %
Mutu II Untuk konstruksi yang dibebani dan yang terlindung	4.5 N/mm ²	35 %
Mutu I Untuk konstruksi yang tidak dibebani dan yang tidak terlindung	3.0 N/mm ²	-
Mutu I Untuk konstruksi yang tidak dibebani dan yang terlindung	1.7 N/mm ²	-

Sumber : Persyaratan umum bahan bangunan di Indonesia, hal. 27, 28

2.6. Beton Bertulang

Beton didefinisikan sebagai bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus dan kasar (pasir, kerikil, cadas, batu apung, semen merah, serbuk kayu atau arang besi dan lain sebagainya), perekat (biasanya semen portland) dan air (dari PAM, sumur, sungai atau danau yang bersih). Fungsi semen atau perekat adalah menghubungkan biji pasir atau kerikil dan mengisi lubang-lubang diantaranya dan dengan adanya air, pengikatan dan pengerasan dari perekat baru berlangsung.

Pada pembuatan bangunan beton bertulang, biasanya akan dipertimbangkan kelas dan mutu beton seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. Kelas dan mutu beton bertulang

Kelas	Mutu	σ_{bk} kg/cm ² minimum	σ_{bm} kg/cm ²	Tujuan Pemakaian	Pengawasan Terhadap	
					Mutu agregat	Kuat tekan
I	B ₀	-	-	Non struktural	Ringan	Tanpa
II	B ₁	-	-	Struktural	Sedang	Tanpa
	K-125	125	200	Struktural	Ketat	Kontinu
	K-175	175	250	Struktural	Ketat	Kontinu
	K-225	225	300	Struktural	Ketat	Kontinu
III	K>225	>225	>300	Struktural	Ketat	Kontinu

Sumber: Peraturan beton bertulang Indonesia, hal. 22-24

Catatan:

- σ'_{bk} merupakan kekuatan tekan beton rata-rata dalam kg/cm²
- σ'_{bm} merupakan kekuatan tekan beton rata-rata yang dihitung untuk deviasi standard $s = 46 \text{ kg/cm}^2$ (yang lazim ditemukan dalam praktek).
- Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan, sedangkan terdapat kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu beton kelas I dinyatakan dengan B₀.
- Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan structural secara umum. Untuk pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar: B₁, K-

125, K-175, dan K-225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan mutu bahan bangunan. Pada mutu K-125, K-175 dan K-225 pengawasan mutu terdiri dari pengawasan yang ketat terhadap mutu bahan-bahan dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu.

- Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan structural dimana dipakai mutu beton dengan kekuatan tekan karakteristik yang lebih tinggi dari 225 kg/cm². Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli.

2.7. Bata Beton

Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton berlubang. Bata beton pejal adalah bata yang memiliki penampang pejal 75 % atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75 % volume bata seluruhnya. Sedangkan yang dimaksud dengan bata beton berlubang adalah bata yang memiliki luas penampang lobang lebih dari 25 % luas batanya dan volume lubang lebih dari 25 % volume bata seluruhnya. Klasifikasi bata beton berlubang diklasifikasikan sesuai dengan pemakaiannya, yaitu sebagai berikut:

- Bata beton berlubang mutu I, adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindung (di luar atap).
- Bata beton berlubang mutu II, adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi di bawah atap).
- Bata beton berlubang mutu III, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk hal-hal seperti yang tersebut dalam mutu IV, hanya permukaan dinding/konstruksi dari bata beton tersebut tidak boleh diplester.
- Bata beton berlubang mutu IV, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat serta konstruksi lainnya yang selalu terlindung dari hujan dan terik matahari (dibawah atap).

Bata beton berlubang harus memenuhi persyaratan mutu sebagai berikut:

- Syarat fisis, seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 5. Syarat fisis bata beton berlubang

No.	Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu			
			I	II	III	IV
1.	Kuat tekan bruto *) rata-rata, min.	Kg/cm ²	70	50	35	20
2.	Kuat tekan bruto *) masing-masing benda uji, min.	Kg/cm ²	65	45	30	17
3.	Penyerapan air, rata-rata, maks.	%	25	35	-	-

Dari tabel diatas terlihat bahwa untuk bata beton berlubang kelas I yang mempunyai peruntukkan paling berat, maka syarat kuat tekannya juga harus tinggi, namun tidak demikian halnya untuk kelas IV, karena peruntukknya tidak seberat kelas I, maka syarat kuat tekan yang ditentukan juga tidak terlalu tinggi.

- Syarat ukuran standar dan toleransi, dapat dilihat dalam tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Syarat ukuran standar bata beton berlubang

Jenis	Ukuran + Toleransi (mm)			Tebal Dinding Sekatan Lubang Min. (mm)	
	Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
Kecil	390 + 3	190 + 3	100 + 3	20	15
	- 5	- 5	- 5		
Besar	390 + 3	190 + 3	100 + 3	25	20
	- 5	- 5	- 5		

Sumber: Standar spesifikasi bahan bangunan bagian A, hal. 37-38

Selain bata berlubang, maka dalam pasaran juga dijumpai adanya bata beton pejal, yang diklasifikasikan sesuai dengan pemakaiannya, yaitu sebagai berikut:

- Bata beton pejal mutu I, adalah bata beton pejal yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban dan bisa digunakan juga untuk konstruksi yang tidak terlindung (untuk konstruksi di luar atap).
- Bata beton pejal mutu II, adalah bata beton pejal yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi di bawah atap).

- Bata beton pejal mutu III, adalah bata beton pejal yang digunakan hanya untuk hal-hal seperti yang tersebut dalam mutu IV, hanya permukaan dinding/konstruksi dari bata beton pejal tersebut tidak boleh dipilester.
- Bata beton pejal mutu IV, adalah bata beton pejal yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat dan lain-lain serta konstruksi yang selalu terlindung dari cuaca luar.

Bata beton pejal harus memenuhi persyaratan mutu, seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 7. Syarat fisis bata beton pejal

No.	Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu			
			I	II	III	IV
1.	Kuat tekan bruto *) rata-rata, min.	Kg/cm ²	100	70	40	25
2.	Kuat tekan bruto *) masing-masing benda uji, min.	Kg/cm ²	90	65	35	21
3.	Penyerapan air, rata-rata, maks.	%	25	35	-	-

Sumber: Standar spesifikasi bahan bangunan bagian A, hal. 39

Sedangkan untuk ukuran standard an toleransi, maka bata beton pejal harus memenuhi syarat sebagai berikut:

Tabel 8. Syarat ukuran standard bata beton pejal

Ukuran + Toleransi (mm)		
Panjang	Lebar	Tebal
390 + 3 - 5	190 ± 2	100 ± 2

Sumber: Standar spesifikasi bahan bangunan bagian A, hal. 39

2.8. Semen Portland

Semen yang biasa digunakan dalam pembuatan bahan bangunan biasanya adalah jenis semen portland tipe I, adapun sesuai dengan tujuan pemakaiannya, maka semen Portland dibagi dalam 5 jenis kategori yaitu sebagai berikut:

- Tipe I: untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lainnya.

- Tipe II: untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
- Tipe III: untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- Tipe IV: untuk konstruksi-konstruksi yang persyaratan panas hidrasi yang rendah
- Tipe V: untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

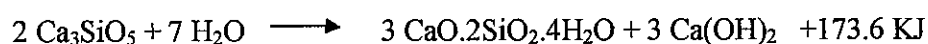
Semen portland terdiri dari lima senyawa utama penyusun dan sedikit senyawa lain sebagai tambahan. Kelima senyawa utama tersebut dapat dilihat pada tabel 9.dibawah ini. Pada saat air ditambahkan dalam semen, setiap senyawa tersebut mengalami reaksi hidrasi dan mempunyai andil masing-masing dalam pembentukan concrete. Hanya calcium silicate yang mempunyai sumbangsih terhadap kekuatan concrete, dimana tricalcium silicate berperan sebagai pembentukan kekuatan awal (7 hari pertama), sedangkan dicalcium silicate, reaksinya lebih lambat dan mempunyai kontribusi dalam pembentukan kekuatan pada tahap berikutnya.

Tabel 9. Komponen penyusun semen

Senyawa Penyusun Semen	Prosentase Berat	Rumus Kimia
Tricalcium Silicate	50 %	Ca_3SiO_5 atau $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$
Dicalcium Silicate	25 %	Ca_2SiO_4 atau $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$
Tricalcium Aluminate	10 %	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ atau $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$
Tetracalcium Aluminoferrite	10 %	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_{10}$ atau $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$
Gypsum	5 %	$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$

Pada saat air ditambahkan dalam semen, setiap senyawa tersebut mengalami reaksi hidrasi dan mempunyai andil masing-masing dalam pembentukan concrete. Hanya calcium silicate yang mempunyai sumbangsih terhadap kekuatan concrete, dimana tricalcium silicate berperan sebagai pembentukan kekuatan awal (7 hari pertama), sedangkan dicalcium silicate, reaksinya lebih lambat dan mempunyai kontribusi dalam pembentukan kekuatan pada tahap berikutnya.

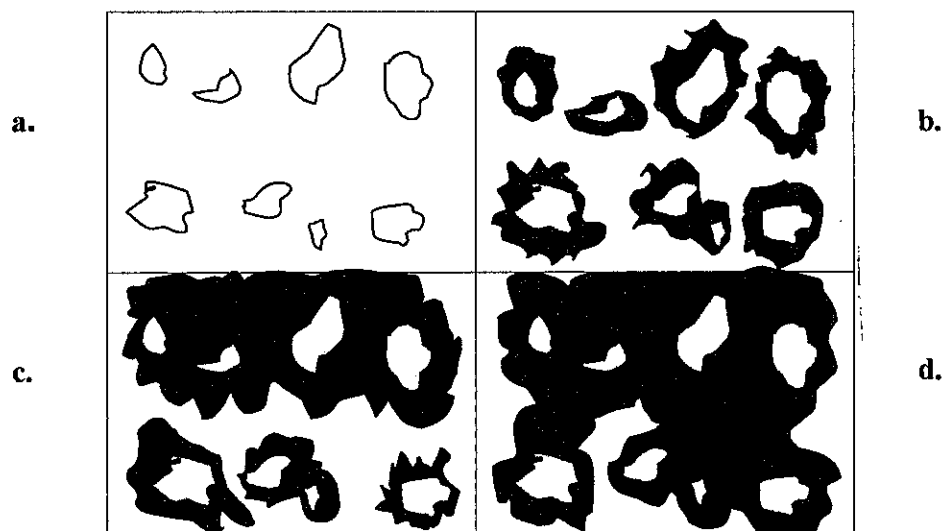
Persamaan untuk hidrasi tricalcium silicate, dapat diberikan sebagai berikut:



Selama penambahan air, tricalcium silicate bereaksi dengan cepat untuk melepas ion calcium, ion hidroksida, dan sejumlah panas. Karena terlepasnya ion alkaline hidroksida (OH^-), maka pH secara cepat akan naik sampai diatas 12.

Reaksi akan terus berlanjut secara perlahan untuk menghasilkan ion calcium dan hidroksida sampai sistim tersebut sudah jenuh. Sekali reaksi ini terjadi, maka calcium hidroksida mulai membentuk kristal dan secara perlahan, calcium silicate hydrate juga terbentuk. Pengendapan ion diluar larutan akan mempercepat reaksi tricalcium silicate menjadi ion calcium dan hidroksida, kemudian panas yang dibangkitkan secara drastis akan naik.

Pembentukan kristal calcium hidroksida dan calcium silicate hydrate menghasilkan 'butiran' dengan calcium silicate hydrate lebih banyak dapat terbentuk. Kristal calcium silicate hydrate tumbuh semakin membesar yang mengakibatkan molekul air lebih sulit untuk mencapai atau menembus tricalcium silicate yang belum terhidrasi. Kecepatan reaksi saat ini dikontrol oleh kecepatan molekul air terdifusi melalui lapisan calcium silicate hydrate. Ketebalan lapisan yang berlebihan menyebabkan hasil dari calcium silicate hydrate menjadi lebih lambat.

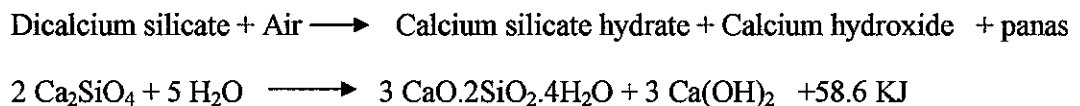


Gambar 4. Ilustrasi pembentukan calcium silicate pada beberapa tahapan proses hidrasi

Gambar diatas menunjukkan pembentukan hidrasi calsium silicate pada pori-pori yang ada, diagram (a) Proses hidrasi belum terjadi dan pori-pori yang ada masih terisi dengan air; (b) Proses hidrasi mulai terjadi; (c) Proses hidrasi terus berlanjut, ruangan yang kosong masih terisi dengan air dan calcium hidroksida; (d) Pasta semen hampir mengeras. Perlu dicatat, bahwa hampir semua ruangan terisi dengan calcium silicate hydrate, sedangkan sisanya

terbesar adalah larutan calcium hidroksida. Proses hidrasi akan terus berlanjut selama keberadaan air masih tetap ada dan senyawa yang belum terhidrasi dalam pasta semen juga masih tersedia.

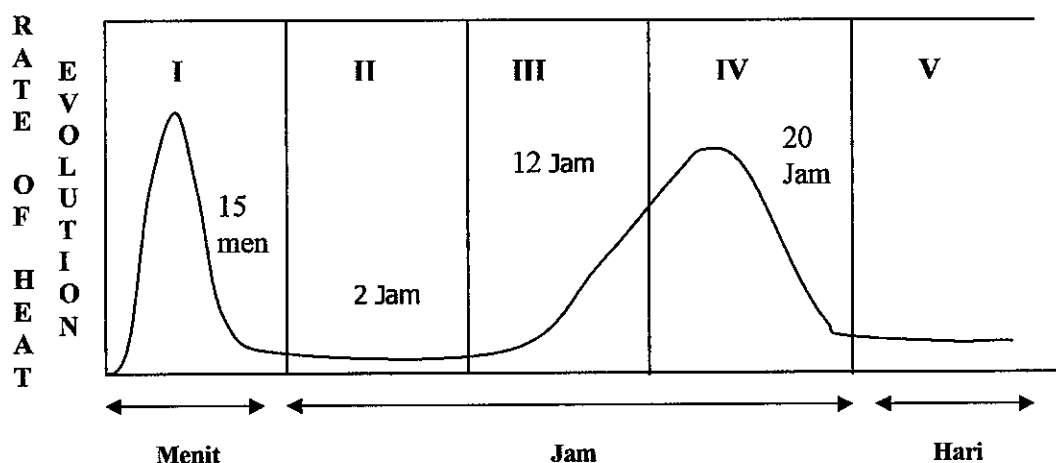
Dicalcium silicate juga mempunyai pengaruh terhadap kekuatan concrete melalui proses hidrasi, dimana dicalcium silicate bereaksi dengan air seperti halnya pada tricalcium silicate, namun berjalan lebih lambat. Panas yang dilepaskan juga relative lebih rendah dibanding tricalcium silicate karena dicalcium silicate kurang reaktif. Hasil yang diperoleh dari reaksi hidrasi dicalcium silicate, sama dengan hidrasi tricalcium silicate yaitu :



Komponen lain dalam semen Portland seperti tricalcium aluminate dan tetracalcium aluminoferrite juga akan bereaksi dengan air. Hidrasi dari senyawa-senyawa ini akan lebih kompleks, demikian juga halnya dengan gypsum. Mengingat reaksi hidrasi ini tidak secara signifikan menyumbangkan pengaruh kekuatan pada concrete, maka reaksi ini tidak dibahas lebih lanjut, namun secara umum kecepatan hidrasi pada beberapa hari pertama, urutannya dari tercepat sampai terlambat adalah sebagai berikut:

tricalcium aluminate > tricalcium silicate > tetra aluminoferrite > dicalcium silicate

Panas yang diakibatkan oleh proses hidrasi semen adalah merupakan fungsi waktu dan dapat digambarkan seperti dalam gambar dibawah ini:



Gambar 5. Panas yang dibangkitkan pada saat proses hidrasi semen Portland

Pada Tahap I, hidrolisa senyawa semen terjadi dengan sangat cepat yang disertai dengan kenaikan temperature beberapa derajat. Tahap II disebut dengan periode 'dormancy', panas yang dibangkitkan secara dramatis berjalan lambat dan dapat berlangsung antara satu sampai tiga jam. Selama periode ini, concrete berada dalam bentuk plastis sehingga sangat mudah untuk dipindahkan (transportasi) dan ditempatkan atau dibentuk, tanpa kesulitan yang berarti. Hal ini merupakan tahapan yang paling penting dalam pekerjaan konstruksi, dimana dibutuhkan pengangkutan concrete menuju lokasi pekerjaan. Pada akhir dari tahap ini, proses pengikatan awal terjadi. Pada tahap III dan IV, pengerasan concrete mulai terjadi dan panas yang dibangkitkan naik karena proses hidrasi dari tricalcium silicate. Tahap V dicapai setelah 36 jam, dimana pembentukan hidrasi terjadi secara berkelanjutan selama air dan silicate yang belum terhidrasi masih ada atau tersedia.

2.9. Sifat-Sifat Bata Beton (Concrete)

Concrete atau bata beton adalah merupakan campuran yang terdiri dari 'agregat' dan 'pasta semen', serta biasanya ditambahkan beberapa campuran tambahan (admixtures) untuk memperbaiki kualitas concrete yang diinginkan. Agregat diartikan sebagai material inert seperti pasir, kerikil atau batuan yang telah dipecah menjadi ukuran tertentu. Agregat dapat dibagi dalam dua tipe, yaitu agregat kasar (coarse) yang mempunyai ukuran $\frac{3}{4}$ " sampai 1" dan agregat halus (fine) yaitu partikel halus yang ukurannya sampai dengan $\frac{3}{8}$ ". Agregat harus mempunyai kekuatan minimum yang dibutuhkan untuk concrete struktur dan tidak boleh lebih lemah dari kekuatan concrete yang dibuat hanya dari semen pasta. Sedangkan pasta semen adalah merupakan campuran dari semen 'portland', air dan biasanya terdapat rongga udara. Kekuatan 'concrete' sangat ditentukan oleh ratio perbandingan antara air:semen atau w/c ratio, hal ini dapat dijelaskan bila setiap gallon air ditambahkan pada setiap 'yard' concrete, maka akan berpengaruh pada kualitas dari concrete, yaitu 15 % kekuatannya akan turun, 10 % akan meningkatkan penyusutan (drying shrinkage), 50 % penyerapannya (permeability) akan turun dan 20 % ketahanannya (durability) akan berkurang.

Beberapa sifat dari bata beton atau concrete yang berkaitan dengan kualitas dari concrete tersebut diantaranya adalah:

a. Strength (Kekuatan)

Compressive strength adalah merupakan sifat fisik yang paling penting dan merupakan metoda yang sangat umum dipakai dalam menentukan kualitas dari concrete, karena compressive strength ini akan berkebalikan dengan w/c ratio. Compressive strength didefinisikan sebagai daya tahan maksimum dari concrete didalam menerima beban secara tegak lurus (axial).

b. Durability

Durability adalah daya tahan concrete terhadap pengaruh kondisi sekitarnya. Kondisi yang paling jelek adalah pengaruh dari pembekuan dan pencairan dari concrete pada saat basah, terutama pada saat penghilangan lapisan es atau 'deicing chemical' digunakan. Kondisi yang memburuk ini disebabkan karena membekunya air dalam pasta concrete, agregat atau keduanya. Adanya pemberian udara pada concrete merupakan metoda yang sangat efektif dalam menciptakan concrete yang tahan terhadap kondisi ini.

c. Permeability and Watertightness

Permeability adalah kemampuan concrete didalam menahan masuknya air atau bahan lain seperti cairan lain, gas, ion dan sebagainya. Sedangkan Watertightness adalah kemampuan concrete didalam menahan air atau cairan lain tanpa terjadinya kebocoran. Sifat sama yang membuat concrete sedikit permeable membuat concrete tersebut lebih 'watertight'.

d. Abrasion Resistance

Abrasive resistance pada concrete sangat berhubungan erat dengan compressive strength. Semakin tinggi abrasi strength berarti akan semakin kuat menahan abrasi. Faktor terpenting yang berpengaruh pada ketahanan terhadap abrasi ini adalah w/c ratio, curing, dan tipe agregat.

2.10. Proses Pengeringan (Curing) Pada Bata Beton (Concrete)

Concrete yang masih baru membutuhkan uap air selama tahap curing atau pengeringan, yaitu perubahan dari bentuk 'fresh concrete' menjadi 'hardened concrete'. Pengerasan concrete tidak terjadi karena pengeringan atau pemanasan, namun karena uap air yang menyebabkan terjadinya hidrasi dan mengeras. Pada saat concrete kering, hal ini tidak menunjukkan bahwa hidrasi telah mencukupi untuk mencapai sifat fisik yang diinginkan.

Kenaikan kekuatan concrete akan bertambah terus sejalan dengan umur concrete, sepanjang masih ada semen yang belum terhidrasi, tersedia uap air atau kondisi udaranya mempunyai relative humidity diatas 80 % dan kondisi temperaturnya sesuai. Pada saat relative humidity udara pada concrete turun drastis dibawah 80 % atau temperatur dari concrete turun tajam hingga dibawah titik beku, maka proses hidrasi dan kekuatan concrete, berturut-turut akan berhenti. Apabila diinginkan kekerasan concrete akan diaktifkan kembali setelah proses pengeringan terjadi, maka selama masih ada semen yang belum terhidrasi, proses hidrasi akan dapat berlangsung dan kekuatan concrete akan kembali naik.

Kekerasan (hardened) concrete merubah volume secara perlahan-lahan, karena perubahan dari temperatur, uap air dan tekanan (stress). Concrete yang selalu terus menerus dikelilingi atau mengandung uap air akan mengembang secara perlahan, namun pada saat ada kesempatan untuk mengering, concrete tersebut akan menyusut. Phenomena ini disebut dengan 'drying shrinkage' dan ini kerap dijumpai dan merupakan sifat yang harus dihindari pada concrete. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya keretakan (crack) dan luasan dari 'crack' ini adalah merupakan fungsi dari derajat pengeringan (drying). Besarnya 'drying shrinkage' berhubungan erat dengan kandungan air pada saat pencampuran awal concrete. Apabila concrete mengalami 'drying shrinkage', maka keretakan akan terjadi. Biasanya untuk memperkecil luasan dari crack, dipasang reinforce dari besi.

2.11. Bahan Tambahan (Admixtures) Concrete

Fungsi dari bahan tambahan atau 'admixtures' yang digunakan dalam concrete bertujuan untuk mendapatkan sifat tertentu yang diinginkan seperti menjadi lebih efektif atau ekonomis. Beberapa macam 'admixtures' yang sering dijumpai dalam pembuatan concrete adalah:

a. **Air Entraining Admixtures**

Digunakan untuk memasukkan 'microscopic bubbles' dalam concrete, dimana akan meningkatkan 'durability' concrete. Selain itu juga memperbaiki 'workability' dan menurunkan atau menghilangkan segregasi dan kelebihan 'bleeding'.

b. **Water Reducing Admixtures**

Dipergunakan untuk menurunkan sejumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan concrete dari 'slump' tertentu, menurunkan w/c ratio, atau untuk meningkatkan 'slump' concrete.

c. **Retarding Admixtures**

Digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan (setting) concrete. Kegunaan utama, biasanya untuk mengantisipasi adanya pengaruh percepatan waktu pengikatan concrete, pada saat kondisi cuaca yang panas atau untuk memperlambat waktu pengikatan karena prosedur penyelesaian khusus mengharuskan demikian.

d. **Accelerating Admixtures**

Digunakan untuk mempercepat kekuatan concrete pada umur permulaan. 'Accelerating admixtures' juga akan mempercepat kecepatan pengikatan (setting).

e. **Superplasticizers (High Range Water Reducers)**

Ditambahkan dalam concrete dengan 'slump' awal yang rendah untuk membuat 'slump' tinggi, concrete dapat dialirkan tanpa mempengaruhi w/c ratio. 'Flowable concrete'

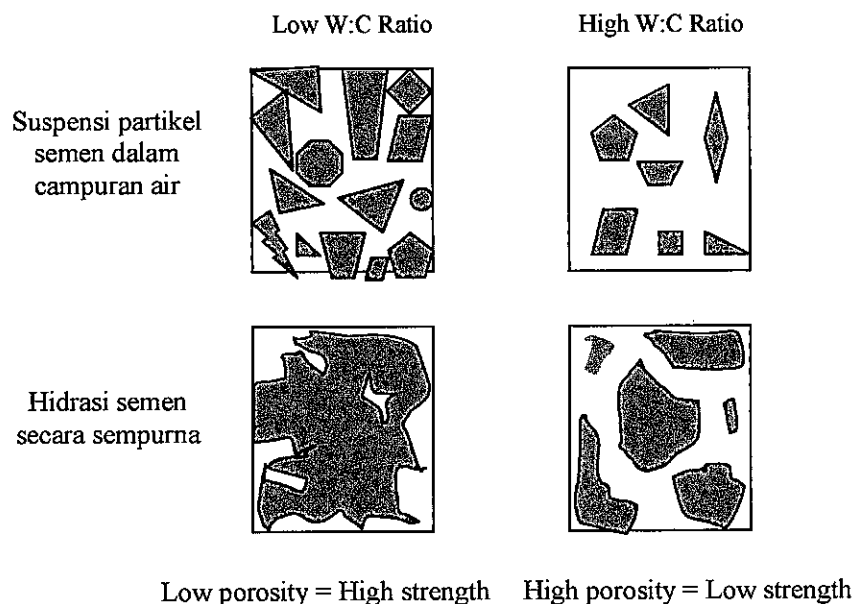
merupakan fluida yang sangat tinggi, tapi tidak terjadi segregasi ataupun 'bleed' yang berlebihan seperti concrete dengan kandungan air yang tinggi.

f. **Finely Divided Mineral Admixture**

Merupakan bahan powder yang ditambahkan dalam concrete sebelum atau selama pencampuran untuk memperbaiki atau merubah beberapa sifat plastik atau kekerasan concrete. Tipe yang paling umum adalah abu terbang (fly ash), hasil dari proses pembakaran batu bara pada pabrik pembangkit listrik, slag dari tungku peleburan besi, dan silica fume (microsilica) yang merupakan hasil dari reduksi dari 'quartz' dengan kemurnian tinggi dengan batu bara pada tanur listrik selama pembuatan silicon atau ferrosilicon alloy.

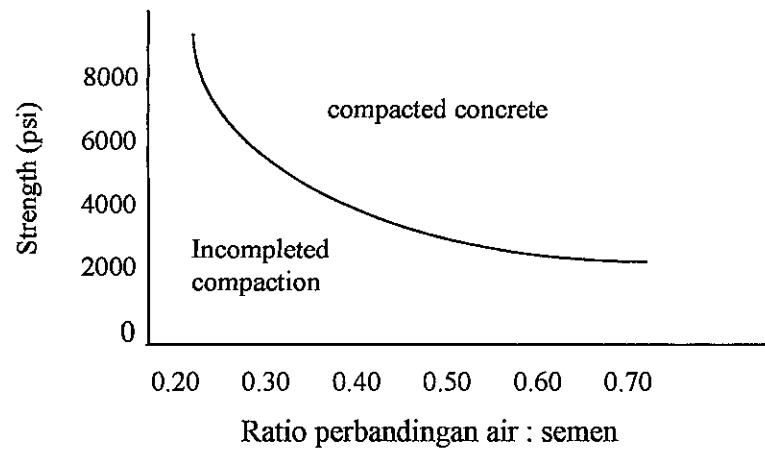
2.12. Kekuatan Concrete

Kuat tekan concrete sangat tergantung dari reaksi hidrasi, seperti yang telah dibahas sebelumnya. Kekuatan dari concrete akan bertambah baik apabila air yang ditambahkan relatif sedikit, sementara kesempurnaan reaksi hidrasi juga memerlukan adanya air yang cukup, disamping itu dengan adanya air yang cukup akan membuat concrete mudah dibentuk atau 'workability'. Air yang tidak ikut bereaksi dalam hidrasi, akan tinggal dalam ruang pori microstruktur dan pori-pori ini menyebabkan concrete menjadi rapuh kekuatannya karena berkurangnya kekuatan pembentukan ikatan hidrasi calcium silicate.



Gambar 6. Hubungan antara perbandingan air:semen dan porosity

Ruangan kosong (porosity) ditentukan oleh ratio air : semen. Hubungan antara ratio air : semen dan kekuatan dapat ditunjukkan seperti dalam grafik berikut ini:



Gambar 7. Grafik Kekuatan concrete sebagai fungsi dari ratio air : semen

BAB III

METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian pembuatan paving block dengan memanfaatkan limbah katalis bekas yang akan dilakukan ini, adalah merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif yaitu dengan cara melakukan percobaan baik di lapangan maupun di ruang tertutup (laboratorium), kemudian data hasil percobaan tersebut diolah dan dijadikan dasar untuk pengambilan kesimpulan.

Secara sederhana, rancangan penelitian yang akan dilakukan meliputi :

3.1.1. Pengambilan Data Awal Penelitian

Pengambilan data awal ini, dimaksudkan untuk mengetahui kondisi awal bahan uji yang akan dijadikan subyek penelitian, yang tujuannya adalah sebagai data reference atau pembanding dengan data yang diperoleh setelah dilakukan percobaan. Pengambilan data awal ini, meliputi:

- Uji karakteristik dan toksikologi katalis bekas dari MSDS vendor
- Uji pendahuluan Fe terlarut dan logam berat lainnya dalam air rendaman katalis bekas
- Uji pendahuluan Fe terlarut dan logam berat lainnya pada air rendaman paving block biasa tanpa katalis.
- Uji kuat tekan paving block biasa (tanpa katalis bekas).

3.1.2. Pengambilan Data Penelitian

Setelah pengumpulan data awal penelitian dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah merencanakan penelitian yang akan dikerjakan, yaitu dengan terlebih dahulu menentukan variable dependent dan variable independent. Selanjutnya, setelah semua variable ditentukan, maka tahapan berikutnya adalah melakukan percobaan, dengan langkah sebagai berikut:

3.1.3. Pembuatan Paving Block

Bahan baku untuk pembuatan paving block seperti semen, pasir dan limbah katalis masing-masing ditimbang sesuai dengan variable yang telah ditentukan, kemudian diaduk hingga merata. Setelah dianggap campuran tersebut sudah homogen, maka ditambah dengan air secukupnya, kemudian dilakukan pencetakan dengan menggunakan alat press cetakan paving block yang biasa digunakan oleh pengrajin batako.

Paving block dari campuran limbah katalis yang telah dicetak, kemudian diangin-anginkan (disemai) selama kurang lebih satu hari untuk memastikan bahwa paving block tersebut kering dan tidak akan hancur bila diangkat/dibawa.

3.1.4. Analisa Fe Terlarut

Apabila pengeringannya sudah mencukupi, maka paving block tersebut direndam dalam air yang kondisinya asam, yaitu dengan pH = 5,5 dengan waktu perendaman sesuai dengan variable yang telah ditetapkan. Kondisi asam ini dilakukan, dengan pertimbangan kondisi tanah di bontang adalah bergambut, sehingga pH nya rendah (asam).

Setelah perendaman berlangsung, maka selanjutnya dilakukan pengambilan dan pengujian sample air rendaman paving katalis bekas pada berbagai variable waktu perendaman dan komposisi katalis yang ditambahkan dalam paving tersebut, untuk dilakukan analisa Fe terlarut dengan menggunakan metoda pengujian ASTM dan alat Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

3.1.5. Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat tekan compressive strength untuk beberapa variable umur dan komposisi dari katalis bekas yang dicampurkan dalam pembuatan paving block tersebut. Sedangkan umur paving block, dihitung dari saat pertama kali paving block tersebut diangkat dari alat cetakan.

3.2. Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menghindari bias dari percobaan yang akan dilakukan, maka ruang lingkup penelitian ini hanya dibatasi pada:

- Penelitian yang dilakukan hanya menggunakan limbah katalis bekas reaktor ammonia atau katalis yang mempunyai basis Fe.
- Bahan baku pasir yang dipakai sebagai bahan baku adonan pembuatan paving block adalah merupakan pasir lokal yang kadar airnya relatif sudah cukup tinggi, sehingga penambahan air tambahan, relatif sangat sedikit.
- Kondisi operasi untuk perendaman paving block dilakukan pada temperature kamar dan terbuka serta dijaga kondisi pH air rendaman paving adalah 5,5.
- Perlakuan penyimpanan paving block yang telah dicetak dilakukan sama dengan paving block biasa yaitu di ruangan terbuka.

3.3. Lokasi Penelitian

- Untuk pembuatan paving block, penelitian dilakukan pada pengrajin pembuatan Batako yang berlokasi di Bontang Kuala - Bontang.

- Untuk uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Mekanikal Tanah, PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.
- Sedangkan untuk uji Fe dan logam berat terlarut dilakukan pada Unit Usaha Laboratorium PT. Pupuk Kalimantan Timur Tbk.

3.4. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini akan diamati tentang kemungkinan terjadinya leaching pada paving block yang dibuat dari campuran limbah katalis bekas, yaitu dengan melakukan analisa Fe terlarut dalam larutan air rendaman paving block. Setelah dilakukan analisa Fe terlarut, maka selanjutnya dilakukan uji kuat tekan terhadap paving block tersebut. Oleh karena itu, variabel yang dipilih dalam penelitian ini meliputi :

3.4.1. Perbandingan Bahan Baku Paving Block

Perbandingan bahan baku (semen, pasir dan limbah katalis) yang dipakai dalam penelitian ini adalah (% berat):

- a. 25 kg : 100 kg : 75 kg (12,50 % : 50,00 % : 37,50 %)
- b. 25 kg : 100 kg : 100 kg (11,10 % : 44,45 % : 44,45 %)
- c. 25 kg : 100 kg : 125 kg (10,00 % : 40,00 % : 50,00 %)
- d. 25 kg : 100 kg : 150 kg (9,09 % : 36,36 % : 54,55 %)
- e. 25 kg : 100 kg : 175 kg (8,33 % : 33,33 % : 58,34 %)
- f. 25 kg : 100 kg : 200 kg (7,69 % : 30,77 % : 61,54 %)

3.4.2. Waktu Perendaman Paving Block

Waktu perendaman paving block yang dipilih adalah :

- a. 3 Hari
- b. 7 Hari
- c. 14 Hari
- d. 21 Hari
- e. 28 Hari

3.4.3. Umur Paving Block

Umur paving block untuk penelitian ini adalah :

- a. 3 hari
- b. 7 hari
- c. 14 hari
- d. 21 hari
- e. 28 hari

3.5. Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang digunakan untuk analisa data adalah data primer (hasil percobaan), kemudian dibandingkan dengan standard atau reference yang ada.

3.6. Instrumen Penelitian

3.6.1 Pembuatan Paving Block

Bahan yang digunakan: Semen, pasir, katalis bekas dan air

Alat yang digunakan: Timbangan, Cetakan paving block, sekop, ember kecil, dan lain-lain.

3.6.1. Uji Kuat Tekan

Bahan yang digunakan: Paving block

Alat yang digunakan: Mesin press, mistar dan alat tulis

3.6.2. Uji Kandungan Fe

Bahan yang digunakan: Air rendaman paving block

Alat yang digunakan: Beaker glass, gelas ukur dan AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer)

3.7. Analisis Data

Data yang diperoleh pada penelitian tersebut, kemudian dianalisis secara statistik untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh (interaksi) antara variabel-variabel sebagai berikut :

- Hubungan antara waktu perendaman paving block limbah katalis bekas, dengan kandungan Fe terlarut.
- Hubungan antara kandungan katalis bekas dalam paving block dengan Fe terlarut.
- Hubungan antara komposisi / kandungan limbah katalis bekas dalam paving block dengan uji kuat tekan.
- Hubungan/korelasi antara umur paving block limbah katalis bekas dengan uji kuat tekan.

Masing-masing hipotesis kemudian dilakukan pengujian statistik, dengan menggunakan metoda "One Way Anova (Analysis of Variance)", untuk menentukan atau menguji apakah 2 (dua) populasi atau lebih yang independent, memiliki rata-rata yang dianggap sama atau tidak sama.

3.8. Prosedur Penelitian

3.8.1. Pembuatan Paving Block

- a. Siapkan semua bahan baku untuk pembuatan paving block seperti semen, pasir dan limbah katalis bekas.
- b. Timbang masing-masing bahan baku tersebut dengan perbandingan semen : pasir : katalis = 0,25 : 1 : 0,75 (misal 25 kg : 100 kg : 75 kg).
- c. Campur semua bahan baku dan lakukan pengadukan, hingga adonan tersebut dianggap sudah homogen.
- d. Masukkan campuran bahan baku kedalam mesin pencetakan paving block, kemudian lakukan pressing terhadap cetakan tersebut.
- e. Diamkan hasil cetakan paving block tersebut sampai kurang lebih satu hari atau sampai dianggap sudah kuat untuk dipindah/diangkat.
- f. Ulangi langkah b sampai dengan e untuk perbandingan semen : pasir : katalis, sebagai berikut :
 - 0,25 : 1,00 : 1,00
 - 0,25 : 1,00 : 1,25
 - 0,25 : 1,00 : 1,50
 - 0,25 : 1,00 : 1,75
 - 0,25 : 1,00 : 2,00

3.8.2. Menentukan Analisa Fe Terlarut

- a. Masing-masing paving block yang telah dicetak dan disemai, kemudian direndam dalam bak atau ember yang berisi larutan yang dibuat asam (pH = 5,5).
- b. Perendaman paving block tersebut, masing-masing dilakukan secara terpisah sesuai dengan komposisi perbandingan yang ditentukan.
- c. Aduk secara merata air rendaman paving block, kemudian ambil kurang lebih 500 ml (satu botol aqua tanggung) untuk dilakukan analisa Fe terlarut dengan menggunakan metoda ASTM Standard D 1068 – 96, dengan prosedur secara garis besar sebagai berikut :
 - Ambil masing-masing sample sebanyak 100 ml dalam beaker glass yang berukuran 125 ml.

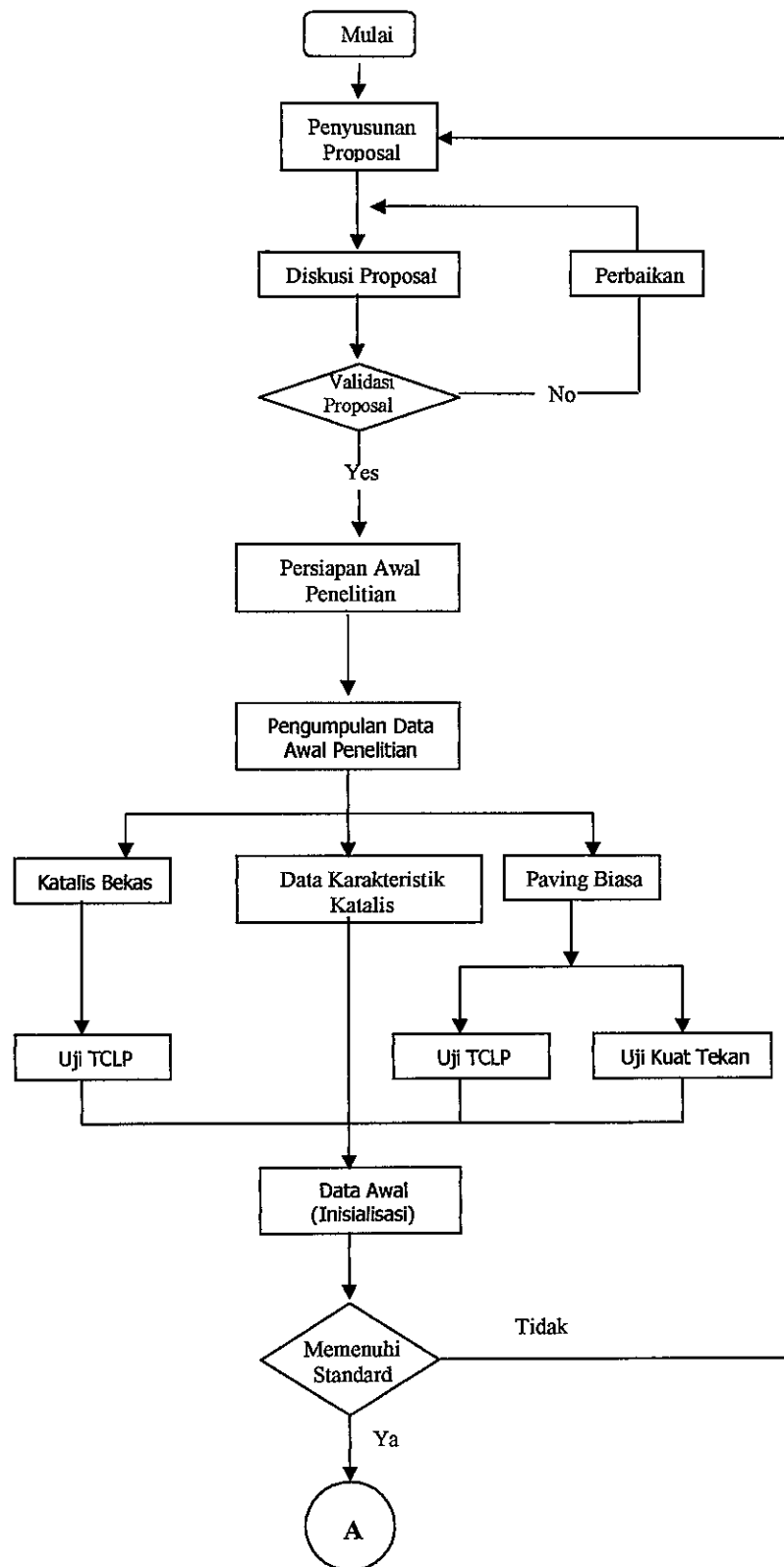
- Tambahkan 5 ml HCl (sp gr 1.19) pada masing –masing sample.
- Panaskan sample tersebut dalam steam bath atau hot plate, dengan ventilasi udara yang baik.
- Panaskan sampai volume dalam beaker glass berkurang menjadi 15 – 20 ml, namun dijaga agar sample yang dipanaskan tidak sampai mendidih.
- Dinginkan masing-masing sample tersebut dan tambahkan dengan air demin hingga volumenya sampai 100 mL.
- Lakukan analisa Fe pada masing-masing sample dengan menggunakan alat Atomic Absortion Spechtrophotometer dan catat hasilnya.

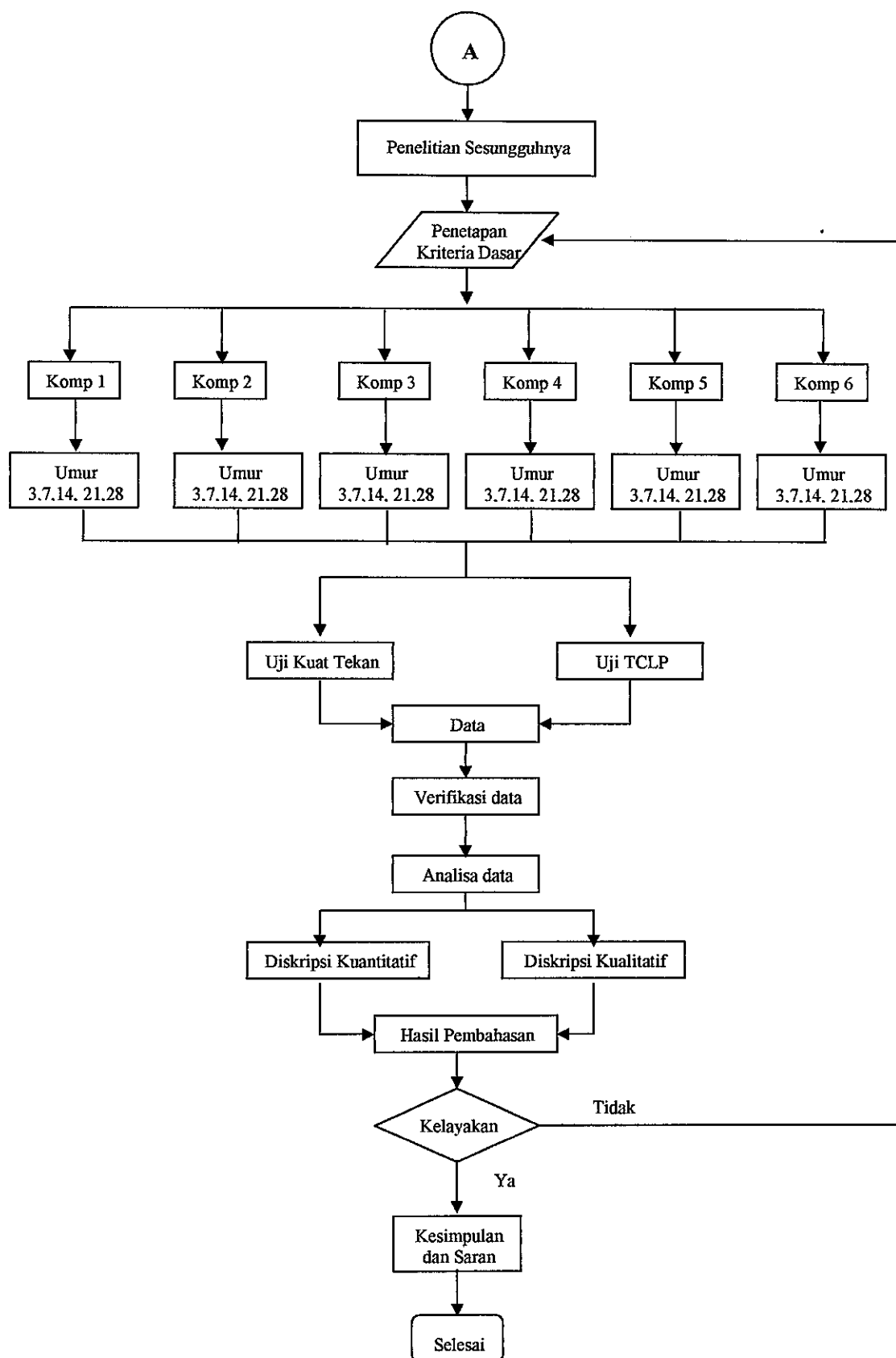
3.8.3. Perlakuan Uji Kuat Tekan

Paving block yang telah dicetak dengan masing-masing perbandingan seperti tersebut diatas, setelah berumur kurang dari satu minggu (misal 3 hari) kemudian di lakukan uji kuat tekan dengan menggunakan alat “concrete compressive strength” dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Ambil paving block dengan perbandingan semen : pasir : katalis = 0,25 : 1,00 : 0,75, kemudian tempatkan dalam alat press, concrete compressive strength.
- b. Kencangkan ulir penekan alat uji tekan sampai menekan paving block, kemudian ‘nol’ kan jarum penunjuk kuat tekan.
- c. Biarkan penekanan terhadap benda uji berlangsung, sampai benda uji tersebut pecah dan jarum penunjuk berhenti.
- d. Catat penunjukkan daya kuat tekan dari benda uji (paving block) tersebut, dimana penunjukkan dalam Kilo Newton (kN).
- e. Ulangi sampai dengan 5 (lima) buah sampel benda uji (paving block).
- f. Ulangi langkah b sampai e, untuk perbandingan semen : pasir : katalis sebagai berikut : 0,25 : 1,00 : 1,00 ; 0,25 : 1,00 : 1,25 ; 0,25 : 1,00 : 1,50 ; 0,25 : 1,00 : 1,75 ; dan 0,25 : 1,00 : 2,00
- g. Ulangi langkah b sampai dengan f untuk umur paving block 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu dan 4 minggu.

3.9. Diagram Alir Penelitian





Gambar 8. Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Awal Penelitian

4.1.1. Data Katalis

Tujuan dari pengambilan data katalis ini adalah untuk mengidentifikasi apakah bahan tersebut termasuk dalam kategori B3 atau bukan. Data ini, biasanya dapat dilihat dari data vendor yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat katalis atau yang disebut dengan material safety data sheet (MSDS), dimana dari MSDS tersebut akan diketahui sifat ataupun karakteristik bahan yang dipakai. Berdasarkan MSDS yang ada, maka katalis yang dikenal dengan nama KM1R ini, mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

a. Kandungan senyawa kimia

Kandungan senyawa kimia yang ada dalam katalis KM1R, dapat ditunjukkan seperti dalam tabel dibawah ini:

Tabel 10. Kandungan senyawa kimia katalis KM1R

No.	Nama Senyawa Kimia	Rumus Kimia	% Berat
1.	Iron	Fe	90 – 95
2.	Iron (II, III) oxide	Fe ₃ O ₄	1 – 4
3.	Calcium oxide	CaO	1 – 4
4.	Potassium oxide	K ₂ O	0 – 1
5.	Alumunium oxide	Al ₂ O ₃	1 – 4

Sumber : MSDS katalis KM1R, Haldor Topsoe

Dari data tersebut, menunjukkan bahwa kandungan atau komponen terbesar yang ada pada katalis tersebut adalah Fe, sedangkan senyawa-senyawa lainnya seperti Fe₃O₄, CaO, K₂O dan Al₂O₃ relatif sangat kecil kandungannya dan dapat diabaikan pengaruhnya. Dengan adanya kandungan Fe yang paling dominan maka pengamatan selanjutnya lebih dikonsentrasikan pada karakteristik dari senyawa besi ini.

b. Sifat Fisika dan Kimia

Sifat fisika dan kimia dari katalis KM1R, secara umum dapat diuraikan sebagai berikut:

- Bentuk (state) : padat
- Tampilan dan bau : ungu metallic, granul tidak beraturan, dengan sedikit bau ammonia

- pH : Not applicable
- Titik didih (boiling point) : Not applicable
- Titik leleh (boiling point) : 1400 °C / 2550 °F
- Kemudahan terbakar (flammability and limits) : Non flammable
- Kemudahan terbakar sendiri (autoflammability) : Not applicable
- Sifat peledakan (Explosive properties) : Non explosive
- Sifat Oksidasi (Oxidizing properties) : Non oxidizing
- Density relative terhadap air : diatas 1

Dari sifat fisika dan kimia tersebut, dapat disimpulkan bahwa katalis tersebut mempunyai sifat: tidak mudah terbakar, tidak mudah meledak, tidak mudah teroksidasi dan tidak korosif.

c. Stabilitas dan Reaktivitas

Pada dasarnya, katalis ini telah dilakukan proses stabilisasi dari pengaruh oksidasi udara luar dan dijaga kestabilannya selama kondisi normal pengangkutan dan penyimpanan. Adapun hal lain yang perlu diperhatikan adalah :

- Kondisi yang harus dihindari: terekspos ke udara pada temperatur diatas 100 °C / 210 °F (dapat mengakibatkan oksidasi eksothermis)
- Material yang harus dihindari: air (bereaksi membentuk hydrogen) dan menyebabkan self heating (pemanasan sendiri).
- Hazardous decomposition products: tidak diketahui.

d. Informasi Toksisitas (Biologi)

Data toksisitas terhadap senyawa penyusun katalis KM1R, dapat ditunjukkan seperti dalam tabel berikut:

Tabel 11. Data toksisitas katalis KM1R

Senyawa Kimia	Toxicity Data			
	Oral Child TDLo	Oral Rat LD ₅₀	Intr. Rabbit LDLo	Oral Gui. pig LD ₅₀
Iron	77 mg/kg	30 gm/kg	20 mg/kg	20 gm/kg
Iron oxide	No data	No data	No data	No data
Calcium oxide	No data	No data	No data	No data
Pottasium oxide	No data	No data	No data	No data
Alumunium oxide	No data	No data	No data	No data

Dari data toksisitas diatas, ternyata nilai LD_{50} (lethal dosis) dari katalis adalah 30 gr/kg berat badan yang berarti katalis tersebut bukan merupakan limbah B3, karena nilai ambang batas yang ditentukan oleh Bapedal adalah kurang dari 50 mgr/kg berat badan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk uji toksisitas, limbah katalis ini merupakan limbah yang cukup aman terhadap lingkungan.

e. Efek Kronis

Untuk efek kronis, dalam MSDS dijelaskan sebagai berikut:

- Carcinogenic: No listed
- Teratogenic: Not listed
- Mutagenic: Not listed

Dengan demikian juga dapat disimpulkan, bahwa efek kronis yang meliputi carcinogenic, teratogenic maupun mutagenic tidak dijumpai dalam limbah katalis tersebut.

4.1.2. Analisis Logam Berat Air Rendaman Katalis Bekas

Selain identifikasi katalis dari data MSDS, maka data lain yang diperlukan sebelum penelitian dilakukan adalah dengan menguji kandungan logam berat yang kemungkinan ada, yaitu dengan merendam katalis bekas tersebut dalam air, kemudian air rendaman tersebut dianalisis. Dari perendaman yang dilakukan selama 3 hari, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 12. Uji logam berat rendaman katalis bekas

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1.	Besi sebagai Fe ^{Total}	ppm	359.00
2.	Zinc sebagai Zn ²⁺	ppm	0.09
3.	Mangan sebagai Mn ²⁺	ppm	0.19
4.	Cadmium sebagai Cd ²⁺	ppm	0.00
5.	Chrom sebagai Cr ^{Total}	ppm	0.05
6.	Tembaga sebagai Cu ²⁺	ppm	0.01
7.	Timbal sebagai Pb ²⁺	ppm	0.00

Dari hasil pengujian yang dilakukan, ternyata besi yang terlarut (leaching) dalam air rendaman katalis sangat besar yaitu 359 ppm, hal ini menunjukkan jika katalis bekas tersebut dibuang begitu saja ke lingkungan, maka kemungkinan akan mengakibatkan terganggunya lingkungan karena adanya Fe terlarut yang cukup besar. Kandungan logam berat lain yang jumlahnya sangat kecil, seperti Zn (seng) sebesar 0,09 ppm, Mn (mangan) sebesar 0,19 ppm, Cr (Chrom) sebesar 0,05 ppm dan Pb (tembaga) sebesar 0,01 ppm, boleh jadi berasal dari air yang digunakan sudah mengandung logam tersebut.

4.2. Uji Kuat Tekan

4.2.1. Pengujian Kuat Tekan Paving Biasa (Tanpa Katalis Bekas)

Setelah data awal diidentifikasi dan dari hasil pengamatan sementara, limbah katalis tersebut cukup aman dan memungkinkan untuk dijadikan bahan bangunan (paving block), maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji kuat tekan terhadap paving biasa atau paving tanpa katalis bekas. Pengujian ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa paving dari katalis bekas yang akan dibuat paling tidak sama atau lebih tinggi kekuatannya dari paving biasa yang dijual dipasaran. Hasil pengujian paving block biasa pada umur 21 hari, dapat ditunjukkan seperti dalam table dibawah ini:

Tabel 13. Pengujian kuat tekan paving block biasa

Umur Paving	Pengujian	Uji Kuat Tekan		
		kN	Kg/cm ²	Rata-rata
21 Hari	I	260	95.05	
	II	260	95.05	
	III	220	80.43	89.2
	IV	260	95.05	
	V	220	80.43	

Dari hasil pengujian diatas menunjukkan kuat tekan rata-rata dari paving block biasa dengan umur 21 hari (3minggu) adalah 89,2 Kg/cm², dan bila dibandingkan dengan syarat fisis bata beton pejal, maka paving tersebut masuk untuk standar kelas II yang berarti digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindung dari cuaca luar (untuk konstruksi di bawah atap)..

4.2.2. Pengujian Kuat Tekan Paving Katalis Bekas

Pada pengujian kuat tekan paving block katalis bekas ini, sebagai variable adalah komposisi dari bahan yang digunakan untuk membuat paving dan umur dari paving tersebut. Untuk variable komposisi bahan yang terdiri dari semen (S) : pasir (P) : katalis bekas (K), dapat dijelaskan sebagai berikut:

- ✦ Komposisi 1, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 75
- ✦ Komposisi 2, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 100
- ✦ Komposisi 3, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 125
- ✦ Komposisi 4, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 150
- ✦ Komposisi 5, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 175

✦ Komposisi 6, dengan perbandingan (kg) S : P : K = 25 : 100 : 200

Sedangkan untuk variabel umur paving, dipilih umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan paving block katalis bekas dengan berbagai variabel komposisi dan umur paving adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Pengujian kuat tekan paving block katalis bekas

Umur Paving Block	Nama Sampel	Perbandingan (Kg) Semen:Pasir:Katalis	Kuat Tekan Rata-Rata	
			(kN)	kg/cm ²
3 Hari	Komposisi 1	25 : 100 : 75	361,25	132,07
3 Hari	Komposisi 2	25 : 100 : 100	380,00	138,92
3 Hari	Komposisi 3	25 : 100 : 125	400,00	146,24
3 Hari	Komposisi 4	25 : 100 : 150	402,50	147,15
3 Hari	Komposisi 5	25 : 100 : 175	386,67	141,36
3 Hari	Komposisi 6	25 : 100 : 200	380,00	138,92
7 Hari	Komposisi 1	25 : 100 : 75	377,50	138,01
7 Hari	Komposisi 2	25 : 100 : 100	397,50	145,30
7 Hari	Komposisi 3	25 : 100 : 125	400,00	146,24
7 Hari	Komposisi 4	25 : 100 : 150	458,33	167,56
7 Hari	Komposisi 5	25 : 100 : 175	425,00	155,38
7 Hari	Komposisi 6	25 : 100 : 200	414,00	149,89
14 Hari	Komposisi 1	25 : 100 : 75	420,00	153,55
14 Hari	Komposisi 2	25 : 100 : 100	421,25	154,00
14 Hari	Komposisi 3	25 : 100 : 125	431,67	157,81
14 Hari	Komposisi 4	25 : 100 : 150	447,50	163,60
14 Hari	Komposisi 5	25 : 100 : 175	437,50	159,95
14 Hari	Komposisi 6	25 : 100 : 200	435,00	159,00
21 Hari	Komposisi 1	25 : 100 : 75	425,00	155,38
21 Hari	Komposisi 2	25 : 100 : 100	437,50	159,95
21 Hari	Komposisi 3	25 : 100 : 125	440,00	160,86
21 Hari	Komposisi 4	25 : 100 : 150	477,50	174,57
21 Hari	Komposisi 5	25 : 100 : 175	446,67	163,30
21 Hari	Komposisi 6	25 : 100 : 200	447,50	163,60
28 Hari	Komposisi 1	25 : 100 : 75	425,00	155,38
28 Hari	Komposisi 2	25 : 100 : 100	467,50	170,91

Umur Paving Block	Nama Sampel	Perbandingan (Kg) Semen:Pasir:Katalis	Kuat Tekan Rata-Rata	
			(kN)	kg/cm ²
28 Hari	Komposisi 3	25 : 100 : 125	485,00	177,31
28 Hari	Komposisi 4	25 : 100 : 150	499,00	182,43
28 Hari	Komposisi 5	25 : 100 : 175	473,00	172,92
28 Hari	Komposisi 6	25 : 100 : 200	470,00	171,83

Dari tabel diatas dapat dilihat, bahwa:

- Kuat tekan yang paling rendah adalah 132,07 kg/cm², yaitu pada paving block dengan umur 3 hari dan perbandingan S : P : K = 25 : 100 : 75 (komposisi 1).
- Kuat tekan yang paling tinggi adalah 182 kg/cm², yaitu pada paving block dengan umur 28 hari dan perbandingan S : P : K = 25 : 100 : 150 (komposisi 4).
- Sedangkan kuat tekan rata-rata, dari umur 3 sampai 28 hari dengan berbagai komposisi adalah 156,78 kg/cm².

4.2.3. Hubungan Kuat Tekan dan Umur Paving Katalis Bekas

Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan seperti pada tabel 14, maka dengan menggunakan statistik (metoda one way anova), hubungan antara kuat tekan rata-rata dan umur paving pada berbagai komposisi dapat diperlihatkan seperti dalam tabel berikut ini:

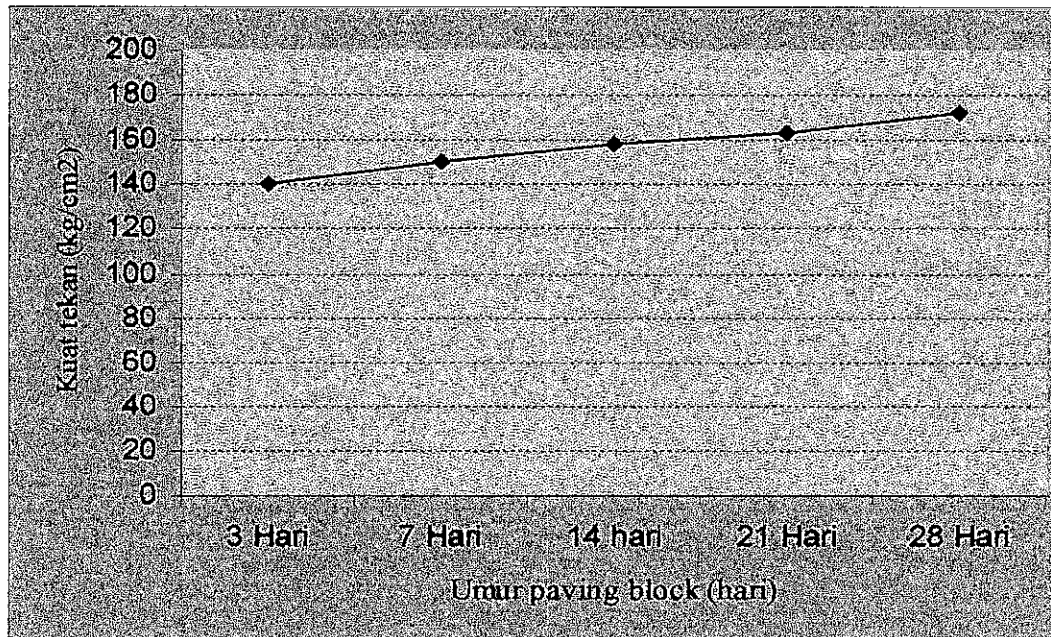
Tabel 15. Hubungan kuat tekan dan umur paving katalis bekas

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
					Lower Bound	Upper Bound		
3 Hari	6	140.7767	5.54090	2.26206	134.9618	146.5915	132.07	147.15
7 Hari	6	150.3967	10.16222	4.14871	139.7321	161.0613	138.01	167.56
14 Hari	6	157.9850	3.79473	1.54919	154.0027	161.9673	153.55	163.60
21 Hari	6	162.9433	6.42249	2.62197	156.2033	169.6833	155.38	174.57
28 Hari	6	171.7967	9.11066	3.71941	162.2356	181.3577	155.38	182.43
Total	30	156.7797	12.77643	2.33265	152.0089	161.5505	132.07	182.43

Dari tabel tersebut, maka dapat dijelaskan bahwa:

- Kuat tekan terkecil adalah: 140,78 kg/cm² (umur paving 3 hari)
- Kuat tekan terbesar adalah: 171,80 kg/cm² (umur paving 28 hari)
- Kuat tekan rata-rata adalah: 156,80 kg/cm²

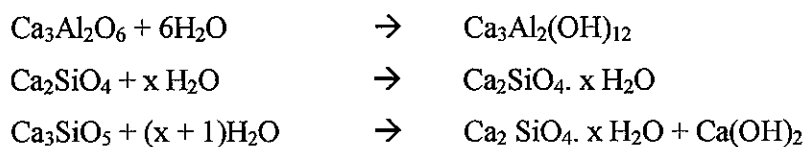
Sedangkan hubungan antara kuat tekan dengan umur paving katalis bekas dapat ditunjukkan seperti dalam gambar berikut ini:



Gambar 9. Grafik hubungan kuat tekan dengan umur paving katalis bekas

Jika diperhatikan dari gambar diatas, maka akan terlihat bahwa kekuatan dari paving block akan bertambah besar sejalan dengan umur paving block, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Bila semen bercampur dengan air, maka akan terjadi reaksi kimia hidrasi yang bersifat eksotermis atau melepaskan panas, menurut reaksi sebagai berikut:



Dari reaksi tersebut, maka dapat dijelaskan bahwa proses pengerasan semen bukan karena pengeringan akan tetapi karena proses hidrasi, oleh karena itu bata beton (paving block) sebaiknya harus tetap basah untuk menjamin pengerasannya sempurna. Hal yang perlu diperhatikan adalah, bahwa setelah pencetakan paving block, maka proses dari hidrasi akan berlangsung terus selama masih ada air atau uap air dan semen yang belum terhidrasi masih tersedia. Oleh karena itu, kekuatan dari bata beton (paving block) akan terus bertambah sejalan dengan umur paving sampai proses hidrasi sudah tidak terjadi lagi.

Dari hasil percobaan, rata-rata nilai kuat tekan pada umur 7 hari akan mengalami kenaikan yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan umur paving 3 hari, yang menunjukkan bahwa proses hidrasi masih terus berlangsung, demikian seterusnya untuk umur 14 hari, 21 hari dan 28 hari juga terus akan mengalami kenaikan kuat tekan yang menandakan bahwa proses hidrasi masih berlanjut.

4.2.4. Hubungan Kuat Tekan dengan Komposisi Bahan

Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan seperti pada tabel 14, maka dengan menggunakan statistik (metoda one way anova), hubungan antara kuat tekan rata-rata dan komposisi paving pada berbagai umur dapat diperlihatkan seperti dalam tabel berikut ini:

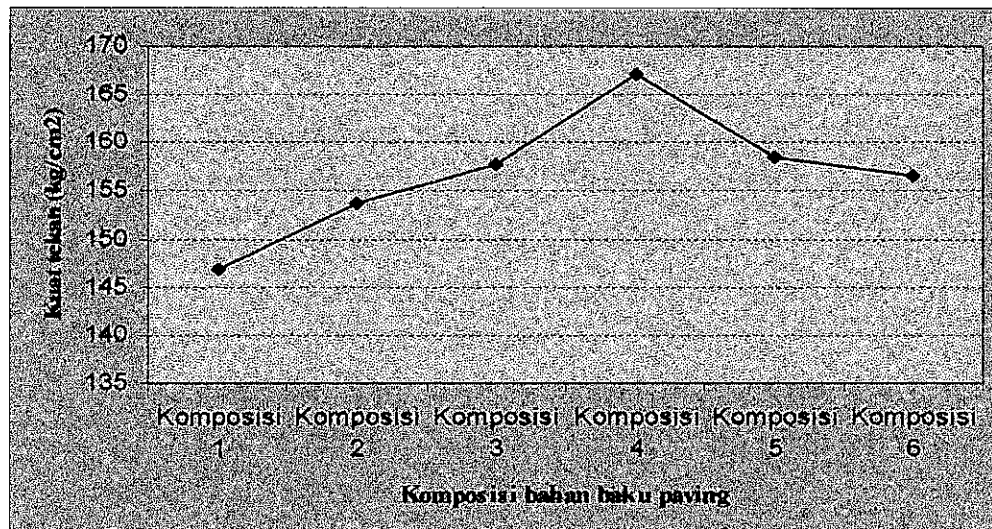
Tabel 16. Data statistik hubungan kuat tekan dan komposisi bahan baku paving

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
					Lower Bound	Upper Bound		
Komposisi 1	5	146.8772	11.03329	4.93424	133.1776	160.5768	132.07	155.38
Komposisi 2	5	153.8160	12.49278	5.58694	138.3042	169.3278	138.92	170.91
Komposisi 3	5	157.6920	12.81808	5.73242	141.7763	173.6077	146.24	177.31
Komposisi 4	5	167.0620	13.24072	5.92143	150.6215	183.5025	147.15	182.43
Komposisi 5	5	158.5830	11.58342	5.18026	144.2003	172.9657	141.36	172.93
Komposisi 6	5	156.6480	12.69161	5.67586	140.8893	172.4067	138.92	171.83
Total	30	156.7797	12.77667	2.33269	152.0088	161.5506	132.07	182.43

Dari data hasil uji statistic, maka dapat dijelaskan:

- Kuat tekan terendah terjadi pada komposisi 1, yaitu sebesar: 146,88 kg/cm²
- Kuat tekan tertinggi adalah pada komposisi 4, yaitu sebesar: 167,06 kg/cm²
- Kuat tekan rata-rata adalah: 156,78 kg/cm²

Sedangkan grafik yang menyatakan hubungan keduanya, dapat dilihat seperti gambar berikut ini:



Gambar 10. Grafik hubungan kuat tekan dengan komposisi bahan baku paving katalis

Pada grafik tersebut, ternyata semakin besar katalis bekas yang ditambahkan sebagai campuran atau pengisi bahan pembuatan paving block, maka kuat tekannya juga semakin bertambah besar, dalam hal ini grafik akan naik cukup tajam dari komposisi 1 menuju komposisi 2, demikian seterusnya hingga mencapai titik maksimum pada komposisi 4. Sedangkan pada saat dipakai komposisi 5, grafik justru akan turun, hal ini berarti jumlah katalis bekas yang ditambahkan mempunyai batasan optimum untuk ditambahkan sebagai bahan pengisi paving.

Keterbatasan katalis bekas sebagai bahan pengisi paving dapat dijelaskan sebagai berikut, fungsi dari katalis bekas yang dipakai sebagai bahan baku paving block adalah sebagai 'agregat' bersama-sama dengan pasir, dimana pasta semen akan mengisi setiap ruang, rongga atau celah dari tumpukan atau susunan katalis tersebut. Seperti diketahui, campuran agregat (katalis dan pasir) dengan semen yang dibuat paving block mempunyai kuat tekan jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan campuran yang terdiri dari hanya pasir dengan semen, tanpa katalis atau sebaliknya. Hal ini terbukti bahwa kuat tekan paving block yang dibuat dari pasir dan semen, rata-rata kuat tekannya adalah hanya sekitar $89,2 \text{ kg/cm}^2$, pada umur 21 hari. Sementara dari hasil percobaan kuat tekan terendah paving block dari campuran pasir, limbah katalis dan semen (komposisi 1) pada umur 21 hari adalah $155,38 \text{ kg/cm}^2$.

Namun demikian, penambahan katalis bekas pada pembuatan paving block juga perlu diperhatikan, karena ternyata pada kondisi atau penambahan dalam jumlah tertentu (berlebih), justru akan menurunkan kekuatan paving block itu sendiri. Hal ini disebabkan apabila agregat (katalis) yang dipakai terlalu banyak, maka proses pengikatan (setting) oleh semen tidak akan berlangsung secara sempurna dan kemungkinan rongga kosong yang tidak terisi juga akan

semakin banyak, sehingga kekuatan dari paving block tersebut menjadi berkurang. Dari hasil percobaan, diperoleh kondisi kuat tekan rata-rata yang paling baik adalah pada komposisi 4 yaitu pada perbandingan semen : pasir : katalis bekas (kg) = 25 : 100 : 150, sedangkan untuk penambahan atau ratio yang lebih besar lagi, justru kuat tekannya akan turun.

4.3. Uji TCLP (Fe Terlarut)

4.3.1. Analisa Logam Berat Air Rendaman Paving Block Biasa

Analisa logam berat pada air rendaman paving block biasa (tanpa campuran katalis) dilakukan untuk mengetahui apakah komposisi dalam paving biasa tersebut memang sudah mengandung logam berat (terutama Fe), sehingga apabila katalis bekas tersebut dipakai sebagai bahan pengisi paving, maka wajar jika analisa Fe terlarut dalam paving cukup besar nilainya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap paving block biasa, selama perendaman 3 hari diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 17. Uji Fe dan logam berat rendaman paving biasa

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji
1.	Besi sebagai Fe ^{Total}	ppm	0.00
2.	Zinc sebagai Zn ²⁺	ppm	0.02
3.	Mangan sebagai Mn ²⁺	ppm	0.02
4.	Cadmium sebagai Cd ²⁺	ppm	0.00
5.	Chrom sebagai Cr ^{Total}	ppm	0.00
6.	Tembaga sebagai Cu ²⁺	ppm	0.00
7.	Timbal sebagai Pb ²⁺	ppm	0.00

Dari hasil pengujian tersebut, ternyata Fe terlarut dalam air rendaman paving biasa adalah 'trace' atau tidak terdeteksi, hal ini berarti bahwa air yang digunakan maupun bahan-bahan baku pembuatan paving biasa kandungan Fe nya sangat kecil, sehingga dapat dikatakan unsur-unsur pengganggu yang dapat memperbesar kandungan Fe dari paving katalis bekas yang akan diteliti tersebut hampir dikatakan tidak ada. Sedangkan Zn dan Mn yang masing-masing besarnya 0,02 ppm, adalah berasal dari air yang dipakai dalam perendaman paving.

4.3.2. Hasil pengujian Fe terlarut rendaman paving katalis bekas

Setelah pengujian analisa Fe terlarut dilakukan pada paving biasa untuk data reference (pembanding), maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada paving katalis bekas dengan variable waktu perendaman dan komposisi dari katalis bekas yang ditambahkan

pada pembuatan paving. Hasil pengujian untuk berbagai komposisi katalis yang ditambahkan dan waktu perendaman, dapat dilihat seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 18. Analisa Fe terlarut untuk berbagai komposisi katalis dan waktu perendaman

Komposisi	Komposisi (kg) Semen:Pasir:Katalis	Analisa Fe Terlarut (ppm)				
		3 Hari	7 Hari	14 Hari	21 Hari	28 hari
1	25 : 100 : 75	0,00	0,01	0,01	0,06	0,10
2	25 : 100 : 100	0,00	0,01	0,07	0,10	0,10
3	25 : 100 : 125	0,05	0,10	0,18	0,20	0,24
4	25 : 100 : 150	0,03	0,05	0,10	0,17	0,21
5	25 : 100 : 175	0,05	0,07	0,12	0,24	0,26
6	25 : 100 : 200	0,10	0,14	0,23	0,31	0,33
0	25 : 100 : 0,00	0,00	0,01	0,01	-	-

Dari hasil percobaan pembuatan paving katalis bekas tersebut, dapat dilihat bahwa:

- Fe terlarut yang paling rendah adalah 0,00 ppm, yaitu pada komposisi 1 dan 2 dengan waktu perendaman 3 hari.
- Fe terlarut yang paling tinggi adalah 0,33 ppm, yaitu pada komposisi 6 dengan waktu perendaman selama 28 hari.

Sedangkan Fe terlarut paving biasa pada umur 7 hari dan 14 hari tidak mengalami perubahan, yaitu 0,01 ppm.

4.3.3. Hubungan Fe terlarut dengan waktu perendaman paving katalis

Dengan menggunakan perhitungan statistik (metoda one way anova), maka hubungan antara waktu perendaman paving dengan Fe yang terlarut dari paving campuran katalis bekas tersebut, dapat disajikan seperti dalam tabel berikut:

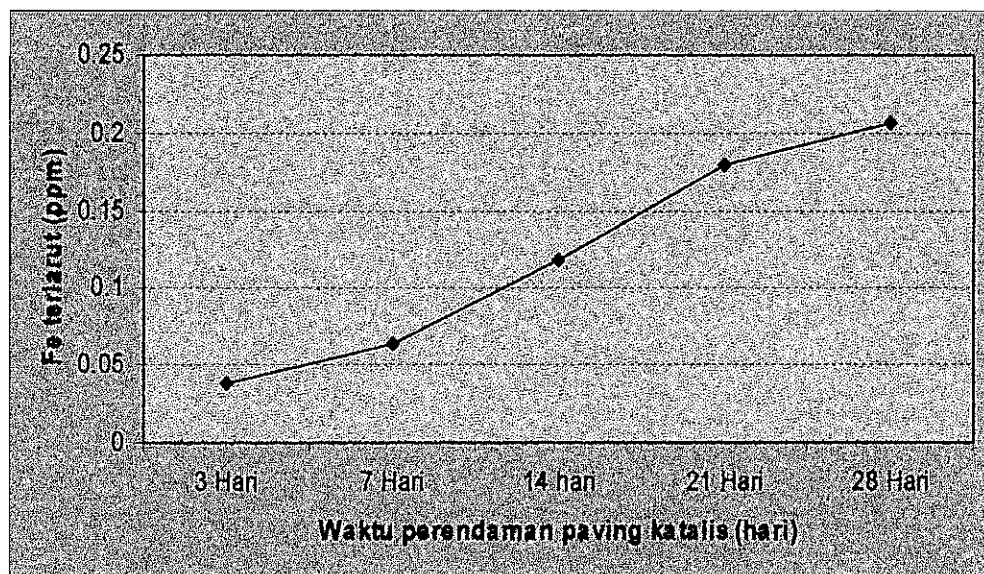
Tabel 19. Hubungan antara Fe terlarut rata-rata dengan waktu perendaman paving katalis

Waktu Perendaman Paving	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
					Lower Bound	Upper Bound		
3 hari	6	.0383	.03764	.01537	-.0012	.0778	.00	.10
7 hari	6	.0633	.05125	.02092	.0095	.1171	.01	.14
14 hari	6	.1183	.07834	.03198	.0361	.2005	.01	.23
21 hari	6	.1800	.09143	.03733	.0840	.2760	.06	.31
28 hari	6	.2067	.09158	.03739	.1106	.3028	.10	.33
Total	30	.1213	.09479	.01731	.0859	.1567	.00	.33

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa:

- Rata-rata Fe terlarut pada berbagai komposisi, paling rendah adalah pada waktu perendaman selama 3 hari yaitu: 0,0383 ppm
- Rata-rata Fe terlarut pada berbagai komposisi, paling tinggi adalah pada waktu perendaman dilakukan selama 28 hari yaitu: 0,2067 ppm
- Rata-rata total Fe terlarut pada berbagai komposisi dan berbagai waktu perendaman adalah: 0,1213 ppm.

Dari data analisa Fe terlarut yang dilakukan tersebut, juga dapat ditampilkan dalam bentuk grafik yaitu sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik hubungan Fe terlarut dengan waktu perendaman paving katalis

Pada saat perendaman dilakukan selama 3 hari dengan berbagai komposisi katalis bekas yang ditambahkan pada pembuatan paving block, dapat dikatakan Fe yang terlarut masih sangat sedikit atau dapat dikatakan 'trace', namun pada saat perendaman dilakukan berturut-turut selama 7, 14, 21 dan 28 hari, kandungan Fe dalam air rendaman tersebut perlahan akan naik dan tertinggi adalah 0,21 ppm, meskipun dalam batas yang masih dapat diterima atau dibawah ambang batas yang ditentukan, yaitu 1 ppm untuk air bersih dan 0,3 ppm sebagai standar air minum. Adanya kecenderungan kenaikan Fe terlarut dengan bertambahnya waktu perendaman adalah merupakan hal yang wajar selama pelarutannya masih dalam batas yang dapat diterima oleh lingkungan. Oleh karena itu seharusnya pemantauan terhadap penggunaan paving block oleh masyarakat perlu dipantau secara berkelanjutan, tidak terbatas sampai batas 28 hari.

4.3.4. Hubungan Fe terlarut dengan komposisi bahan baku paving katalis

Besarnya katalis bekas yang ditambahkan kedalam pembuatan paving block, akan berpengaruh terhadap hasil analisa Fe terlarut. Hal ini dapat dilihat pada pengujian paving katalis bekas tersebut pada masing-masing komposisi, seperti tabel dibawah ini:

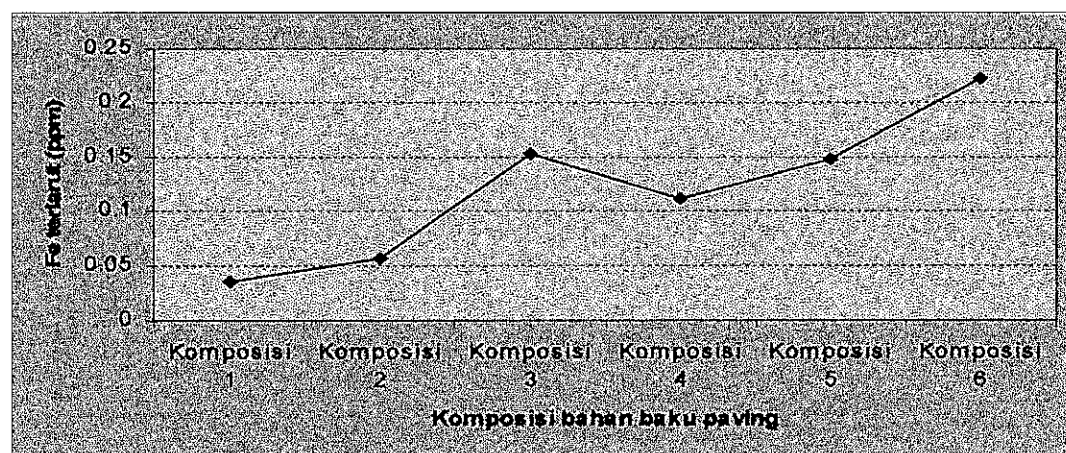
Tabel 20. Hubungan antara Fe terlarut rata-rata dengan komposisi katalis bahan baku paving

Katalis bekas sebagai agregat	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min.	Max.
					Lower Bound	Upper Bound		
Komposisi 1	5	.0360	.04278	.01913	-.0171	.0891	.00	.10
Komposisi 2	5	.0560	.04827	.02159	-.0039	.1159	.00	.10
Komposisi 3	5	.1540	.07733	.03458	.0580	.2500	.05	.24
Komposisi 4	5	.1120	.07694	.03441	.0165	.2075	.03	.21
Komposisi 5	5	.1480	.09680	.04329	.0278	.2682	.05	.26
Komposisi 6	5	.2220	.10134	.04532	.0962	.3478	.10	.33
Total	30	.1213	.09479	.01731	.0859	.1567	.00	.33

Jika diperhatikan pada tabel diatas, maka:

- Rata-rata Fe terlarut pada berbagai waktu perendaman, paling rendah adalah pada komposisi 1, yaitu: 0,0360 ppm.
- Rata-rata Fe terlarut pada berbagai waktu perendaman, paling tinggi adalah pada komposisi 6 yaitu: 0,2220 ppm.
- Rata-rata total Fe terlarut pada berbagai waktu perendaman dan komposisi : 0,1213 ppm.

Dari hasil analisa Fe terlarut pada masing-masing komposisi, dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti dalam gambar berikut ini:



Gambar 12. Grafik Hubungan Fe terlarut dengan komposisi bahan baku paving katalis

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa pada saat komposisi 1, Fe yang terlarut masih relatif sangat rendah, namun secara perlahan kandungan Fe terlarut dalam air rendaman paving katalis akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah katalis bekas yang ditambahkan kedalam pembuatan paving, yaitu pada komposisi 2, 3, 4, 5 dan 6, dimana analisa tertinggi adalah 0,2220 ppm (komposisi 6). Hal ini sangat beralasan, karena semakin banyak katalis bekas yang ditambahkan dalam pembuatan paving block, maka kemampuan semen yang berfungsi sebagai pengikat, dalam menembus ruang-ruang kosong akan semakin berkurang, akibatnya pengikatan semen terhadap limbah katalis menjadi tidak sempurna. Meskipun secara keseluruhan sampai dengan komposisi 6, kandungan Fe terlarut masih berada dibawah ambang batas, namun penambahan jumlah katalis sebagai bahan agregat dalam pembuatan paving block perlu dibatasi, untuk menghindari kelarutan Fe yang berlebihan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- Dari hasil identifikasi data awal penelitian, yang meliputi uji karakteristik, uji toksikologi dan lain-lain, ternyata katalis bekas dari reaktor ammonia yang berbasis Fe tersebut bukan merupakan limbah B3
- Hasil uji kuat tekan dari berbagai komposisi dan umur paving block dari katalis bekas tersebut, menunjukkan kekuatan yang cukup tinggi dan jauh lebih baik jika dibandingkan dengan paving biasa (tanpa katalis bekas)
- Pemanfaatan limbah katalis bekas berbasis Fe sebagai bahan pengisi dalam pembuatan paving block adalah sangat baik dan bisa diterima lingkungan, karena dari hasil uji TCLP terhadap kemungkinan Fe terlarut pada air rendaman paving block dengan berbagai variasi waktu perendaman dan komposisi katalis bekas, hasilnya menunjukkan masih dibawah ambang batas yang ditentukan.

5.2. Saran

- Pernyataan bahwa limbah katalis reaktor ammonia yang berbasis Fe bukan merupakan limbah B3, perlu dikomunikasikan dengan instansi terkait dan masyarakat pengguna paving block katalis bekas ini, sehingga tidak terjadi salah pengertian dikemudian hari.
- Untuk mencapai kekuatan yang optimum, maka sebaiknya penggunaan katalis bekas yang ditambahkan dalam pembuatan paving block adalah dengan perbandingan (% berat) semen : pasir : katalis = 0,25 : 1 : 1,5 atau 1 : 4 : 6.
- Perlu dilakukan pemantauan berkelanjutan terhadap kemungkinan Fe yang terlarut dari paving block limbah katalis yang telah dikonsumsi atau dipakai oleh masyarakat, tidak terbatas hanya pada 28 hari (4 minggu), tapi sampai beberapa waktu lagi hingga yakin bahwa pemakaian paving katalis bekas adalah aman, tidak mengganggu lingkungan.

BAB V
DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM Designation D 1068 – 96, *Standard Test Methods for Iron in Water*, 1996.
2. Cement Admixtures, second edition, Longman Group UK Limited, 1988.
3. David H.F. Liu, *Solidification and Stabilization Technologies*, U.S. Environmental Protection Agency, Engineering Bulletin, 1993.
4. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, “Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I.-2”, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung, 1971.
5. Departemen Pekerjaan Umum, “Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)”, Yayasan LPMB Bandung, 1989.
6. Djaprie Sriati, “*Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*”, PT. Gelora Aksara Pratama edisi ke empat, cetakan ke tiga, 1987.
7. Gabriel, J.F., “Fisika Lingkungan”, Hipokrates, Jakarta, 1999.
8. Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials, William Andrew Publishing, 2002.
9. Heinz Frick dan Koesmartadi Ch., “Ilmu Bahan Bangunan”, Kanisius, Yogyakarta, 1999.
10. Kementerian Lingkungan Hidup, *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun*, 2002, 435-467.
11. Kemeterian Lingkungan Hidup, *Peraturan Pemerintah Nomor 85 Tahun 1999 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 13 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*, 2002, 293-395.
12. Kemeterian Lingkungan Hidup, *Keputusan Kepala BAPEDAL Nomor 03/Bapedal/ 09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B3*, 2002, 497-509.
13. Kirk-Othmer, third edition volume 5, “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, John Wiley and Sons, Inc., 1979.
14. Lyptax Liu, second edition, “*Environment Engineer’s Handbook*”, 1997.
15. Panitia Pembaharuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971, “*Peraturan Beton Bertulang Indonesia*”, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Departemen PU dan Tenaga Listrik, Jakarta, cetakan ke 7 tahun 1979.