

SKRIPSI

PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KERTAS (SLUDGE) DAN LIMBAH PADAT PEMBAKARAN BATUBARA (FLY ASH) SEBAGAI ALTERNATIF PEMBUATAN PAVING BLOCK.

**OLEH
DIAH WAHYU LESTARIANI
01.26.022**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2007

SECRET

THESE ARE THE ONLY COPIES OF THIS DOCUMENT
WHICH ARE BEING DISTRIBUTED TO YOU (GROUP 1)
BY THE NATIONAL SECURITY AGENCY
FOR YOUR INFORMATION ONLY

TOP SECRET

GROUP 1 EXCLUDED FROM AUTOMATIC
DOWNGRADING AND DECLASSIFICATION

THIS DOCUMENT IS UNCLASSIFIED
EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE
DATE 08-14-2001 BY 60322 UCBAW/STP
FOR THE NATIONAL SECURITY AGENCY

TOP SECRET

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KERTAS (*SLUDGE*) DAN LIMBAH
PADAT PEMBAKARAN BATUBARA (*FLY ASH*) SEBAGAI ALTERNATIF
PEMBUATAN *PAVING BLOCK***

OLEH:


DIAH WAHYU LESTARIANI

01.26.022

Menyetujui:

Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I



Ir. Raphael Sotang
NIP.Y. 1018000028

Dosen Pembimbing II



Candra Dwi Ratna ST, MT
NIP. Y.1030000349

Mengetahui

Ketua Jurusan/Prodi Teknik Lingkungan



Sudirno ST, MT

NIP.Y 1039900327



LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KERTAS (*SLUDGE*) DAN LIMBAH
PADAT PEMBAKARAN BATUBARA (*FLY ASH*) SEBAGAI ALTERNATIF
PEMBUATAN *PAVING BLOCK*

OLEH
DIAH WAHYU LESTARIANI

01.26.022

Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian komprehensif Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 22 Maret 2007.

Menyetujui

Panitia Ujian Komprehensif Skripsi



Ketua

Ir. Agustina Nural Hidayati, MTP
NIP.Y. 103900214

Sekretaris

Sudiro, ST. MT
NIP.Y. 1039900327

Dosen Penguji I

Ir. Ibnu Hidayat P.J. MT
NIP.Y. 131947534

Dosen Penguji II

Tuani Lidiawati, ST. MT

LEMBAR PERSEMBAHAN



Hidup itu bagaikan tidur, dan kematian bagaikan penjaga yang selalu mengintai, sedang manusia terletak di antara keduanya, bagai bayangan yang berjalan Maka tunaikanlah semua keperluanmu dengan segera Sesungguhnya usiamu hanyalah bagaikan suatu bab di antara bab - bab yang ada Paculah semangat mudamu dan jangan malas sebelum masa mudamu dikembalikan Karena sesungguhnya masa muda mu adalah pinjaman

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur aku Panjatkan kepada ALLAH SWT yang selalu memberiku pertolongan, perlindungan & kasih sayang hanya kepada-Nyalah ditadahkan semua telapak tangan di penghujung malam hari untuk meminta, ya ALLAH dengan pertolonganmu saya dapat menyelesaikan skripsi ini



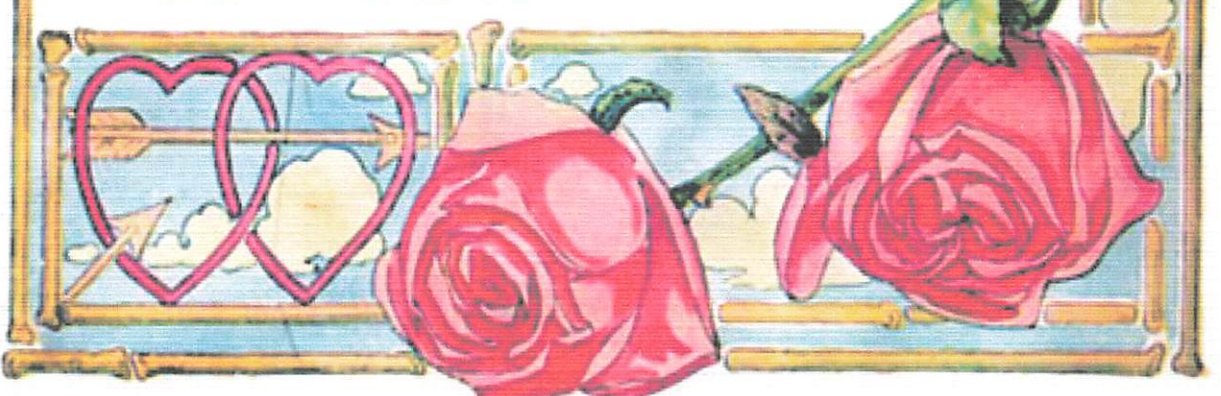
DIAH THANKS TO

BUAI KELOARGAKU

- 🍎 *Atlm. MAMAKU yang yang paling kusayang. Doaku slalu buat mama.*
- 🍎 *PAPAKU tersayang terima kasih banyak atas dukungan, kasih sayang, doa & dana sehingga Diah dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.*
- 🍎 *BUDE TON makasi banyak atas doanya.*
- 🍎 *Adekku SARI (MENYOL) & FIRMAN (PING*) yang paling ku sayang, Jangan nakal & belajar yang rajin.*
- 🍎 *Buat semua KELUARGA BESARKU tersayang terima kasih atas doa dan Dukungannya.*

BUAI CAYANGKU

- 🍎 *Makasi ya sayang kamu da banyak ngasih aku cinta, kasih sayang, perhatian dan semangat aku sayang kamu....**LOVE**.*



BUAI TEMAN - TEMANKU

- Mbok De, mbok inget ya perjuangan kita selama asistensi. trims Ya u da anterin aku ampai kamu kena dapet...he



- Bek Sur, makasi ya kamu da semangatn aku sampai aku Bisa Menyelesaikan skripsiku...



- Mak E, Makasi ya mak kamu da banyak ngasi aku Bantuan. semangat n pinjaman komputernya. Cepet rabi karo om mak....he...he...



- Mas Pay si ojrit, makasi ya mas pay kamu da anterin aku kemana aja, cepet lulus ya mas pay sayang....



- Pocong n mak pah, kita sama² berjuang bersama, mak pah jangan makan & bozk aja, pocong jangan loncat terus tar capek He...he...





🍎 **Uisul** trims ya atas **doan** semangat yang u kasih buat aku. **Nensy** Yuk jalan², **kingkong** Yudha kapan rencana diet ni, **Pak Be** cepet Kavin yo. **Weny** kapan rencana buat anak lagi?, n **mas bangun** Makasi bangsat Teman² akhirnya kita bisa wisuda bareng he

🍎 **Katok** bedah cepet lulus yo n makasi da bantuin aku kerjain tugas besar miss u.....

🍎 **Mithon** gak nyangka ya kamu duluin kita nikah, moga bahagia ya n cepet **buat**in kita ponakan he..he..

🍎 Buat **Ike** makasi ka **giser** ma printnya.. kamu baik banget deh..

🍎 Buat teman - teman 2001 "**Wildan, ninik, Erwin, Teguh, nestia, Zainal, Baby, Popy, dll**" semangat kuliah biar cepet lulus..

🍎 Buat **Kosi** makasi doanya, **Asri** n **Dhani** makasi ya da semangatⁱⁿ Aku. Dintol kapan nikah makasi ya doanya

🍎 **mas Tobok** trims ya semangat, **nasihat** n doanya

🍎 **Teman-teman kos** ku jangan rame aja n cepet lulus aja

🍎 Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang da ngasi semangat n doanya, makasi ya



Buat temen² yang lain.....Cayoo.....



ABSTRAK

Selain komponen bangunan, untuk memenuhi kebutuhan hidupnya manusia mengembangkan produk – produk lain baik dibidang energi maupun kebutuhan dasar lainnya yang dalam prosesnya menghasilkan limbah yang dapat membahayakan lingkungan seperti PLTU yang menghasilkan *fly ash* dan pabrik kertas yang menghasilkan *sludge*. untuk mengatasi permasalahan tersebut maka limbah – limbah tersebut dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *paving block*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi *fly ash* dan *sludge* yang terbaik sehingga dapat menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang baik sesuai dengan SNI 03-0691-1996 dan menentukan jumlah reduksi limbah padat.

Metode yang digunakan adalah metode stabilisasi – solidifikasi yaitu mengubah watak fisik dan kimiawi limbah B-3 dengan cara penambahan senyawa pengikat yaitu dengan cara memanfaatkan limbah sebagai *paving block*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan perbandingan berat semen, *fly ash*, pasir, dan *sludge*. Untuk variasi semen dan *fly ash* sebagai pengikat yaitu (1:0. 0,9:0,1.0,8:0,2. 0,7:0,3), sedangkan variasi *sludge* dan pasir sebagai agregat (4:0. 3:1. 2,5:1,5. 2:2), uji kualitas *paving block* disesuaikan dengan SNI 03-0691-1996 meliputi uji kuat tekan, uji penyerapan air, uji *leaching*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Perbandingan komposisi pengikat dan agregat adalah 1: 4, untuk komposisi semen dan *fly ash* sebagai pengikat yaitu 0,8 : 0,2, sedangkan komposisi pasir dan *sludge* sebagai agregat yaitu 3 : 1 memiliki mutu *paving block* kelas B untuk kuat tekan dan penyerapan air, yang dapat digunakan untuk pelataran parkir. (2) Kadar Pb pada uji *leaching* dalam *paving block* berada dibawah baku mutu uji TCLP. (3) Pemanfaatan *sludge* dalam pembuatan *paving block* dapat mereduksi *sludge* sebesar 0,56 kg dan *fly ash* 0,112 kg.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Padat Kertas (*Sludge*) dan Limbah Padat Pembakaran Batubara (*Fly Ash*) Sebagai Alternatif Pembuatan *Paving Block*” ini tepat pada waktunya.

Skripsi ini disusun setelah melalui penelitian, analisa data dan pembahasan dari data yang telah diperoleh dari penelitian. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, kerja sama dan bimbingan dari semua pihak. Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro ST, MT Selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Ibu Anis Artiyani ST Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan.
3. Bapak Ir. Raphael Sotang Selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Candra Dwi Ratna ST, MT Selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Ir. Ibnu Hidayat. P. J, MT Selaku Dosen Penguji I.
6. Ibu Tuani Lidiawati, ST. MT Selaku Dosen Penguji II.
7. Dosen-dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
8. Papa dan mama tercinta, yang selalu memberi dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan atas laporan ini, membuat penyusun berharap akan adanya masukan dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan skripsi yang kami susun.

Akhirnya penyusun berharap Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater, khususnya para rekan-rekan mahasiswa Teknik Lingkungan ITN Malang dan masyarakat luas pada umumnya.

Malang, Maret 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTARii
DAFTAR ISI.....	.ii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBARix
DAFTAR LAMPIRANx

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6. Hipotesis Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Paving Block	5
2.1.1. Umum	5
2.1.2. Klasifikasi Paving Block	5
2.1.3. Kegunaan Paving Block	7
2.1.4. Keuntungan Penggunaan Paving Block	7
2.1.5. Syarat Mutu Paving Block	9
2.2. Curing (Perawatan).....	9
2.3. Bahan-Bahan Penyusun Paving Block	10
2.3.1. Semen Portland.....	10
2.3.1.1. Definisi Semen Portland	10
2.3.1.2. Komposisi kimia Semen Portland	11
2.3.1.3. Hidrasi Semen Portland	16
2.3.2. Agregat	21
2.3.2.1. Definisi Agregat	21

2.3.2.2. Klasifikasi Agregat.....	22
2.3.2.3. Syarat Mutu Agregat	22
2.3.2.4. Agregat Pembentuk Beton.....	23
2.3.3. Air.....	24
2.4. Pozzolan....	25
2.4.1. Definisi Pozzolan	25
2.4.2. Klasifikasi Pozzolan.....	25
2.4.3. Spesifikasi Mutu Pozzolan	26
2.4.4. Kegunaan dan Pengaruh Pozzolan	27
2.5. Fly Ash	28
2.6. Sludge	29
2.6.1. Karakteristik Sludge	29
2.6.1.1. Berat Jenis	29
2.6.1.2. Komposisi Kimia.....	30
2.6.1.3. Komposisi Biologi.....	33
2.7. Limbah Padat (<i>Sludge</i>) Pabrik Kertas	34
2.8. Logam Berat	36
2.8.1. Timbal(Pb)	36
2.8.1.1.Umum	36
2.8.1.2.Bahaya dari Timbal(Pb)	37
2.8.1.3. Tingkat Pb Normal dalam Tubuh.....	37
2.9. Metode Pengolahan Data	38
2.9.1. Statistik Deskriptif	38
2.9.2. Statistik Inferensi.....	41

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian.....	45
3.2. Waktu Penelitian	45
3.3. Variasi Penelitian	45
3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	46
3.4.1. Perlakuan Pendahuluan	46
3.4.2. Analisa Pendahuluan	47

3.4.3.Persiapan Penelitian	47
3.4.4.Proses Pembuatan Paving Block	48
3.4.5.Uji Syarat Mutu Paving Block	50
3.5. Kerangka Penelitian.....	51

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian	52
4.2. Data Hasil Penelitian Pembuatan Paving Block.....	53
4.2.2.Uji Kuat Tekan Paving Block	53
4.2.3.Uji Penyerapan Air Paving Block	54
4.2.5.Uji Leaching Paving Block	56
4.3. Analisa Data	57
4.3.1. Analisa Hasil Uji Kuat Tekan Paving Block.....	57
4.3.1.1. Analisa Deskriptif.....	57
4.3.1.2. Analisa ANOVA	59
4.3.1.3. Analisa Korelasi	60
4.3.1.4. Analisa Regresi.....	61
4.3.2. Analisa Hasil Uji Penyerapan Air Paving Block.....	64
4.3.2.1. Analisa Deskriptif.....	64
4.3.2.2. Analisa ANOVA	65
4.3.2.3. Analisa Korelasi	66
4.3.2.4. Analisa Regresi.....	67
4.3.3. Analisa Hasil Uji Leaching Paving Block.....	70
4.3.2.1. Analisa Deskriptif.....	70
4.3.2.2. Analisa ANOVA	72
4.3.2.3. Analisa Korelasi	73
4.3.2.4. Analisa Regresi.....	75
4.4. PEMBAHASAN	78
4.4.1. Kuat Tekan Paving Block.....	78
4.4.2. Penyerapan Air Paving Block	81
4.4.3. Kadar Leaching Logam Pb Paving Block	83
4.5. Penentuan Komposisi Terbaik Dalam Paving Block	86

4.6. Perhitungan Reduksi Sludge 87

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan..... 89

5.2. Saran.....20

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1 Standart mutu sifat fisika <i>paving block</i>	8
2.2. Komposisi Bahan Baku Semen.....	11
2.3. Penggunaan dan Karakteristik Tipe Semen Portland.....	14
2.4. Persyaratan Mutu Semen Portland.....	15
2.5. Spesifikasi Teknis Semen Gresik Type I.....	15
2.6. Spesifikasi Agregat yang Digunakan dalam Beton.....	23
2.7. Spesifikasi Mutu Pozzolan.....	26
2.8. Spesifikasi Mutu Fisik Pozzolan.....	27
2.9. Hasil Analisa Kimia Fly Ash PLTU Paiton.....	28
2.10. Berat Jenis dan Jumlah Produksi Lumpur dari Berbagai Proses dan Operasi Pengolahan Limbah Cair.....	30
2.11. Komposisi Kimia Lumpur yang Belum Diolah dan yang Sudah Melewati Proses Pengolahan.....	31
2.12. Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam Lumpur Air Limbah.....	32
2.13. Konsentrasi BOD dan Suspended Solid dari Berbagai Fasilitas yang Memproses Lumpur.....	33
2.14. Karakteristik Limbah Padat Kertas.....	35
2.15 Koefisien Korelasi <i>Guilford</i>	42
3.1 Perbandingan Semen, <i>Fly Ash</i> , Pasir, dan <i>Sludge</i>	46
4.1 Nilai Kandungan Awal Logam Dalam <i>Sludge</i>	52
4.2 Nilai Kandungan Awal Logam Dalam <i>Fly Ash</i>	52
4.3. Hasil Uji Kuat Tekan <i>Paving Block</i>	54
4.4. Hasil Uji Penyerapan Air <i>Paving Block</i>	55
4.5. Hasil Uji Leaching <i>Paving Block</i>	56
4.6. Analisa ANOVA Nilai Kuat Tekan Pada <i>Paving Block</i>	59
4.7. Korelasi antara Nilai Kuat Tekan Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran <i>Paving Block</i>	85
4.8. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Kuat Tekan Pada <i>Paving Block</i>	60
4.9. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Kuat Tekan.....	61
4.10. Analisa ANOVA Nilai Penyerapan Air Pada <i>Paving Block</i>	63

4.11. Korelasi antara Nilai Penyerapan Air Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran <i>Paving Block</i>	67
4.12. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Penyerapan Air Pada <i>Paving Block</i>	68
4.13. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Penyerapan Air.....	69
4.14. Analisa ANOVA Nilai Kadar Leaching Logam Pb Pada <i>Paving Block</i>	72
4.15. Korelasi antara Nilai Kandungan leaching Pb (ppm) Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran <i>Paving Block</i>	74
4.16. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Kandungan leaching Pb (ppm) Pada <i>Paving Block</i>	75
4.17. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Nilai Kandungan leaching Pb (ppm).	77
4.18. Klasifikasi <i>Paving Block</i> Berdasar Kuat Tekan.....	78
4.19. Klasifikasi <i>Paving Block</i> Berdasar Penyerapan air.....	81

DAFTAR GAMBAR

2.1. Berbagai macam bentuk <i>paving block</i>	8
2.2. Hasil Proses Hidrasi pada Pasta Semen Portland.....	19
2.3. Perkembangan Mikrostruktur pada Proses Hidrasi Pasta Semen.....	21
2.4. Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen.....	36
2.5 Diagram Kontrol <i>Shewhart</i>	40
3.1. Diagram alir pembuatan <i>paving block</i>	48
3.2. <i>Paving block</i> yang dihasilkan.....	49
3.3. Kerangka Penelitian.....	51
4.1. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>sludge</i> dalam agregat dengan rata – rata kuat tekan.....	58
4.2. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>fly ash</i> dalam pengikat dengan rata-rata kuat tekan.....	58
4.3. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>sludge</i> dalam agregat dengan rata-rata penyerapan air.....	65
4.4. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>fly ash</i> dalam pengikat dengan rata-rata penyerapan air.....	71
4.5. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>sludge</i> dalam agregat dengan rata-rata kadar leaching logam Pb.....	72
4.6. Grafik hubungan komposisi substitusi <i>fly ash</i> dalam pengikat dengan rata-rata kadar leaching logam Pb.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Cara kerja Analisa Parameter

Lampiran B Data hasil parameter uji

Lampiran C Dokumentasi penelitian

Lampiran D SNI-03-0691-1996 dan baku mutu uji TCLP

Lampiran E Tabel T dan F

Lampiran F Analisa statistik

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan fisik beberapa tahun ini mengalami peningkatan yang cukup signifikan sehingga menimbulkan peningkatan kebutuhan akan bahan bangunan. Hal ini berarti semakin meningkatnya pula eksploitasi terhadap Sumber Daya Alam (SDA) yang digunakan salah satunya adalah pasir yang digunakan sebagai bahan bangunan sehingga keseimbangan alam dapat mengalami gangguan. Dengan demikian diperlukan bahan baku alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Bahan baku tersebut harus layak secara ekonomi dan ramah bagi lingkungan.

Salah satu alternatif untuk mengurangi eksploitasi terhadap Sumber Daya Alam adalah dengan memanfaatkan limbah padat kertas dan limbah padat hasil pembakaran batubara sebagai bahan baku pembuatan *paving block*, pemanfaatan limbah padat tersebut akan menimbulkan dua dampak positif. Pertama dari segi kelestarian lingkungan, alternatif ini merupakan salah satu upaya pencegahan pencemaran lingkungan dan pemanfaatan limbah. Limbah padat dengan kandungan bahan – bahan berbahaya apabila ditimbun saja akan terakumulasi dalam jumlah besar dan dapat mencemari lingkungan sekitar, misalnya mencemari badan air permukaan (sungai). Limbah padat dapat masuk ke sungai melalui aliran air pada saat terjadi hujan, kandungan logam berat yang terkandung dalam limbah padat yang terbawa air hujan akan terakumulasi di dalam air dan terkonsentrasi dalam makhluk hidup yang tinggal di dalamnya. Kedua dari segi ekonomi, cara ini merupakan diversifikasi produk dan dapat membuka kesempatan kerja bagi masyarakat sekitar pabrik.

Sebelumnya telah dilakukan beberapa penelitian tentang pemanfaatan limbah dalam pembuatan bahan bangunan, diantaranya Muntoha (2004) yang telah memanfaatkan limbah padat *sludge* pabrik kertas dan *fly ash* untuk pembuatan genteng beton. Kesimpulan yang didapatkan bahwa lumpur pabrik kertas tersebut dapat digunakan sebagai agregat dalam pembuatan genteng beton ,

bersama – sama dengan pasir, abu batu dan *fly ash*. Dengan asumsi kebutuhan genteng beton sebesar 1000 genteng/hari maka reduksi lumpur yang didapatkan adalah sebanyak ± 500 kg/hari atau sekitar 17% dari total lumpur yang dihasilkan dalam satu hari.

Industri kertas adalah salah satu industri penting yang mendatangkan devisa bagi negara, namun industri ini juga menghasilkan limbah cair dan padat dalam jumlah besar. PT. Kertas Leces, Probolinggo menghasilkan limbah padat sebesar 80 ton/hari. Sebagian besar limbah padat tersebut dimanfaatkan untuk tanah urugan daerah sekitar pabrik, sedangkan sisanya ditimbun begitu saja. Apabila ini dibiarkan terus menerus, maka semakin lama pabrik akan kekurangan lahan untuk penimbunan limbah dan limbah padat dengan kandungan bahan – bahan berbahaya jika terakumulasi akan menyebabkan pencemaran lingkungan.

Selain produk bahan dan komponen bangunan, dalam memenuhi kebutuhan hidupnya manusia juga mengembangkan beberapa produk lain di bidang energi yang dalam prosesnya menghasilkan bahan sisa atau limbah. *Fly ash* adalah produk sampingan dari industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, *fly ash* hasil dari pembakaran batubara ini mengandung sejumlah logam berat yang dapat berdampak terhadap lingkungan. Dan untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan dan mereduksi limbah tersebut maka limbah padat tersebut dimanfaatkan sebagai paving block untuk menggantikan sebagian pasir dan semen.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengetahui komposisi *fly ash* dan *sludge* yang dapat menghasilkan *paving block* dengan kualitas sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
2. Berapa besar reduksi limbah padat yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *paving block*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan komposisi *fly ash* dan *sludge* yang dapat menghasilkan *paving block* dengan kualitas sesuai dengan SNI 03-0691-1996.
2. Mengetahui jumlah reduksi limbah padat yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *paving block*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Limbah padat yang digunakan berupa lumpur berasal dari Unit *Sludge Drying Bed* IPAL Pabrik Kertas Leces, Probolinggo. Dan Limbah padat yang digunakan berupa abu terbang (*fly ash*) berasal dari Unit *Fly Ash Silo*, di PT. PJB UP Paiton, Probolinggo.
2. Semen yang digunakan adalah semen type I sebagai bahan pengikat *paving block*.
3. Pasir yang digunakan adalah pasir cor.
4. Menggunakan air dari PDAM.
5. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :
 - Perbandingan komposisi bahan (pengikat : agregat) yaitu: 1 : 4.
 - Perbandingan *sludge* dan pasir yaitu:
 - 4 : 0
 - 3 : 1
 - 2,5 : 1,5
 - 2 : 2
 - Perbandingan semen dan *fly ash* yaitu:
 - 1 : 0
 - 0,9 : 0,1
 - 0,8 : 0,2
 - 0,7 : 0,3
6. Uji kelayakan *paving block* meliputi, uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji leaching.

6. Uji kelayakan *paving block* meliputi, uji kuat tekan, uji penyerapan air, dan uji *leaching*.
7. Benda uji *paving block* dibuat dengan bentuk segiempat (*rectangular*) berukuran 21 x 10,5 x 6 cm³.
8. Untuk uji *paving block* dalam penelitian ini disesuaikan dengan standar mutu *paving block* dalam SNI 03-0691-1996.

1.5. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian adalah dugaan awal dari suatu penelitian yang hendak dilakukan, dan dipakai sebagai bahan pertimbangan yang perlu dikaji lebih lanjut dalam penelitian untuk mendapatkan kesimpulan akhir yang akurat.

Ada dua bentuk hipotesa yaitu :

1. Hipotesis nol (H_0) yaitu menyatakan tidak adanya pengaruh substitusi limbah *sludge* dan *fly ash* sebagai agregat dan pengikat pada pembuatan *paving block* terhadap uji kelayakan *paving block*.
2. Hipotesis alternatif (H_1) yaitu menyatakan adanya pengaruh substitusi limbah *sludge* dan *fly ash* sebagai agregat dan pengikat pada pembuatan *paving block* terhadap uji kelayakan *paving block*.

Pada penelitian ini digunakan hipotesis alternatif (H_1), sehingga rumusan hipotesisnya adalah :

“Adanya pengaruh substitusi limbah *sludge* dan *fly ash* sebagai agregat dan pengikat pada pembuatan *paving block* terhadap uji kelayakan *paving block*.”

Sehingga hipotesis statistiknya dapat dirumuskan :

1. $H_1 = \mu_{a1} \neq \mu_{a2} \neq \mu_{a3} \neq \mu_{an}$
2. $H_1 = \mu_{b1} \neq \mu_{b2} \neq \mu_{b3} \neq \mu_{bn}$
3. $H_1 = \mu_{c1} \neq \mu_{c2} \neq \mu_{c3} \neq \mu_{cn}$

Dimana :

μ = nilai rata-rata variabel tak bebas dalam suatu kelompok perlakuan.

a = variabel kuat tekan

b = variabel penyerapan air

c = variabel *leaching*

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Paving Block

2.1.1. Umum

Menurut (Standart Nasional Indonesia) SNI 03-0691-1996 bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen *portland* atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tadi.

Paving block adalah bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen, pasir dan air. Sehingga karakteristiknya hampir mendekati dengan karakteristik mortar. Mortar adalah bahan bangunan yang dibuat dari pencampuran antara pasir dan agregat halus lainnya dengan bahan pengikat dan air yang dalam keadaan keras mempunyai sifat-sifat seperti batuan (Smith, 1979 dalam Widarti, 2004).

Paving block dapat berwarna seperti warna aslinya atau diberi zat pewarna pada komposisinya dan digunakan untuk lantai baik di dalam maupun di luar bangunan. *Paving block* untuk lantai harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak terdapat retak-retak dan cacat bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan tangan.

2.1.2. Klasifikasi Paving Block

Klasifikasi dari *paving block* didasarkan atas bentuk, tebal, kekuatan, dan warna antara lain, yaitu :

A. Klasifikasi berdasarkan bentuknya

Ada beberapa macam bentuk dari *paving block* yang diproduksi namun secara garis besar bentuk *paving block* dapat dibedakan atas :

1. *Paving block* bentuk segi empat (*rectangular*)
2. *Paving block* bentuk segi banyak

Pemakaian dari bentuk *paving block* disesuaikan dengan keperluan. Untuk keperluan konstruksi perkerasan pada jalan dengan lalu lintas sedang sampai berat

(misalnya : jalan raya, kawasan industri, jalan umum dan lainnya), karenanya penggunaan *paving block* segi empat lebih cocok.

Pemakaian bentuk segi empat untuk lalu lintas sedang dan berat lebih cocok karena sifat pengunciannya yang konstan serta mudah dicungkil apabila sewaktu-waktu akan diadakan perbaikan. Untuk keperluan konstruksi ringan (misalnya : trotoar plaza, tempat parkir, jalan lingkungan) dapat dipakai bentuk segi empat maupun segi banyak.

B. Menurut ketebalan

Paving block yang diproduksi secara umum mempunyai ketebalan yaitu 60 mm, 80 mm dan 100 mm. Pemakaian dari masing-masing ketebalan *paving block* disesuaikan dengan kebutuhan sebagai berikut :

1. *Paving block* dengan ketebalan 60 mm
Diperuntukkan bagi beban lalu lintas ringan yang frekuensinya terbatas pada pejalan kaki dan kadang-kadang *sedan*.
2. *Paving block* dengan ketebalan 80 mm
Diperuntukkan bagi beban lalu lintas sedang dengan frekuensi terbatas pada *pick up, truck* dan bus.
3. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm
Diperuntukkan bagi beban lalu lintas berat antara lain *crane, loader* dan alat berat lainnya. *Paving block* dengan ketebalan 100 mm sering digunakan untuk kawasan industri dan pelabuhan.

C. Menurut kekuatan

Kekuatan tekan *paving block* berkisar antara 250 kg/cm^2 sampai 450 kg/cm^2 tergantung dari penggunaan lapis pengerasan. Pada umumnya *paving block* yang sudah banyak diproduksi adalah yang mempunyai kuat tekan karakteristik antara 300 kg/cm^2 sampai dengan 350 kg/cm^2 (Shackle, 1990 dalam Widarti, 2004).

D. Menurut warna

Warna selain menampakkan keindahan juga digunakan sebagai pembatas seperti pada tempat parkir. Warna *paving block* yang ada dipasaran adalah merah, hitam dan abu-abu.

2.1.3. Kegunaan paving block

Paving block dapat digunakan untuk banyak aplikasi dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan diantaranya adalah kebutuhan teknik arsitek dan kelayakan umum.

Beberapa contoh kegunaan *paving block* diantaranya adalah :

- Paving Lapangan terbang
- Terminal bus dan pemberhentian
- Parkir mobil
- Lantai
- Pejalan kaki
- Pusat pertamanan
- Daerah perindustrian
- Rintangan jalan raya
- Tempat bermain
- Pencegah kecelakaan
- Dan lain-lain

2.1.4. Keuntungan penggunaan paving block

Penggunaan *paving block* mempunyai beberapa keuntungan (Shackle, 1990 dalam Widarti, 2004), antara lain :

- Dapat diproduksi secara masal untuk mendapatkan mutu tinggi diperlukan tekanan pada saat pencetakan.
- Dari segi pelaksanaan tidak memerlukan keahlian khusus. Pelaksanaan jalan dengan menggunakan pengerasan *paving block* yang jauh lebih mudah bila dibandingkan dengan bahan pengerasan lainnya.
- Tahan terhadap beban vertikal dan horizontal yang disebabkan oleh rem atau percepatan kendaraan berat.
- Pemeliharaannya mudah.

2.1.5 Syarat mutu paving block.

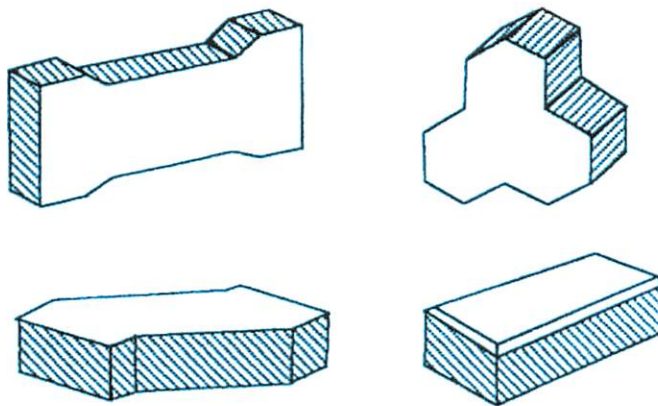
Ada beberapa syarat mutu *paving block* yaitu :

1. Sifat tampak

Paving block harus mempunyai bentuk yang sempurna, tidak mudah direpihkan dengan kekuatan tangan dan tidak terdapat retak-retak atau cacat.

2. Bentuk dan ukuran

Tergantung dari persetujuan antara pemakai dan produsen. Sampai saat ini ada beberapa macam bentuk yaitu : kacang, antik, bata, tiga berlian dan segi enam.



Gambar 2.1. Berbagai macam bentuk *paving block* (SNI 03-0691-1996)

3. Sifat fisik.

Kekuatan fisik *paving block* meliputi antara lain kuat tekan, penyerapan air dan ketahanan terhadap aus seperti terlihat dalam tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Standart mutu sifat fisika *paving block*

Mutu	Kuat tekan (Kg/cm ²)		Penyerapan air rata-rata maksimum
	Rata-rata	Minimum	(%)
A	400	350	3
B	200	170	6
C	150	125	8
D	100	85	10

Sumber : SNI 03-0691-1996

Menurut SNI 03-0691-1996 *paving block* diklasifikasikan dalam beberapa mutu :

- *Paving block* mutu A : Digunakan untuk jalan raya
- *Paving block* mutu B : Digunakan untuk pelataran parkir
- *Paving block* mutu C : Digunakan untuk pejalan kaki
- *Paving block* mutu D : Digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

2.2. Curing (Perawatan)

Curing adalah suatu prosedur atau cara perawatan untuk meningkatkan proses pengerasan *paving block* pada suhu atau kelembaban tertentu agar perkembangan peningkatan dari bahan penyusun semen berlangsung sempurna (W.H Taylor, 1997 dalam Widarti, 2004).

Curing adalah cara-cara yang digunakan untuk meningkatkan proses hidrasi semen, dimana di dalamnya termasuk pengaturan, perubahan suhu dan kelembaban (A. M Neville, 1981 dalam Widarti, 2004). *Curing* mempunyai peranan yang sangat penting dalam menentukan kualitas *paving block*. Makin sempurna proses *curing* maka semakin bagus pula mutu *paving block* yang diperoleh. Kondisi perawatan yang baik dapat digunakan salah satu metode di bawah ini :

1. *Paving block* dibasahi terus-menerus
2. *Paving block* direndam air
3. *Paving block* dilindungi dengan karung basah, plastik atau kertas perawatan tahan air.
4. Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari *paving block* basah.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam proses *curing* adalah kelembaban, temperatur dan waktu. Faktor kelembaban sangat berpengaruh pada proses hidrasi. Proses hidrasi akan berlangsung dengan baik pada keadaan jenuh air (*saturated*). Temperatur dan waktu berpengaruh pada kecepatan reaksi kimia yang terjadi pada *paving block*. Kecepatan peningkatan kekuatan pada *paving*

block tidak hanya dipengaruhi oleh periode *curing* tetapi juga dipengaruhi oleh temperatur selama curing (M.L Gambir 1996 dalam Widarti 2004).

Proses *curing* yang baik adalah dengan mencegah terjadinya karbonisasi untuk stabilitas permukaan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mengurangi beberapa resiko karbonisasi adalah :

1. Menjaga kelembaban material dengan *curing* dan mencegah terjadinya siklus kering atau basah.
2. Menjaga dari karbonisasi dengan meminimalisasi masuknya CO₂ dari atmosfer. Contohnya dengan cepat-cepat mengisolasi sehingga karbondioksida tidak sempat masuk.
3. Memperbaiki konstruksi dan kontrol.
4. Memperbaiki prosedur *curing* dan operasinya.

Kekuatan awal dan keawetan dari pabrik semen *portland* tergantung dari proses *curing* yang baik. Phileo dalam Widarti menyatakan bahwa pemberhentian proses hidrasi semen akan berjalan sangat lambat jika kelembaban relatif dari udara lingkungan sekitar berkisar di bawah 90%. Tujuan dari sistem *curing* harus tetap dijaga dengan menjaga kelembabannya sehingga dapat memperoleh produk yang bermutu tinggi.

Kecepatan pembentukan kekuatan bergantung dari kestabilan temperatur dan sistem *curing* harus digunakan untuk menambah kecepatan ini. Hal tersebut pada umumnya tidak banyak memerlukan biaya.

2.3. Bahan-Bahan Penyusun Paving Block

2.3.1 Semen Portland

2.3.1.1 Definisi Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI-1982 dalam Kardiyono T,1996). Sedangkan menurut Standart Industri Indonesia (SII 0013-1981 dalam Evy Triani,) semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan terak semen dan sebagian besar terdiri dari kalsium silikat.

Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan suatu campuran dari calcereous (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan argillaceous (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Secara mudahnya, kandungan semen portland adalah : kapur, silika dan alumina. Ketiga bahan dasar tadi dicampur dan dibakar dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Setelah itu kemudian dikeluarkan, didinginkan dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2 – 4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain kadangkala diberikan pula untuk membentuk semen khusus, misalnya : kalsium klorida ditambahkan untuk menjadikan semen yang cepat mengeras. Berat jenis semen berkisar pada $3,15\text{ gr/cm}^3$. Berat jenis digunakan dalam hitungan perbandingan campuran (Kardiyono T, 1996).

2.3.1.2. Komposisi Kimia Semen Portland

Karena bahan dasarnya terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika, alumina dan oksida besi maka bahan-bahan ini menjadi unsur-unsur pokok semennya. Sebagai hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks, namun pada semen biasa komposisinya dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 2.2. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Tabel 2.2. Komposisi Bahan Baku Semen

Oksida	%
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO_2)	17 - 25
Alumina (Al_2O_3)	3 - 8
Besi (Fe_2O_3)	0,5 - 6
Magnesia (MgO)	0,5 - 4
Sulfur (SO_3)	1 - 2
Soda/potash ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)	0,5 - 1

Sumber : Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996

Walaupun demikian pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting. Keempat unsur itu adalah :

- a. Trikalsium silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$
- b. Dikalsium silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$
- c. Trikalsium aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3 .Fe_2O_3$

Menurut standart kualitas semen, Bogue (1986) dalam Widarti merumuskan unsur-unsur dalam portland adalah sebagai berikut :

- ♣ C_3S kadar dalam semen 58 – 69%
- ♣ C_2S kadar dalam semen 8 – 15 %
- ♣ C_3A kadar dalam semen 2 – 12%
- ♣ C_4AF kadar dalam semen 6 – 14%

Masing-masing sifat dari komponen diatas adalah sebagai berikut:

1. Trikalsium silikat (C_3S)

- ♣ Senyawa ini mengeras dan kaku jika ditambahkan air dalam beberapa jam saja, dengan melepas sejumlah panas.
- ♣ Kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruhnya terhadap kekuatan pada 14 hari pertama.
- ♣ C_3S juga menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.

2. Dikalsium silikat (C_2S)

- ♣ C_2S akan mengeras pada reaksi dengan penambahan air dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah 3 hari.
- ♣ Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat.
- ♣ Berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan yang terjadi selama 14 – 28 hari.
- ♣ Tahan terhadap agresi kimia yang tinggi.
- ♣ Mengalami penyusutan kering yang relatif rendah.

3. Trikalsium Aluminat (C_3A)

- ♣ Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai pelepasan sejumlah besar panas yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari.
- ♣ Perkembangan kekuatan awal terjadi pada 1- 2 hari, tetapi sangat rendah
- ♣ Kurang ketahanannya terhadap agresi kimia.
- ♣ Mudah mengalami retak-retak karena perubahan volume.

4. Tetrakalsium Alumini Ferit (C_4AF)

- ♣ Cepat bereaksi dengan air dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 69 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh C_4AF
- ♣ Tidak tampak pengaruhnya terhadap kekuatan dan sifat semen lainnya.
- ♣ Bereaksi cepat dengan air tetapi tidak banyak menghasilkan panas dan kekuatan.

Keempat komponen diatas menentukan ikatan dan pengerasan dalam semen apabila dicampur dan diaduk dengan air, tetapi yang paling menentukan adalah komponen C_3S dan C_2S . Kedua bahan ini merupakan 70% dari seluruh bahan semen. Disamping komponen utama juga ada bahan-bahan dalam jumlah kecil tetapi mempengaruhi sifat-sifat semen, seperti :

- ♣ Magnesia (MgO)

Bilamana oksida magnesium tercampur dengan air, maka hal ini akan diikuti oleh penambahan volume. Dengan sendirinya penambahan volume ini akan dialami oleh beton menggunakan bahan tersebut disertai retak-retak. Kadar MgO dibatasi sampai 5%.

- ♣ Sisa Asam Sulfit (*Sulphuric Anhydrate*), SO_3

SO_3 dalam semen portland berfungsi sebagai pengatur waktu pengikat semen. SO_3 terdapat dalam gips $CaSO_4$. Apabila kadar gips terlalu tinggi maka selama berlangsungnya proses pengerasan akan timbul pengembangan gips, sehingga biasanya dibatasi 2,5 – 3%.

♣ Alkali Na_2O dan K_2O

Na_2O dan K_2O selalu dijumpai dalam bahan-bahan baku untuk semen. Apabila digunakan agregat sebagai campuran beton mengandung silikat reaktif, maka timbul reaksi yang merugikan beton.

Kita mengenal 5 type semen portland yaitu type I, II, III, IV, V dan semen putih sesuai dengan klasifikasi yang ditentukan oleh ASTM. Apabila semen bereaksi dengan air maka timbullah panas hidrasi yang cukup banyak. Komponen C_3S dan C_3A menghidrasi cukup cepat, sedangkan C_2S dan C_4AF menghidrasi lebih lambat serta mengeluarkan panas hidrasi dengan kecepatan yang lebih rendah. Setiap type semen mempunyai presentase unsur kalsium yang berbeda, sehingga setiap type mempunyai sifat yang berbeda pula. Hal ini akan digunakan sebagai pedoman didalam penggunaannya, dalam hal ini apakah cukup menggunakan semen type I saja atau semen dengan karakteristik tertentu.

Tabel 2.3. Penggunaan dan Karakteristik Tipe Semen Portland

Type ASTM	Penggunaan untuk	Karakteristik	Prosentase			
			C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
<u>Type I</u> Standart	Bangunan beton biasa	-	53	24	8	8
<u>Type II</u> Modified panas hidrasi, ketahanan terhadap sulfat sedang	Pembetonan massal dan biasa	-	47 max 50	32	3	12
<u>Type III</u> Cepat mengeras, kecepatan awal tinggi	Pembetonan di musim dingin	Mempunyai kadar C_3A dan C_3S yang tinggi	58	16	8	8
<u>Type IV</u> Panas hidrasi rendah	Pembetonan massal	Kadar rendah dari C_3A dan C_3S	26 max 35	54 min 40	2 max 7	12
<u>Type V</u> Tahan terhadap sulfat	Air mengandung sulfat atau air laut	Kadar rendah dari C_3A dan C_3S	max 50	-	max 5	-
Semen putih	Beton putih khusus	-	51	26	11	1

Sumber : PUBLI – 1982 dalam Evy Triani 2003

Sedangkan persyaratan mutu semen Portland dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Persyaratan Mutu Semen Portland

Uraian	Jenis				
	I	II	III	IV	V
Kehalusan					
Sisa diatas ayakan 0,09 mm maks % berat.	10	10	10	10	10
Dengan alat Blaine, cm ³ /gr, minimum	2800	2800	2800	2800	2800
Waktu pengikatan dengan alat vicat					
Awal, menit, minimum	60	60	60	60	60
Akhir, jam, maksimum	8	8	8	8	8
Kekekalan					
Pemuaian dalam autoclave, % maks.	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Kekuatan tekan					
1 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	125	-	-
1 + 2 hari, kg/cm ² , minimum	125	100	250	-	85
1 + 6 hari, kg/cm ² , minimum	200	175	-	70	150
1 + 27 hari, kg/cm ² , minimum	-	-	-	175	210
Pengikatan semu (false set)					
Penetrasi akhir, % minimum	50	50	50	50	50
Panas hidrasi					
7 hari, cal/gram, maksimum	-	70	-	60	-
28 hari, cal/gram, maksimum	-	60	-	70	-
Pemuaian karena sulfat					
14 hari, % maks	-	-	-	-	0,045

Sumber : PUBI – 1982 dalam Evy Triani 2003

Didalam penelitian ini menggunakan semen portland type I yang berasal dari semen Gresik dengan spesifikasi teknis sebagai berikut :

Tabel 2.5. Spesifikasi Teknis Semen Gresik Type I

Jenis Pengujian	SNI 15-2049-94 PC jenis I	ASTM C 150-02 PC type I	Hasil uji PC I
Komposisi Kimia :			
Silikon Dioksida (SiO ₂), %	-	-	20,92
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃), %	-	-	5,49
Ferri Oksida (Fe ₂ O ₃), %	-	-	3,78
Kalsium Oksida (CaO), %	-	-	65,21
Magnesium Oksida (MgO), %	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida (SO ₃), %	≤ 3,50	≤ 3,50	2,22
Hilang pijar (LOI), %	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur bebas, %	-	-	0,59
Bagian tidak larut, %	≤ 3,00	≤ 0,75	0,43
Alkali (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), %	≤ 0,60	≤ 0,60	0,19
Tricalcium Silicate (C ₃ S), %	-	-	57,82
Dicalcium Silicate (C ₂ S), %	-	-	16,36

Tricalcium Aluminate (C ₃ A), %	-	-	8,16
Tertracalsium Aluminate Ferrit (C ₄ AF), %	-	-	11,50
Pengujian Fisika :			
Kahalusan	≥ 280	≥ 280	320
- Dengan alat Blaine (m ² /Kg)			
Waktu pengikatan dengan alat Vicat:	≥ 45	≥ 45	148
- Awal (menit)	≤ 375	≤ 375	245
- Akhir (menit)			
Kekekalan dengan alat autoclave :	≤ 0,80	≤ 0,80	0,060
- Pemuai (%)	-	-	-
- Penyusutan (%)			
Kuat Tekan :	≥ 125	≥ 122	230
- 3 hari (Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
- 7 hari (Kg/cm ²)	-	-	410
- 28 hari (Kg/cm ²)			
Pengikatan semu, (false set) :	≥ 50	≥ 50	73,79
- Penetrasi akhir (%)			

Sumber : *Petunjuk Praktis Penggunaan Semen Gresik*

2.3.1.3 Hidrasi Semen Portland

Dari permulaan pencampuran, beton merupakan bahan yang heterogen karena terdiri atas unsur yaitu : unsur padat (butiran-butiran agregat, butiran-butiran semen), unsur cair (air), dan unsur gas (rongga-rongga, gelembung udara). Pada dasarnya mekanisme hidrasi hampir tidak berpengaruh pada bahan agregat maupun rongga udara, tetapi lebih berpengaruh atau hanya terjadi di dalam pasta semen yang terdiri dari butiran-butiran semen dan air. Proses hidrasi timbul bila air ditambahkan ke dalam semen portland, sehingga terjadi reaksi air dengan komponen-komponen semen. Reaksi ini dipengaruhi oleh kehalusan semen, jumlah air, suhu dan sebagainya. Reaksi hidrasi tersebut menghasilkan senyawa-senyawa hidrat yang berbentuk kristal halus dan dikenal sebagai “*cemen gel*”. Adapun sebagian besar senyawa hidrat tersebut adalah :

- ♣ Kalsium Silikat Hidrat (3CaO.2SiO₂.3H₂O)
- ♣ Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂)
- ♣ Kalsium Aluminat Hidrat (3CaO.Al₂O₃.3H₂O)

Mengetahui zat-zat yang terbentuk dalam reaksi semen dengan air adalah amat penting, karena hal tersebut akan menentukan sifat-sifat mekanis dari semen

yang mengeras. Reaksi antara semen dan air dibedakan menjadi dua masa yang berlainan, yaitu :

1. Masa Pengikatan (*Setting time*)

Periode pengikatan adalah periode dimana terjadi peralihan keadaan plastis menjadi keras.

2. Masa Pengerasan (*Hardening*)

Periode pengerasan adalah periode dimana terjadi penambahan kekuatan setelah pengikatan itu selesai.

Pada pencampuran semen dengan air, senyawa-senyawa klinker segera terhidrasi. C_3A akan bereaksi paling cepat menghasilkan kalsium aluminat hidrat. Senyawa ini berbentuk gel yang bersifat cepat kaku, sehingga akan mengontrol sifat setting time. Tetapi kalsium aluminat hidrat akan bereaksi dengan gypsum yang segera membentuk *ettringite* yang akan membungkus permukaan kalsium aluminat hidrat dan C_3A sehingga reaksi hidrasi dari C_3A akan dihalangi yang berarti proses setting time akan dicegah. Namun demikian lapisan *ettringite* pembungkus tersebut karena suatu fenomena osmosis, akan pecah dan reaksi hidrasi C_3A akan terjadi lagi, tetapi akan segera pula terbentuk *ettringite* yang baru yang akan membungkus kalsium aluminat hidrat sampai semua gypsum habis terpakai. Proses ini akhirnya menghasilkan perpanjangan setting time. Makin banyak *ettringite* yang terbentuk, maka setting time akan makin panjang, oleh karena itulah gypsum dikenal sebagai “retarder”. Dengan adanya gypsum, maka proses hidrasi disamping menghasilkan “cement gell” juga terbentuk *ettringite*. Proses terbentuknya coating, pecah, reaksi kembali, sampai terjadi initial set disebut “*Dormant Period.*”

Selama periode tersebut pasta masih dalam keadaan plastis (*workable*). Terjadinya reaksi hidrasi dari $3CaO \cdot SiO_2$ menghasilkan $32CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ merupakan simbol Kalsium Silikat Hidrat (CSH) dengan volume lebih dari dua kali volume semen. CSH ini akan mengisi rongga dan membentuk titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Pada tahap berikutnya terjadi konsentrasi dari CSH dan konsentrasi dari titik –titik kontak yang akan menghalangi mobilitas partikel-

partikel semen, yang akhirnya pasta menjadi kaku dan final setting dicapai. Kemudian proses pengerasanpun mulai terjadi secara steady.

Kecepatan hidrasi semen portland tergantung dari beberapa faktor, antara lain:

1. Umur

Kecepatan hidrasi mencapai maksimum pada tahap awal. Kecepatan hidrasi menurun terhadap waktu, hal ini disebabkan makin terbentuknya lapisan CSH berupa kristal pada semen. Makin tebal lapisan, makin lambat kecepatan hidrasi

2. Komposisi Semen.

Kecepatan hidrasi semen tergantung pada komposisi senyawa yang terkandung pada senyawa tersebut. Hal ini disebabkan karena kecepatan hidrasi setiap senyawa tersebut berbeda. Sebagai contoh, sebagian besar C_3A telah terhidrasi dalam waktu 24 jam. C_2S dengan air akan berjalan sehingga reaksi hidrasinya akan memakan waktu dalam orde mingguan bahkan bulanan. Hasil reaksi hidrasi antara C_3S dan C_2S adalah sama, akan tetapi jumlah $Ca(OH)_2$ yang dihasilkan oleh hidrasi C_3S lebih banyak. Kristal $Ca(OH)_2$ luas permukaan spesifiknya lebih besar sehingga kecepatan hidrasi C_3S lebih cepat bila dibandingkan dengan hidrasi C_2S .

3. Kehalusan Semen

Kecepatan hidrasi semen akan naik sebanding dengan kehalusan semen. Makin halus partikel semen, makin besar luas permukaan, makin besar air yang terserap dan makin cepat reaksi hidrasi berlangsung.

4. Perbandingan Jumlah Air Semen

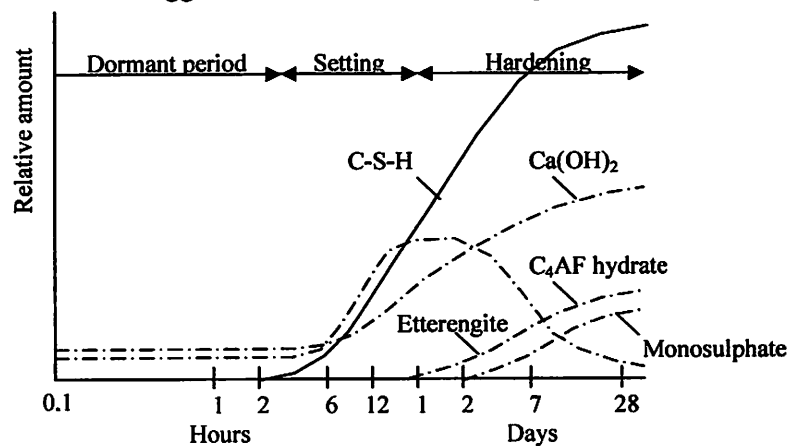
Proses hidrasi semen portland agar sempurna secara teoritis memerlukan air sebanyak 20% volume semen. Apabila perbandingan jumlah air dan semen (FA/C) lebih rendah dari 0,4 maka proses hidrasi tidak akan berjalan secara penuh. Pada hidrasi tahap awal, makin rendah perbandingan jumlah air dan semen, makin turun kecepatan hidrasinya.

5. Temperatur

Pada hidrasi tahap awal, kecepatan hidrasi akan naik sebanding dengan kenaikan temperatur. Hal ini membuktikan bahwa dengan menaikkan temperatur tidak menyebabkan pasta semen kering, sebab apabila pasta kering, maka hidrasi menurun dan akhirnya berhenti.

6. Admixture

Seperti kita ketahui bahwa tambahan gypsum dapat memperlambat waktu pengerasan semen. Sedangkan penambahan bahan CaCl_2 dan NaCl dapat mempercepat waktu pengerasan yang biasa disebut “*accelerators*”, atau retarder. Retarder dari bahan dasar gula paling banyak dipakai. Beberapa admixture dapat bertindak sebagai retarder maupun accelerator. Penambahan CaCl_2 pada konsentrasi di bawah 1% akan berfungsi sebagai retarder, tetapi pada konsentrasi tinggi CaCl_2 akan bertindak sebagai accelerator.



Gambar 2.2. Hasil Proses Hidrasi pada Pasta Semen Portland

Sumber : Soroka, 1979 dalam Evy Triani 2003

Dalam masa semen yang telah terhidrasi terkandung :

- Gel hasil hidrasi senyawa-senyawa semen dalam bentuk padat.
- Kristal-kristal kalsium hidroksida.
- Bagian semen yang tidak terhidrasi.
- Pori-pori gel yang sangat kecil yang terletak di antara lapisan gel dan selalu terisi air.
- Pori-pori kapiler yang lebih besar dan selalu terisi air.

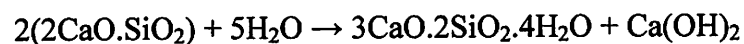
Selama proses hidrasi pada semen portland, akan terbentuk Ca(OH)_2 . Timbulnya partikel Ca(OH)_2 pada pengerasan semen tidak dikehendaki karena:

1. Ca(OH)_2 tidak menyebabkan kekuatan semen, dan mudah sekali larut dalam asam.
2. Ca(OH)_2 juga menyebabkan bentuk-bentuk yang tidak semestinya pada permukaan beton, karena terjadinya *efflorescence* (pemekaran).

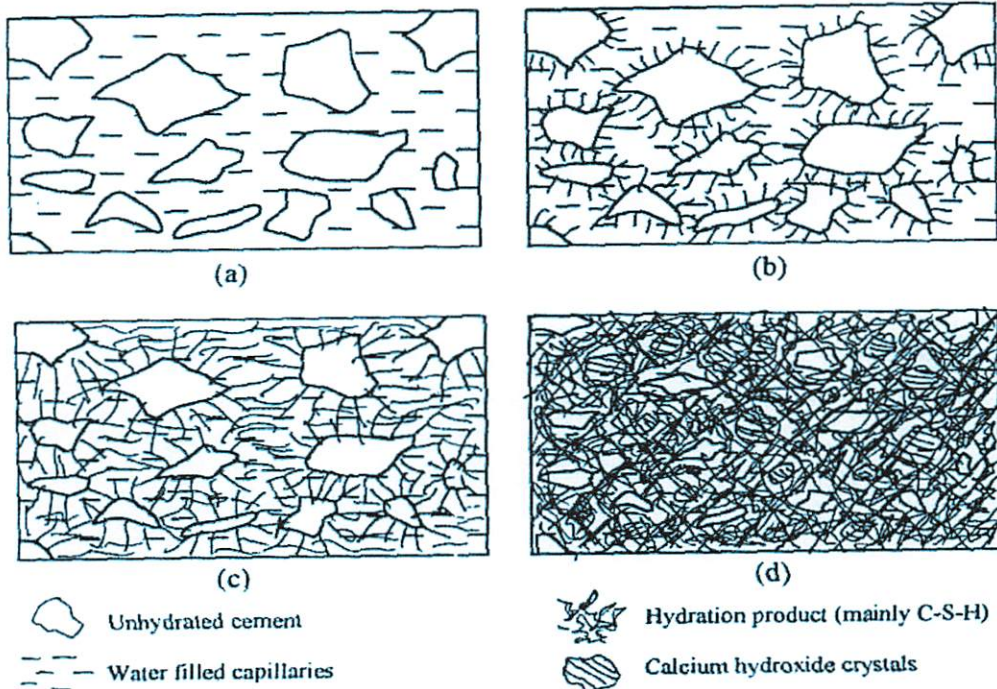
Apabila ditambahkan pozzolan ke dalam semen tersebut, senyawa silika dan alumina yang terkandung dalam bahan pozzolan akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 membentuk kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat. Kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat merupakan pemegang peranan utama dalam pengerasan semen, sehingga sifat ketahanan kimia dari beton akan meningkat dan pemekaran akan berkurang dan diharapkan kekuatan beton juga akan bertambah.

Pada gambar 2.3 dapat dilihat berbagai macam bentuk dari pasta semen yang belum terhidrasi, hasil proses hidrasi yang sebagian besar terdiri dari gel CSH, pori-pori kapiler yang terisi air dan juga kristal-kristal kalsium hidroksida.

Komposisi semen portland ada 4 macam, yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF , masing-masing mempunyai reaksi kimia pada proses hidrasi yang berbeda-beda. Masing-masing diuraikan di bawah ini:



Dari keempat macam reaksi di atas, dapat dilihat bahwa hanya C_3S dan C_2S saja yang menghasilkan Ca(OH)_2 pada reaksinya.



- Semen yang baru dicampur dengan air.
- Pengikatan awal. Hubungan antara gel CSH yang berkualitas buruk dengan kristal kalsium hidroksida.
- Pasta semen berumur 2-3 hari, kekuatan yang didapat dari gel CSH di antara semen yang tidak terhidrasi dan pori-pori kapiler.
- Pasta semen yang telah cukup umur, gel CSH dikelilingi oleh kristal kalsium hidroksida, sisa semen yang tidak terhidrasi dan pori-pori kapiler.

Gambar 2.3. Perkembangan Mikrostruktur pada Proses Hidrasi Pasta Semen

2.3.2 Agregat

2.3.2.1. Definisi Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran. Menurut ASTM C 125-93 terminologi dari agregat adalah bahan berbentuk butiran seperti pasir, kerikil, pecahan kerikil, atau batu pecah yang digunakan bersama semen dan air untuk membentuk beton (Kardiyono T,1996)

2.3.2.2. Klasifikasi Agregat

Cara membedakan agregat yang paling banyak didasarkan pada ASTM C 125-93 adalah :

1. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,8 mm (Ayakan No.4) disebut agregat kasar (Coarse Aggregate). Agregat kasar sering disebut kerikil, krecak, batu pecah.
2. Agregat yang butir-butirnya kurang dari 4,8 mm (Ayakan No. 4) disebut agregat halus (Fine Aggregate). Agregat halus disebut dengan pasir.

Selain itu agregat diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya yaitu : menjadi agregat ringan, normal dan berat.

1. Agregat normal mempunyai berat jenis 2,5-2,7 Kg/cm³ yang biasanya didapat dari batu granit, basalt, kuarsa.
2. Agregat berat yaitu agregat yang mempunyai berat jenis lebih dari 2,7 Kg/cm³, biasanya terdapat dari batu magnetik, barit atau serbuk besi.
3. Agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2,5 Kg/cm³ biasanya diperoleh dari diatomae, pumis, vulcanic cinder atau dari agregat buatan seperti tanah bakar, abu terbang, dan busa kerak tanur tinggi.

2.3.2.3. Syarat Mutu Agregat

Agregat secara umum harus mempunyai syarat-syarat sebagai berikut :

1. Bentuk yang baik.
2. Bersih, keras, dan kuat.
3. Mempunyai kestabilan kimia dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan cuaca.

Syarat mutu agregat untuk beton dijelaskan pada peraturan beton tahun 1989 pasal 3.3.1. dijelaskan bahwa agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dan persyaratan dari SII 0052-80 "Mutu dan cara uji agregat beton" dan ASTM C 33-93 "Spesification for concrete aggregates".

Tabel 2.6. Spesifikasi Agregat yang Digunakan dalam Beton

No	Faktor	Agregat Halus		Agregat Kasar	
		SII	ASTM	SII	ASTM
1.	Modulus Kehalusan	1.5-3.8	2.3-3.2	6.0-7.1	
2.	Kadar Lumpur	5 %		1 %	
3.	a. Kadar bahan organik (NaOH 3 %)	warna standar		-	
	b. Kadar yang diuji dengan goresan batang tembaga	-		5 %	
4.	a. Kekerasan batu dibandingkan dengan pasir Bangka	< 2,2		-	
	b. Kekerasan dengan mesin Los Angeles	-		-	
5.	Sifat kekal dengan larutan garam sulfat				
	a. Natrium Sulfat	< 10 %		< 12 %	
	b. Magnesium Sulfat	< 15 %		< 18 %	
6.	Tidak bersifat reaktif terhadap alkali bila semen	-			
7.	Na ₂ O 0,6 % Batuan pipih (% berat)	-		< 20 %	
8.	Susunan grading	BS 882.1983	ASTM C33	BS 882.1983	ASTM C33

2.3.2.4. Agregat Pembentuk Beton

Dalam struktur beton biasa agregat menempati kurang lebih 70-75% dari volume massa yang telah mengeras. Sisanya terdiri dari adukan semen yang telah mengeras, air yang belum bereaksi (yaitu air yang tidak ikut dalam proses hidrasi dari semen), dan rongga-rongga udara. Air yang belum bereaksi dan rongga-rongga udara yang kenyataannya tidak memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton (Kardiyono T, 1996).

Pada umumnya, semakin padat agregat-agregat tersebut tersusun semakin kuat pula beton yang dihasilkannya, daya tahannya terhadap cuaca dan nilai ekonomis dari beton tersebut. Atas dasar inilah gradasi dari ukuran-ukuran

partikel dalam agregat, mempunyai peranan yang sangat penting, untuk menghasilkan beton yang padat. Faktor penting lainnya adalah bahwa agregat tersebut juga harus mempunyai kekuatan yang lebih baik, tahan lama, dan tahan terhadap cuaca, bahwa permukaannya haruslah bebas dari kotoran seperti tanah liat, lumpur yang akan memperlemah ikatannya dengan adukan semen; dan tidak juga boleh terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan diantara material tersebut dengan semen.

2.3.3 Air

Air sebagai bahan bangunan merupakan media penghantar / pencampur komponen-komponen bahan lainnya. Bersama semen air ini bereaksi secara kimia melakukan proses hidrasi. Namun penggunaan air yang tidak baik dapat mengganggu pengerasan, kekuatan dan keawetan serta menimbulkan atau mengakibatkan mutu pekerjaan yang rendah. Persyaratan air yang baik adalah :

1. Air tawar yang bersih.
2. Tidak berwarna dan tidak berbau.
3. Tidak mengandung lumpur (tidak terlalu keruh).
4. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik) lebih dari 15 gr/L.
4. Tidak berminyak dan tidak terdapat benda-benda yang mengambang.
5. Tidak mengandung bahan kimia yang akan mengurangi daya ikat.

Air diperlukan pada campuran *paving block* agar terjadi reaksi kimia dengan semen (menghidrasi semen) dan untuk pelumasan campuran agar mudah pengerjaannya. Tambahan air untuk pelumasan tidak boleh terlalu banyak, karena adonan akan menjadi lembek sehingga kekuatan *paving block* menjadi rendah dan lebih berpori.

Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran *paving block*. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, seperti garam, minyak atau bahan kimia lainnya, bila dipakai untuk campuran *paving block* akan mengurangi daya rekat antara agregat dengan pasta semen, dapat juga mengubah sifat-sifat semen sehingga dapat menurunkan kekuatan serta keawetan *paving block*.

2.4. Pozzolan

2.4.1. Definisi Pozzolan

Menurut PUBI – 1982, Pozzolan adalah bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif. Menurut SII 0132-90, Pozzolan adalah bahan yang mengandung senyawa silika dan atau alumina dimana pozzolan itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan air maka senyawa tersebut akan bereaksi membentuk senyawa seperti sifat semen.

Definisi menurut ASTM C618-78 adalah : bahan yang mengandung senyawa yang mengikat, seperti semen tetapi memiliki bentuk yang halus dan dengan adanya air senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat dan kalsium silikat hidrat.

Pozzolan dapat dipakai sebagai bahan tambahan atau sebagai pengganti sebagian semen portland. Bila dipakai sebagai pengganti semen portland, umumnya berkisar antara 10 – 35 % dari berat semen. Pozzolan dapat membuat beton lebih tahan terhadap garam, sulfat dan air asam. Pozzolan juga menjadikan beton lebih mudah diaduk, lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia (Kardiyono T, 1996).

2.4.2. Klasifikasi Pozzolan

Menurut ASTM C618-85 ada 3 jenis pozzolan, yaitu :

1. Kelas N

Tipe ini merupakan hasil pembakaran alam dari abu vulkanik atau batu bara. Pozzolan jenis ini telah mengalami dikalsinasi.

2. Kelas F

Jenis ini mengandung CaO <10% dari hasil pembakaran batu bara.

3. Kelas C

Jenis ini mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran batu bara.

Menurut asalnya ada 2 jenis pozzolan, yaitu :

1. Pozzolan alam

Pozzolan alam terdiri dari abu vulkanik yang terdiri dari mineral-mineral amorph karena proses pendinginan dari magma, misalnya trass, pumicate dan tanah diatome.

2. Pozzolan buatan

Yang termasuk jenis ini adalah hasil pembakaran tanah liat, hasil pembakaran batu bara, silica fume, microsilia, trah, abu sekam padi dan abu ampas tebu.

Pozzolan yang bermutu baik apabila memiliki kadar silika dan alumina yang tinggi dan reaktifitas terhadap kapur juga tinggi. Dalam penelitian ini digunakan dua jenis pozzolan yaitu fly ash dan abu ampas tebu.

2.4.3. Spesifikasi Mutu Pozzolan

Mutu pozzolan ditentukan oleh komposisi fisik dan kimia dari pozzolan. Pozzolan yang baik mempunyai kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ tinggi dan reaktifitas dengan kapur padam tinggi. Menurut Lea (1986), sifat-sifat pozzolan adalah sebagai berikut :

1. Terdiri dari sebagian besar unsur-unsur silika dan atau alumina.
2. Mempunyai sifat mengikat yang sangat kecil apabila berdiri sendiri.
3. Bila berbentuk bahan halus dan bersama-sama dicampur dengan kapur padam akan mempunyai sifat mengikat seperti semen.
4. Kekuatannya setelah dicampur dengan kapur sangat tergantung dari susunan kimianya terutama kandungan alumina dan silika aktifnya.
5. Kehalusannya berpengaruh besar pada kecepatan hidrasinya.
6. Bersifat memperlambat pengerasan.

Adapun spesifikasi dari mutu pozzolan dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7. Spesifikasi Mutu Pozzolan

Sifat Kimia	N	C	F
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	50	70
SO_3	4	5	5
Na_2O	1,5	1,5	1,5
Moisture contents (% max)	3	3	3
Loss Ignitation (% max)	10	6	12

Sedangkan spesifikasi mutu pozzolan secara kimia dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Spesifikasi Mutu Fisik Pozzolan

Sifat Fisik	N	C	F
Kehalusan (% tertahan ayakan No. 325)	34	34	34
Pozzolan Activity Index with Portland Cement pada 28 hari (min)	75	75	75
Kebutuhan air max (% dari kontrol)	115	105	105

2.4.4. Kegunaan dan Pengaruh Pozzolan

Penggunaan pozzolan dalam semen portland adalah berguna untuk penghematan semen dan untuk mendapatkan beberapa keuntungan yaitu:

- ♣ Mencapai komposisi beton atau mortar menjadi lebih keras dan padat serta untuk menjadikan kekuatan beton maksimal untuk umur waktu berikutnya.
- ♣ Memperbaiki ketahanan terhadap reaksi kimia. Biasanya digunakan untuk struktur beton dalam laut.
- ♣ Dapat mengurangi panas hidrasi serta cocok untuk penggunaan beton massal.
- ♣ Memperbaiki *durabilitas* dan *workabilitas* dari beton dan hal ini cocok untuk penggunaan beton di daerah air dan bawah tanah seperti jembatan dan pondasi mesin dan bangunan dalam air.

Adapun pengaruh penambahan pozzolan dalam semen menimbulkan reaksi fisika dan kimia setelah dicampur dengan air limbah. Adapun reaksi tersebut adalah sebagai berikut :

1. $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
2. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2$
3. $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \longrightarrow 2\text{CaO.SiO}_2$
4. $2(2\text{CaO}_2.\text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO}.2\text{SiO}_2.3\text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca(OH)}_2$

Bila pozzolan ditambahkan dalam semen berarti silika aktif akan bereaksi dengan CaO dan membentuk ikatan yang kuat yaitu trikalsium silikat hidrat, sehingga kekuatan beton akan bertambah besar karena pengaruh silika aktif pada pengerasan portland pozzolan cement.

2.5. Fly Ash

Fly ash adalah bagian dari hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap dengan temperatur pembakaran $\pm 1560^{\circ}\text{C}$ yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzolan. Secara fisik, fly ash memiliki warna abu-abu sampai coklat kehitaman, sesuai dengan jenis batubara yang dipakai. Fly ash umumnya berukuran $5\ \mu\text{m} - 400\ \mu\text{m}$, sedangkan berat jenisnya berkisar antara $2,15\ \text{gr/cm}^3 - 2,8\ \text{gr/cm}^3$ tergantung dari total berat unsur-unsur kimia yang dikandungnya dan besarnya volume bola-bola yang terbentuk. Fly ash mayoritas berbentuk bola-bola microspheres.

Keuntungan memakai fly ash sebagai bahan campuran semen menurut (Karman Somawijaya, 1991 dalam Nurhaida E, 1995) antara lain :

1. Meningkatkan kerapatan beton sehingga beton akan lebih kedap air.
2. Menambah daya tahan beton terhadap senyawa-senyawa agresif.
3. Mengurangi terjadinya retakan karena panas hidrasi yang dihasilkan rendah.

Fly ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah fly ash dari PLTU Paiton yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, sehingga menghasilkan limbah berupa fly ash. Tingkat kehalusan fly ash Paiton adalah lolos ayakan no.100 ($149\ \mu\text{m}$). Berdasarkan kandungan CaO sebesar 1,83% (kurang dari 10%), maka fly ash Paiton termasuk dalam fly ash kelas F. Fly ash ini bersifat pozzolan. Hasil analisa kimia fly ash Paiton disajikan dalam tabel 2.9.

Tabel 2.9. Hasil Analisa Kimia Fly Ash PLTU Paiton

Senyawa Kimia	Kandungan (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	53,76
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	36,91
Feri oksida (Fe_2O_3)	3,88
Sulfur Trioksida (SO_3)	0,66
Natrium Oksida (Na_2O_3)	0,09
Kalsium Oksida (CaO)	1,83
Kalium Oksida (K_2O)	0,82
Magnesium Oksida (MgO)	0,54

Sumber : Didik Wahyudi, 2005

2.6. Sludge

Lumpur atau sludge adalah hasil sampingan pada proses pengolahan air limbah, khusus limbah domestik biasanya tidak mengandung bahan kimia. Residu seringkali tertinggal sebagai padatan tersuspensi dalam cairan. Padatan tersuspensi tersebut mungkin merupakan presipitasi kimia yang terbentuk dari reaksi penambahan bahan kimia dengan polutan terlarut, produk dari penambahan koagulan pada limbah koloid dan polutan tersuspensi, sisa mikroorganisme yang terbentuk dalam pengolahan limbah secara biologi, absorbent yang digunakan untuk menghilangkan polutan terlarut atau padatan yang tergantung dalam limbah itu sendiri yang berada dalam bentuk endapan (Weber, 1972 dalam Luh Komang, 2000).

Sumber yang menghasilkan lumpur pada instalasi pengolahan limbah cair terutama pada unit prasedimentasi, unit pengolahan biologis, clarifier atau sedimentasi II dan unit-unit yang memproses lumpur. Penambahan lumpur juga dapat berasal dari presipitasi kimia, nitrifikasi-denitrifikasi, screening, grider dan alat-alat filtrasi jika pada perencanaannya terdapat proses tersebut. Lumpur-lumpur yang dihasilkan tersebut mengandung bahan organik dan anorganik (Qasim, 1985 dalam Luh Komang, 2000).

Volume dari lumpur yang dihasilkan dalam pengolahan limbah biasanya kecil dibandingkan dengan volume limbah yang diolah. Operasi-operasi dalam industri sangat bervariasi sehingga penanganan limbah menjadi problem utama dalam manajemen limbah.

2.6.1. Karakteristik Sludge

Karakteristik lumpur sangat bervariasi tergantung dari asal limbah tersebut. Meskipun beberapa persamaan mungkin ditemui dalam limbah domestik dan industri, tetapi pada dasarnya setiap lumpur mempunyai karakteristik yang berbeda.

2.6.1.1. Berat Jenis

Konsentrasi padatan tersuspensi dari lumpur biasanya diukur dengan prosedur konvensional dengan menyaring sampel yang diketahui volumenya,

dikeringkan dan mengukur berat padatan kering. Konsentrasi kemudian dinyatakan sebagai berat per unit volume, biasanya dalam mg/l. Namun untuk lebih mudah, konsentrasi lumpur sering dinyatakan sebagai prosentase dengan 1% sama dengan 1 gr/100 ml.

Berat jenis lumpur meningkat secara linier dengan konsentrasi lumpur dalam mg/l. Berat jenis dari lumpur aktif meningkat kurang lebih 0,0007 per 1 gr/100 ml, sementara berat jenis dari lumpur yang berasal dari pelunakan air dengan kapur meningkat kurang lebih 0,0064 per 1 gr/100 ml. Data mengenai berat jenis dan jumlah produksi lumpur dari berbagai proses dan operasi pengolahan limbah cair dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.10. Berat Jenis dan Jumlah Produksi Lumpur dari Berbagai Proses dan Operasi Pengolahan Limbah Cair

Operasi dan proses pengolahan limbah cair	Berat jenis dari padatan lumpur	Berat jenis lumpur	Lumpur kering lb/10 ³ gal	
			Range	Typical
Sedimentasi	1,4	1,02	0,9-1,4	1,25
Lumpur aktif	1,25	1,005	0,6-0,8	0,7
Triking filter	1,45	1,025	0,5-0,8	0,6
Aerasi bertingkat	1,30	1,015	0,7-1,0	0,8
Aerated lagoon	1,30	1,01	0,7-1,0	0,8
Filtrasi	1,20	1,005	0,1-0,2	0,15
Alga removal	1,20	1,005	0,1-0,2	0,15
Pospor removal	2,2	1,05	5,0-11,0	6,6
Nitrifikasi – denitrifikasi	1,20	1,005	0,1-0,25	0,15
Roughing filter	1,28	1,02	-	-

Sumber : Metcalf & Edy, 1991

2.6.1.2. Komposisi Kimia

Karakteristik kimia sangat menarik perhatian berhubungan dengan efek pembuangan lumpur secara keseluruhan di tanah, udara dan air, pertimbangan kemungkinan pemanfaatan lumpur dan dalam evaluasi proses pengolahan yang diterapkan.

Yang paling menarik dalam komponen kimia dalam lumpur adalah nilai nutrisinya dan telah banyak dilaporkan hasil analisis dari karakteristik nutrisi dari padatan lumpur. Dari laporan *Anderson, 1959* dalam Widarti untuk lumpur domestik memiliki karakteristik yang sangat bervariasi tergantung tipe dan sumber lumpur. Lumpur aktif memiliki nutrisi yang lebih besar, (*Anderson* melaporkan 5% – 6% Nitrogen dan 4% - 7% P_2O_5 berdasarkan berat kering) dibandingkan dari bak pengendap I. Dilihat dari sudut pandang kesuburan, kandungan potasium (K) dari lumpur domestik adalah rendah dibanding dengan kandungan nitrogen dan fosfor. Pembusukkan lumpur mampu menurunkan nilai nutrisi dari padatan lumpur. *Fleming, 1959* dalam Widarti menjabarkan bahwa pembusukkan lumpur dapat menurunkan kandungan nitrogen dalam lumpur 40% - 50%. Jika lumpur akan diaplikasikan untuk pembuangan ke tanah dalam bentuk cairan, kandungan nutrisinya akan lebih tinggi dibandingkan lumpur yang sudah di dewatering. Namun begitu kandungan nitrogen dalam setiap lumpur sangat bervariasi. Komposisi kimia yang terdapat dalam lumpur yang belum mengalami proses pengolahan dan yang sudah diolah dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Komposisi Kimia Lumpur yang Belum Diolah dan yang Sudah Melewati Proses Pengolahan

Parameter	Lumpur yang belum diolah		Lumpur yang telah diolah		Lumpur aktif
	Range	Typical	Range	Typical	Range
Total solid (TS) %	2,0-8,0	5,0	6,0-12,0	10,0	0,83-1,16
Volatile solid (% dari TS)	60-80	65	30-60	40	59-88
Lemak (% dari TS)	6-30	-	5-20	18	-
Eter terlarut	7-35	-	-	-	5-12
Eter ekstraks	20-30	25	15-20	18	32-41
Protein (% dari TS)	1,5-4	2,5	1,6-6,0	3,0	2,4-5,0
Nitrogen (N, % dari TS)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Pospat (P_2O_5 , % dari TS)	0-1	0,4	0,0-3,0	1,0	0,5-0,7
	8,0-15,0	10,0	8,0-15,0	10,0	-

Potas (K_2O , % dari TS)	2,0-4,0	2,5	3,0-8,0	4,0	-
Selulosa (% dari TS)	15,0-20,0	-	10,0-20,0	-	-
Besi (% dari TS)	5,0-8,0	6,0	6,5-7,5	7,0	6,5-8,0
Silika (SiO_2 , % dari TS)	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
pH	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Alkalinitas mg/L $CaCO_3$)	10000-12500	11000	4000-6000	5000	8000- 10000
Asam organik (mg/L HAc)					
Kandungan energi, Btu/lb					

Sumber : Metcalf & Eddy, 1991

Logam berat dalam lumpur sangat menarik perhatian karena toksisitas terhadap tanah, manusia dan hewan pada konsentrasi yang relatif rendah. Jumlah kandungan logam berat yang ada dalam lumpur tergantung dari asal lumpur itu sendiri. Limbah domestik diperkirakan tidak mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi, sedangkan lumpur dari limbah kota mengandung konsentrasi logam berat yang tinggi sebagai hasil dari limbah industri seperti limbah elektroplating. Konsentrasi dari berbagai logam yang terkandung dalam lumpur air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam Lumpur Air Limbah

Logam	Lumpur kering (mg/kg)	
	Range	Median
Arsen	1,1 – 130	10
Cadmium	1 – 3410	10
Chromium	10 – 99000	500
Cobalt	11,3 – 2490	30
Copper	84 – 17000	800
Besi	1000 – 154000	17000
Magnesium	32 – 9870	260

Mercury	0,6 – 56	6
Molibat	0,1 – 214	4
Nikel	2 – 5300	80
Selenium	1,7 – 17,2	5
Timah	2,6 – 329	14
Seng	101 - 49000	1700

Sumber : Metcalf & Eddy, 1991

2.6.1.3. Komposisi Biologi

Kemampuan pengolahan lumpur secara biologis tergantung dari kandungan organik yang ada, dengan tersedianya nutrien dan faktor toksisitas mineral dalam lumpur. Pengolahan lumpur seperti sedimentasi dan pengolahan biologis biasanya dilengkapi dengan pertimbangan penghilangan patogen yang terkandung dalam lumpur. *Kebler, 1959* dalam *Widarti* mencatat bahwa akumulasi konsentrasi mikroorganisme dalam lumpur lebih tinggi dibanding dengan konsentrasi didalam air limbah itu sendiri. Data mengenai konsentrasi BOD dan suspended-solid dari berbagai fasilitas yang memproses lumpur dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Konsentrasi BOD dan Suspended Solid dari Berbagai Fasilitas yang Memproses Lumpur

Operasi	BOD(mg/L)		Suspended solid (mg/L)	
	Range	Typical	Range	Typical
Gravity thickening				
Primary sludge	100-400	250	80-300	200
Primary sludge & waste activated sludge	60-400	300	100-350	250
Flotation thickening	50-400	250	100-600	300
Centrifuge thickening	400-1200	800	500-1500	800
Air activated sludge	1200-1600	1400	1500-2000	1600
Oxygen activated sludge				
Anaerobic digestion	500-1000	800	1000-5000	3000

Standard-rate type	2000-5000	4000	1000-10000	6000
High-rate type	200-5000	500	1000-10000	3400
Aerobic digestion	3000-	7000	1000-5000	2000
Heat treatment, top liquor or filtrate	15000			
Vacuum filtration		1000	1000-5000	2000
Undigested sludge	500-5000	2000	1000-20000	4000
Digested sludge	500-5000			
Centrifugation		5000	2000-10000	5000
Undigested sludge	1000-	5000	2000-15000	5000
Digested sludge	10000			
Belt filter press	1000-	300	200-2000	1000
Undigested sludge	10000	300	200-2000	1000
Digested sludge				
	50-500			
	50-500			

Sumber : Metcalf & Eddy, 1991

2.7. Limbah Padat (*Sludge*) Pabrik Kertas

Sejak tahun 1980-an industri pulp dan kertas terus tumbuh dan berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat atas berbagai macam jenis kertas. Puluhan jenis kertas telah diproduksi, mulai dari jenis *corrugated bord*, *coating paper*, kertas kantong semen hingga kertas tissue. Bahan baku pembuatan kertas pun bervariasi, mulai dari kayu, bambu, kertas bekas, hingga ampas tebu.

Proses produksi kertas terdiri dari proses pembuatan pulp dan pembuatan kertas. Pabrik kertas dikatakan sebagai pabrik terpadu apabila melakukan proses mulai dari pembuatan pulp hingga menghasilkan produk jadi kertas. Disamping itu terdapat juga pabrik kertas yang hanya melakukan proses pembuatan pulp atau pembuatan kertas saja.

Proses pembuatan pulp merupakan proses pengubahan bahan baku berselulosa menjadi massa berserat, secara umum terbagi menjadi beberapa tahapan, antara lain penyiapan bahan baku, penyiapan bahan pemotong,

pembuatan pulp, pencucian, penyaringan, pembersihan serta pemekatan. Proses pembuatan kertas mulai dari pulp sampai menjadi kertas siap pakai terdiri dari tahapan penyiapan stok bubur kertas, pembentukan jaringan serat (*forming*), penempaan (*pressing*), pengeringan (*drying*), dan penyempurnaan (*finishing*).

Pengelolaan limbah pabrik kertas, baik limbah padat ataupun limbah cair, merupakan permasalahan yang mendesak dalam rangka pengendalian pencemaran lingkungan. Selama ini limbah padat tersebut dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karton kemasan (tempat) telur dan buah – buahan, budidaya jamur serta kerajinan. Sebagian besar limbah tersebut dimanfaatkan untuk tanah urugan daerah sekitar pabrik. Apabila keadaan ini dibiarkan terus menerus, maka akan terjadi dua masalah utama. Pertama, semakin lama pabrik akan kekurangan lahan untuk penimbunan limbah tersebut. Kedua, limbah yang bertumpuk sangat mungkin akan menimbulkan pencemaran lingkungan, baik pencemaran air, tanah, atau udara. Dengan demikian diperlukan upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu upaya tersebut dengan melakukan daur ulang limbah menjadi sesuatu yang berguna dan memiliki nilai ekonomis, misalnya dimanfaatkan untuk pembuatan *paving block*.

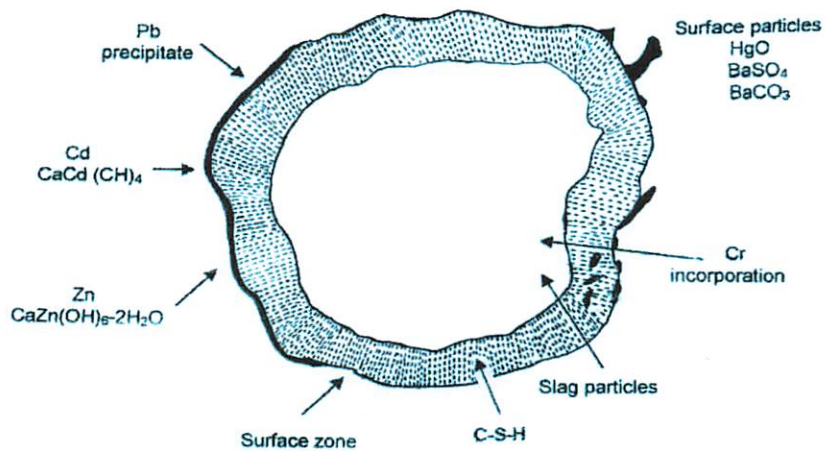
Tabel 2.14. Karakteristik Limbah Padat Kertas

Jenis Komposisi	Presentase Berat (%)
Zat organik	38,60%
Zat anorganik	
• SiO ₂	8,1%
• Al ₂ O ₃	2,48%
• CaO	27,66%
• MgO	4,81%
• Fe ₂ O ₃	7,98%
Air	10,6%
Lain – lain	9,94%
Jumlah total	100,00%

Sumber: Hasil analisis, dalam Munthoha (2004)

2.8. Logam Berat

Kandungan logam berat yang ada dalam lumpur menjadi perhatian khusus karena toksisitasnya terhadap lingkungan dan organisme hidup. Pengelolaan limbah yang mengandung logam berat perlu dilakukan agar tidak mencemari lingkungan. Hal itu dimaksudkan untuk menekan dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh logam berat tersebut. Penelitian ini merupakan salah satu langkah untuk mengolah limbah yang mengandung logam berat, yaitu solidifikasi-stabilisasi. Tujuan proses ini adalah mengubah bentuk limbah cair atau lumpur menjadi padatan, sehingga logam berat yang terkandung didalamnya dapat terikat oleh bahan tambahan yang mempunyai daya ikat terhadap logam berat tersebut. Dengan demikian diharapkan limbah logam berat tersebut akan lebih tahan terhadap proses pelindian (leaching). Adapun mekanisme pengikatan logam berat dalam pasta semen dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen

Sumber : Ure A M, 1995 dalam Evitasari 2000

2.8.1. Timbal (Pb)

2.8.1.1. Umum

Pb termasuk unsur dalam golongan IVB tabel periodik, dengan nomor atom 82, nomor massa 207,19. Logam ini memiliki karakteristik lunak, warna abu-abu kebiru-biruan, massa jenis $11,34 \text{ gr/cm}^3$. Logam ini memiliki titik didih

1740°C. Pb bereaksi jika ada udara dan reaktif terhadap asam, meskipun asam lemah.

2.8.1.2. Bahaya dari Pb

Pb bersifat toksik pada manusia, hewan maupun tumbuhan. Logam berat Pb termasuk salah satu pencemar yang sangat berbahaya, yang dapat menimbulkan efek kesehatan baik akut maupun kronik. Keracunan yang ditimbulkan oleh persenyawaan logam Pb dapat terjadi karena masuknya persenyawaan logam tersebut ke dalam tubuh. Proses masuknya Pb ke dalam tubuh dapat melalui beberapa jalur, yaitu makanan, minuman, dan udara yang terhirup. Namun jumlah Pb yang masuk bersama makanan atau minuman masih mungkin ditolelir oleh lambung disebabkan asam lambung (HCl) mempunyai kemampuan untuk menyerap keberadaan logam Pb ini, pada kenyataannya Pb lebih banyak dikeluarkan oleh tinja.

Pada jaringan atau organ tubuh, logam Pb akan terakumulasi pada tulang, karena logam ini dalam bentuk ion (Pb^{2+}) mampu menggantikan keberadaan ion Ca^{2+} (kalsium) yang terdapat dalam jaringan tulang. Disamping itu pada wanita hamil logam Pb dapat melewati plasenta dan kemudian akan ikut masuk dalam sistem peredaran darah janin dan selanjutnya bayi lahir, Pb akan dikeluarkan bersama air susu.

Senyawa Pb organik umumnya masuk ke dalam tubuh melalui jalur pernafasan atau penetrasi melalui kulit. Penyerapan lewat kulit ini dapat terjadi disebabkan karena senyawa ini dapat larut dalam minyak dan lemak.

Keracunan yang disebabkan oleh keberadaan logam Pb dalam tubuh mempengaruhi banyak jaringan dan organ tubuh, antara lain : epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar, deliriu (sejenis penyakit gula), kerusakan pada saluran ginjal dan mengganggu sistem reproduksi.

2.8.1.3. Tingkat Pb Normal dalam Tubuh

Untuk dapat melakukan evaluasi terhadap keterpaparan oleh logam Pb, perlu diketahui batas normal dari konsentrasi kandungan Pb dalam jaringan-jaringan dan cairan tubuh. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan di

Amerika Serikat, disimpulkan bahwa pemasukan Pb sehari-hari ke dalam tubuh dan digolongkan pada tingkat keterpaparan normal adalah dalam kisaran 330 µg per hari, dengan tingkat variasi antara 100 µg sampai dengan 2000 µg (Darmono, 1995)

2.9. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan secara statistik. Sebagai alat yang berfungsi untuk mengolah suatu data, penjabaran metodologi statistik didasarkan pada tiga hal yakni proses analisis, asumsi bentuk distribusi, dan banyaknya variabel yang dilibatkan. Metodologi statistik berdasarkan proses analisisnya meliputi analisa deskriptif dan analisis konfirmatif (inferensi) (*Sumber: Achmad Z. S, 2005*).

2.9.1. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskriptifkan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya, tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Statistik deskriptif memberikan informasi secara visual dan lebih bersifat subjektif dalam pembuatan analisisnya. Walaupun bersifat subjektif di dalam pengambilan keputusan, analisis deskriptif sering digunakan khususnya dalam memperhatikan perilaku data dan penentuan dugaan–dugaan yang selanjutnya akan diuji dalam analisis inferensi. Berikut ini adalah beberapa rumus yang biasa digunakan dalam statistik deskriptif.

a. Mean / Rataan Sampel (\bar{x})

Nilai-nilai data kuantitatif akan dinyatakan dengan X_1, X_2, \dots, X_n , apabila dalam kumpulan data itu terdapat n buah nilai. Simbol n juga akan dipakai untuk menyatakan ukuran sampel, yakni banyak data atau obyek yang diteliti dalam sampel. Sedangkan fungsi dari rata-rata sampel untuk menghitung rata-rata dari sebuah sampel yang diteliti. Rumus yang digunakan adalah:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

dimana:

\bar{x} = rata – rata hitung dari sampel

Σx = total jumlah sampel

n = banyaknya sampel

b. Simpangan Baku (s)

Untuk mengukur data kuantitatif yang berpencar bisa menggunakan ukuran simpangan/ukuran dispersi. Ukuran ini kadang-kadang dinamakan pula ukuran variasi. Untuk menggambarkan bagaimana berpencarnya data kuantitatif.

Rumus yang digunakan adalah:

$$s = \sqrt{\frac{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}{n(n-1)}}$$

dimana:

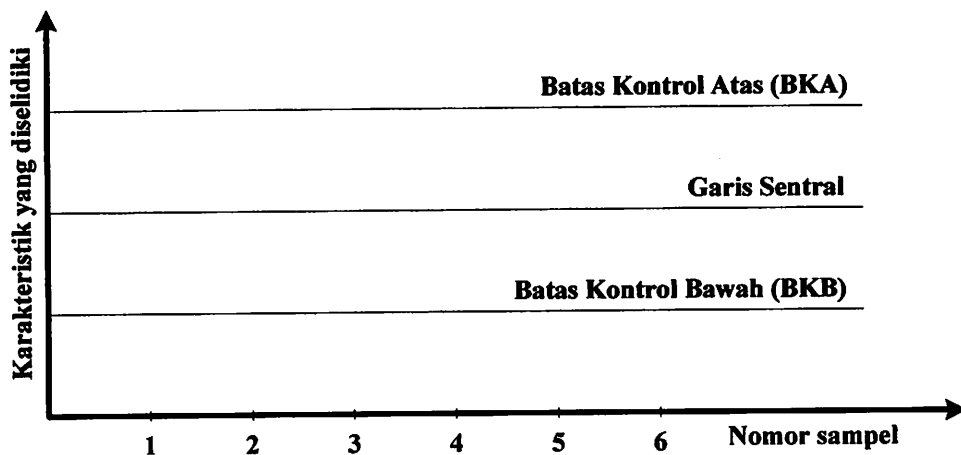
s = standart deviasi yang dicari

Σx = jumlah semua harga sampel

n = banyaknya sample

c. Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan data. Pada pengujian keseragaman data ini data akan diuji apakah data yang terkumpul seragam dan selanjutnya mengidentifikasi data yang ekstrim. Data ekstrim yang dimaksud adalah data yang terlalu besar atau data yang terlalu kecil dan jauh menyimpang dari trend rata – ratanya. Untuk memudahkan pengujian maka digunakan diagram kontrol *Shewhart* dengan contoh sebagai berikut:



Gambar 2.5 Diagram Kontrol *Shewhart*

Garis sentral melukiskan “nilai baku” yang akan menjadi pangkal perhitungan terjadinya penyimpangan hasil – hasil pengamatan untuk tiap sampel. Garis bawah yang sejajar dengan garis sentral dinamakan batas kontrol bawah (BKB). Ini merupakan penyimpangan paling rendah yang diijinkan dihitung dari “nilai baku”. Garis yang menyatakan penyimpangan paling tinggi dari “nilai baku” terdapat sejajar di atas sentral dan dinamakan batas kontrol atas (BKA). Rumus yang digunakan untuk mengetahui sentral, BKA dan BKB adalah:

$$\text{sentral} = \bar{x}$$

$$BKA = \bar{x} + K\bar{s}$$

$$BKB = \bar{x} - K\bar{s}$$

dimana:

\bar{x} = rata – rata harga sampel

K = Index (tergantung dari tingkat kepercayaan yang diambil) untuk kepercayaan 95%, nilai $K = 2$

\bar{s} = standart deviasi rata – rata

(Sumber : Sudjana, 2002)

2.9.2. Statistik Inferensi

Statistik inferensi mencakup semua metode yang berhubungan dengan analisis data untuk kemudian sampai pada peramalan atau penarikan kesimpulan. Statistik inferensi dapat memberikan informasi lebih objektif terutama dalam proses pengambilan keputusan yang ditunjang dengan adanya nilai tingkat kesalahan pengukuran. Statistik inferensi selanjutnya akan dijabarkan kembali ke dalam penaksiran titik dan penaksiran selang dari suatu nilai parameter dan juga pengujian hipotesis dari suatu masalah. Beberapa analisa yang terdapat dalam statistik inferensi adalah sebagai berikut.

a. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui derajat hubungan antar variabel digunakan analisa korelasi. Ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan terutama untuk data kuantitatif, dinamakan koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur derajat hubungan, meliputi kekuatan hubungan dan bentuk/arah hubungan. Nilai hubungan berada pada selang tertutup $(-1, 1)$. Untuk membaca besarnya derajat keeratan dari hubungan terdapat dua hal yang harus diperhatikan, yakni:

- Lihat tanda dari derajat keeratan tersebut, positif atau negatif. Hubungan statistika kedua peubah akan negatif apabila salah satu variabel memiliki hubungan yang bertolak belakang dengan peubah lainnya. Atau dengan kata lain apabila nilai satu peubah membesar maka nilai peubah lainnya mengecil. Sedangkan hubungan statistika kedua peubah akan bernilai positif jika hubungan kedua peubah searah atau dengan kata lain apabila satu peubah membesar nilainya maka peubah lainnya ikut membesar, dan sebaliknya.
- Lihat besarnya nilai derajat keeratan. Untuk membaca nilai dari derajat keeratan dapat digunakan klasifikasi hubungan statistika dua peubah menurut *Guilford* berikut ini:

Tabel 2.15 Koefisien Korelasi *Guilford*

Nilai Hubungan Statistika dua Peubah	Keterangan
< 0,2	Tidak terdapat hubungan antara kedua peubah
Antara 0,2 s/d 0,4	Hubungan kedua peubah lemah
Antara 0,4 s/d 0,7	Hubungan kedua peubah sedang
Antara 0,7 s/d 0,9	Hubungan kedua peubah kuat
Antara 0,9 s/d 1	Hubungan kedua peubah sangat kuat dan positif

(Sumber: A. Zambar Soleh, 2005)

Sebagai catatan penting, nilai hubungan statistika dua peubah sama dengan "1" memiliki makna bahwa terdapat hubungan yang sempurna antara kedua peubah. Atau dengan kata lain, nilai suatu peubah dapat dengan tepat/pasti dijelaskan oleh peubah lainnya. Lain halnya dengan nilai statistika dua peubah sama dengan "0" menunjukkan tidak adanya hubungan diantara kedua peubah (A. Zambar Soleh, 2005).

Untuk keperluan perhitungan koefisien korelasi berdasarkan sekumpulan data berukuran n dapat digunakan rumus:

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2\} \{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2\}}}$$

dimana:

r = koefisien korelasi

x_i = variabel bebas

y_i = variabel terikat

n = jumlah data

(Sudjana, 2002)

b. Analisa Regresi

Analisa regresi adalah suatu analisa untuk menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel ke dalam bentuk persamaan matematis. Untuk analisis regresi akan dibedakan dua jenis variabel ialah variabel bebas atau variabel prediktor dan variabel tak bebas atau variabel respon. Pembuatan persamaan matematis dimaksudkan untuk membantu peneliti di dalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas atau terikat, bahkan biasanya digunakan untuk memprediksikan kondisi masa yang akan datang. Jika variabel bebas dan variabel terikat yang terlibat dalam penelitian masing-masing hanya satu, maka dinamakan Regresi Linear Sederhana. Kemudian apabila hanya ada satu variabel terikat dan beberapa variabel bebas maka persamaan regresinya disebut Regresi Linear Berganda. Bentuk persamaan regresi secara umum adalah:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + \dots + kX_z$$

dimana:

Y = variabel terikat

a = konstanta

b = koefisien regresi

X_1 = variabel bebas

Pada analisa regresi juga diperlukan beberapa pengujian yaitu:

- a. Uji F yang digunakan untuk mengetahui apakah persamaan regresi bisa dipakai untuk memprediksi variabel terikat.
- b. Uji t digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien konstanta dan variabel bebas.

c. Analisa Varian

Pengujian menggunakan analisa varian dalam statistika parametrik diantara kelompok yang saling memiliki perbedaan sebagai akibat adanya perlakuan, dilakukan dengan menggunakan *Analysis of Varian* (ANOVA). Uji ini

dilakukan berdasarkan distribusi nilai F. Nilai F diperoleh dari rata – rata jumlah kuadrat (*mean square*) antar kelompok yang dibagi dengan rata – rata jumlah kuadrat dalam kelompok dengan rumus:

$$F = \frac{S_B^2}{S_W^2}$$

dimana:

S_B^2 = varians antar kelompok

S_W^2 = varians dalam kelompok

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian tentang pemanfaatan limbah padat kertas dan limbah padat pembakaran batu bara (*fly ash*) sebagai bahan baku pembuatan *paving block* terbagi menjadi dua kegiatan utama yaitu pembuatan *paving block* dan pengujian *paving block*.

Paving block dibuat di UD. Barokah di Jl. Bauksit 56 Malang. Sedangkan pengujian secara fisik dilakukan di Laboratorium Beton Teknik Sipil ITN dan pengujian secara kimia dilakukan di Laboratorium Perum Jasa Tirta I dan Laboratorium FMIPA Jurusan Kimia Brawijaya. Kegiatan tersebut meliputi pembuatan *paving block* dan pengujian *paving block* sesuai dengan SNI 03-0691-1996.

3.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini berlangsung pada bulan November 2006 sampai dengan Januari 2007. Meliputi kegiatan pembuatan *paving block* dan uji kelayakan *paving block* sesuai dengan Standart Nasional Indonesia 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*).

3.3. Variasi Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan perbandingan berat semen, *fly ash*, pasir, dan *sludge*. Variasi tersebut pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan Semen, *Fly Ash*, Pasir, dan *Sludge*

No	Kode Campuran	Pebandingan bahan – bahan yang digunakan			
		Pengikat (1)		Agregat (4)	
		Semen	<i>Fly Ash</i>	Pasir	<i>Sludge</i>
1	A *	1	0	4	0
2	B ₁	0,9	0,1	3	1
3	B ₂			2,5	1,5
4	B ₃			2	2
5	C ₁	0,8	0,2	3	1
6	C ₂			2,5	1,5
7	C ₃			2	2
8	D ₁	0,7	0,3	3	1
9	D ₂			2,5	1,5
10	D ₃			2	2

Keterangan : * = Paving kontrol

- Untuk pengikat dan agregat digunakan satuan berat, satuan berat ini tergantung banyaknya paving yang akan dibuat.
Misal dalam penelitian ini untuk kode campuran A dengan variasi (1:0:4:0) untuk satu paving beratnya rata-rata ± 2,8 kg dengan ukuran dimensi paving (21x10,5x6 cm) maka banyaknya pengikat sebesar 0,56 kg sedangkan untuk agregat sebesar 2,24 kg.

3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Dalam prosedur pelaksanaan penelitian terdiri dari perlakuan pendahuluan, analisa pendahuluan terhadap kandungan logam berat (Pb) dan Cd dalam *sludge*, persiapan penelitian, pembuatan *paving block* dan pengujian *paving block*.

3.4.1. Perlakuan Pendahuluan

Sludge yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proses dewatering (proses pengurangan kadar air) instalasi pengolahan air buangan PT. Kertas Leces, Probolinggo. Sebelum sampel (*sludge*) digunakan sebagai bahan baku *paving block* diperlukan perlakuan pendahuluan untuk mempermudah pembuatan *paving block*. Adapun perlakuan pendahuluan terhadap sampel (*sludge*) adalah sebagai berikut :

- Pengeringan, *Sludge* dikeringkan dengan cara dijemur di bawah terik matahari hingga benar – benar kering. Pada penelitian ini proses penjemuran memerlukan waktu 7 hari. Selain itu, pengeringan *sludge* dilakukan agar mudah dalam proses penghalusan dan mudah menyatu dengan semen sehingga membuat homogenitas adonan mudah dilakukan.
- Penghalusan, sebelum digunakan dilakukan penghalusan *sludge*. Penghalusan dilakukan dengan menumbuk *sludge* kering dengan palu dengan ukuran butiran kira – kira < 4,75 mm.
- Penyaringan, karena *sludge* digunakan sebagai substitusi pasir dalam *paving block*, maka *sludge* diayak dengan menggunakan ayakan pasir (ayakan No. 4 ukuran 4,75 mm). Selain itu juga untuk menghilangkan kotoran dalam *sludge*.

3.4.2. Analisa Pendahuluan

Pada penelitian ini, perlu dilakukan analisa pendahuluan untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam berat Pb dan Cd dalam *sludge* yang akan digunakan sebagai agregat halus. Adapun analisa yang dilakukan adalah : Untuk mengetahui kandungan logam Pb dan Cd dalam *sludge* dilakukan analisa dengan menggunakan pereaksi HNO₃ pekat dan diukur konsentrasi logam berat tersebut dengan menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spektrofotometri*).

Berdasarkan hasil analisis awal kandungan logam Pb yang terdapat dalam *sludge* diketahui logam Timbal (Pb) telah melebihi baku mutu uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Prosedure* atau Hasil Ekstraksi Lindi) yang berlaku di Indonesia.

3.4.3. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan meliputi persiapan alat dan bahan serta perlakuan pendahuluan terhadap sampel tersebut.

→ Persiapan alat:

Alat untuk pembuatan *paving block* yang dibutuhkan adalah : Ayakan (No. 4) ukuran 4,75 mm, timbangan, cetok, mesin pencetak *paving block*.

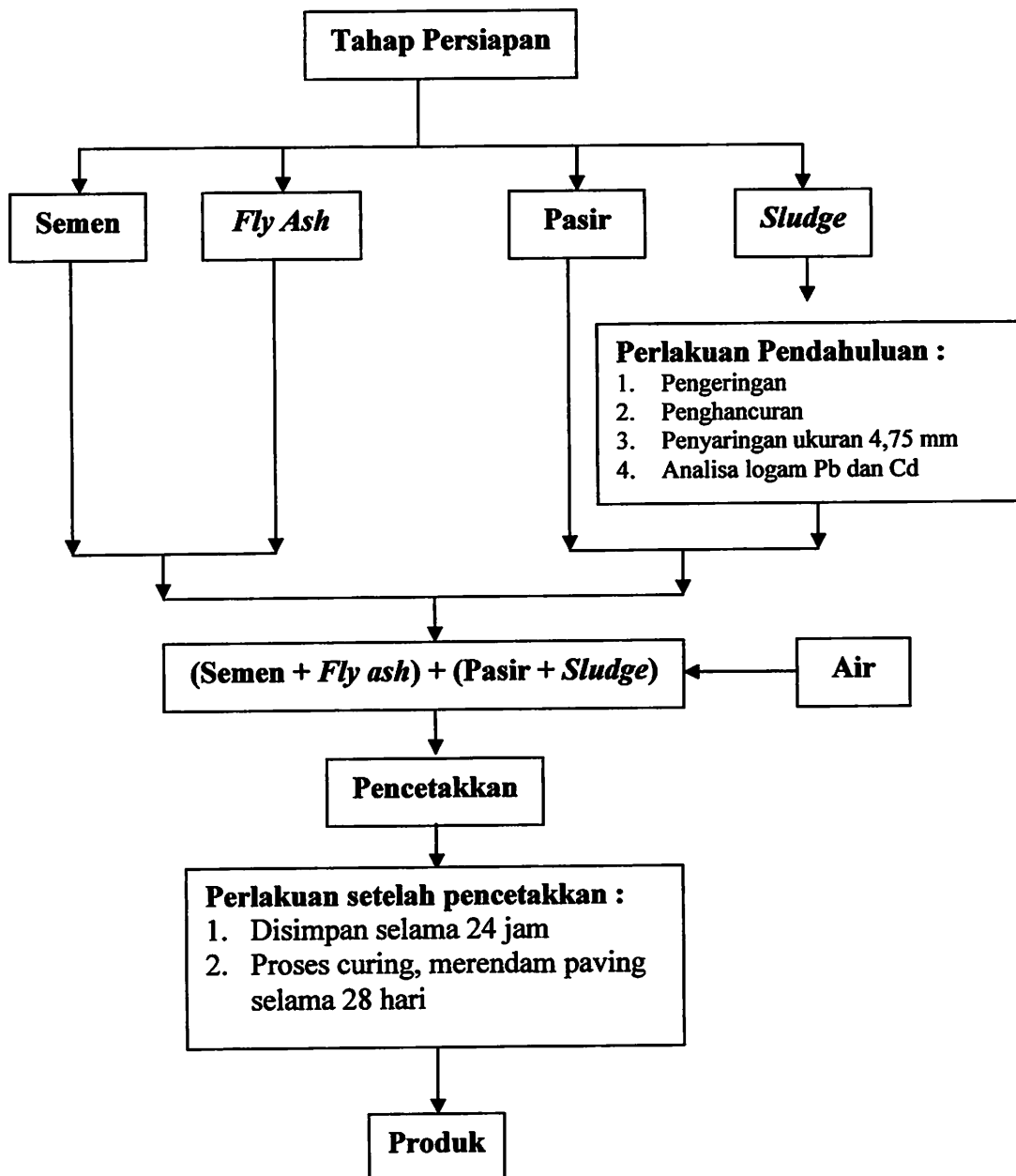
Peralatan yang digunakan untuk melakukan uji kelayakan diantaranya adalah alat uji kuat tekan, bak perendaman, oven, alat uji ketahanan aus dan timbangan.

→ Persiapan bahan :

Bahan yang dibutuhkan meliputi : pasir, semen type I, *sludge*, *fly ash* dan air dari PDAM.

3.4.4. Proses Pembuatan *Paving Block*

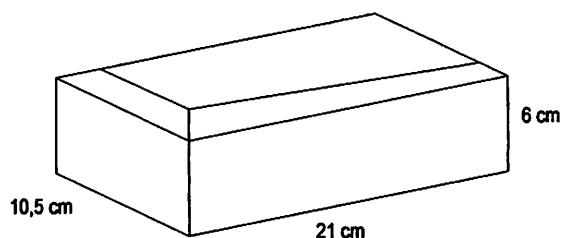
Langkah kerja pembuatan *paving block*



Gambar 3.1. Diagram alir pembuatan *paving block*

- Cara pembuatan *paving block* :

- Membuat adonan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan yaitu dengan perbandingan 1 pengikat : 4 agregat. Pembuatan adonan dilakukan dengan mencampurkan pasir dengan *sludge* sebagai substitusi agregat terlebih dahulu, setelah tercampur dengan sempurna kemudian dicampur lagi dengan campuran semen dan *fly ash*, kemudian campuran tersebut diaduk lagi hingga tercampur secara merata kemudian baru ditambahkan air secukupnya.
- Melakukan pencetakan dengan bentuk segiempat dan pengepresan.
- Setelah *paving block* dicetak kemudian disimpan selama 24 jam di dalam ruangan. Kemudian dilakukan proses *curing* (perawatan) selama 28 hari. Proses *curing* (perawatan) dilakukan dengan cara merendam *paving block* dalam air selama 28 hari, hal ini dilakukan karena *paving block* akan mencapai kekuatan maksimal pada 28 hari dan setelah masa tersebut kekuatannya akan bertambah tetapi tidak signifikan. Untuk setiap uji kelayakan masing-masing digunakan 3 benda uji dan kemudian diambil rata-ratanya. Dalam proses pembuatan *paving block* tersebut, pada saat *paving block* telah tercetak dan disimpan selama 24 jam masing-masing diberi kode tertentu sesuai dengan variasi komposisi bahan dalam *paving block*. Hal ini dilakukan agar dalam perlakuan uji kelayakan tidak tertukar antara komposisi yang satu dengan yang lainnya.
- Proses pengeringan *paving block* yang dilakukan akan mencapai kekuatan maksimal setelah 28 hari. Hal ini disebabkan karena kecepatan hidrasi semen mencapai maksimal pada waktu *paving block* berumur 28 hari. Pengeringan dilakukan tidak dibawah sinar matahari secara langsung, dalam hal ini dilakukan di dalam ruangan terbuka hanya terdiri dari atap dan tidak mempunyai dinding. Adapun untuk lebih jelasnya *paving block* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. *Paving block* yang dihasilkan

3.4.5. Uji Syarat Mutu *Paving Block*

Uji syarat mutu *Paving block* yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-0691-1996 adalah sebagai berikut :

- Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan *paving block* dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari tiap-tiap variasi yang digunakan. Pada penelitian ini uji kuat tekan dilakukan pada saat *paving block* berumur 28 hari. *Paving block* yang dibuat diharapkan dapat memenuhi kelas mutu A (digunakan untuk jalan raya). Prosedur kuat tekan dapat dilihat pada lampiran A. Uji kuat tekan ini dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine*.

- Uji Penyerapan Air

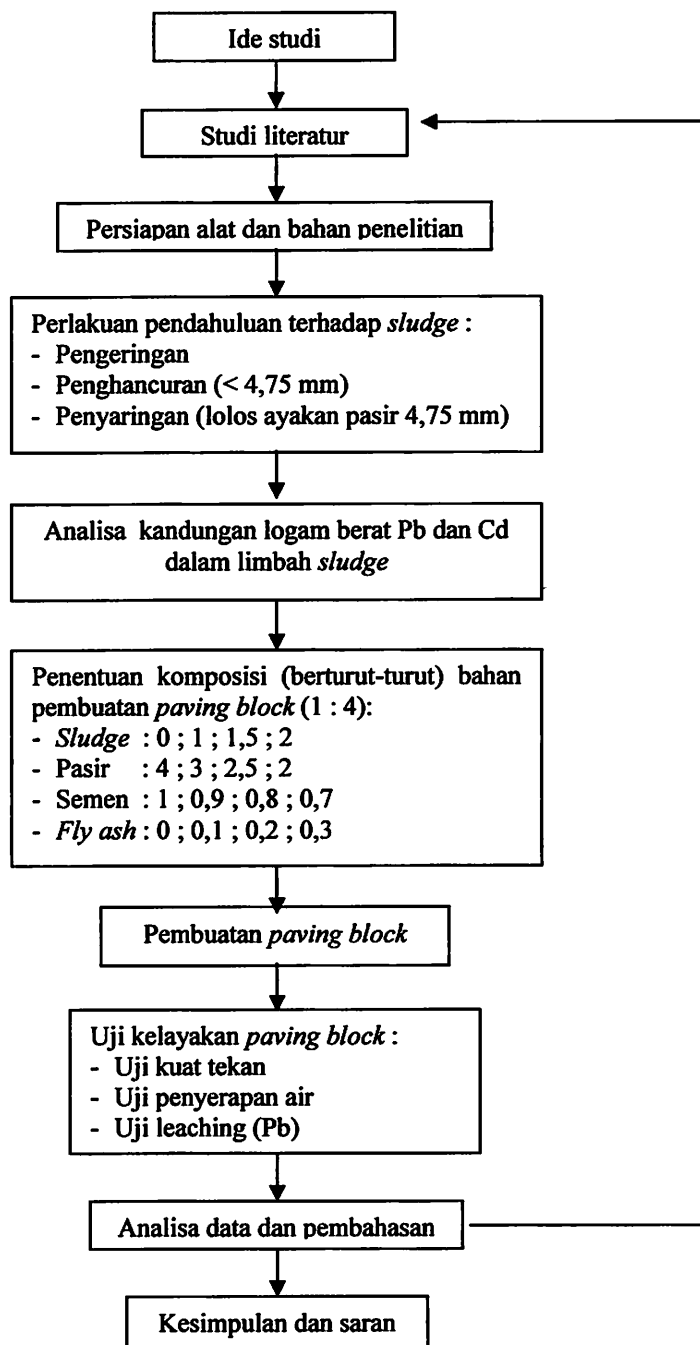
Uji penyerapan air bertujuan untuk mengetahui berapa besar daya serap *paving block* terhadap air. *Paving block* bermutu jika kemampuan penyerapan airnya kecil. Uji ini dilakukan dengan cara merendam *paving block* di dalam air selama 24 jam lalu dilakukan penimbangan benda uji dalam keadaan basah. Setelah itu benda uji dikeringkan dengan cara dioven selama 24 jam pada suhu 105° C kemudian dilakukan penimbangan untuk mengetahui selisih berat sebelum dan sesudah direndam. Untuk lebih jelasnya prosedur uji penyerapan air dapat dilihat pada lampiran B.

- Uji *Leaching* (Pb)

Uji pelindian terhadap asam dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan asam untuk melepaskan logam berat ke lingkungan dan mengetahui kemampuan semen untuk mengikat logam berat. Logam berat yang diuji adalah logam berat Timbal (Pb) karena kadar awal kandungan logam Timbal (Pb) dalam limbah telah melebihi baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang berlaku di Indonesia. Untuk penelitian ini digunakan metode ekstraksi leachate dari limbah padat, yang kemudian dilakukan analisa *Atomic Absorption Spectrofotometri (AAS)*.

3.5. Kerangka Penelitian

Untuk mengetahui dasar pemikiran penelitian dibuat kerangka penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.3. Kerangka Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Pemanfaatan *fly ash* dan *sludge* sebagai *paving block* dalam penelitian ini merupakan salah satu metode untuk mengolah limbah B-3 (dalam *fly ash* dan *sludge* mengandung logam berat Cd dan Pb) yaitu metode stabilisasi – solidifikasi, disamping itu *paving block* yang telah dibuat bisa dimanfaatkan sebagai konstruksi perkerasan pada jalan sesuai dengan kelasnya menurut SNI 03-0691-1996.

Hasil analisis kimia *sludge* dan *fly ash* menunjukkan bahwa unsur-unsur yang terkandung dalam *sludge* dan *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *paving block*, diantaranya adalah SiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO dan SO_3 karena memiliki komposisi kimia yang sama dengan semen.

Sebelum dilakukan penelitian, terlebih dahulu dilakukan analisis pendahuluan untuk mengetahui kandungan awal logam berat dalam *sludge* dan *fly ash*. Kandungan logam berat yang akan dianalisis adalah Cadmium (Cd) dan Timbal (Pb). Hasil analisis pendahuluan kandungan logam berat dalam *sludge* dan *fly ash* dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Nilai Kandungan Awal Logam Dalam *Sludge*

Parameter	Kadar
Cadmium (Cd)	0,150 ppm
Timbal (Pb)	6,117 ppm

Sumber: Hasil Penelitian dari laboratorium Jasa Tirta

Tabel 4.2 Nilai Kandungan Awal Logam Dalam *Fly Ash*

Parameter	Kadar
Cadmium (Cd)	0,2 ppm
Timbal (Pb)	3,1 ppm

Sumber: Didik Wahyudi (2002)

Dilihat dari tabel hasil analisa logam berat di atas dapat diketahui nilai kadar masing-masing logam berat, untuk logam berat Cadmium (Cd) baik dalam *sludge* maupun *fly ash* masih di bawah baku mutu uji TCLP, dan untuk logam berat Timbal (Pb) untuk *sludge* melebihi baku mutu uji TCLP sedangkan untuk *fly ash* masih di bawah baku mutu uji TCLP. Maka penelitian ini hanya menganalisa logam berat yang mempunyai kandungan melebihi baku mutu uji TCLP yaitu logam berat Pb yang terkandung dalam paving yang telah dibuat.

4.2. Data Hasil Penelitian Pembuatan *Paving Block*

4.2.1. Uji Kuat Tekan *Paving Block*

Uji kuat tekan *paving block* dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan *paving block* sebelum digunakan. Dilakukan pada saat *paving block* berumur 28 hari. Pada penelitian ini *paving block* dibuat dengan menambahkan *sludge* untuk mengurangi jumlah agregat (pasir) dan menambahkan *fly ash* untuk mengurangi jumlah pengikat (semen). Hal ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah *sludge* dan *fly ash*. Banyaknya *sludge* yang digunakan dalam campuran adalah 1, 1,5 dan 2 dari berat agregat (pasir) sedangkan banyaknya *fly ash* yang digunakan dalam campuran adalah 0,1, 0,2 dan 0,3 dari berat pengikat (semen).

Tabel 4.3. Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block*

Kode	Pengikat		Agregat		Kuat tekan (Kg/cm ²)	Rata- rata kuat tekan (Kg/cm ²)
	Semen	Fly ash	Pasir	Sludge		
A *	1	0	4	0	374,844 373,918 372,993	373,918
B 1	0,9	0,1	3	1	222,130 220,741 221,667	221,513
B 2	0,9	0,1	2,5	1,5	166,597 165,209 166,134	165,980
B 3	0,9	0,1	2	2	143,459 142,070 144,384	143,304
C 1	0,8	0,2	3	1	210,560 210,098 211,023	210,560
C 2	0,8	0,2	2,5	1,5	157,342 158,267 157,805	157,805
C 3	0,8	0,2	2	2	137,906 136,980 136,980	137,304
D 1	0,7	0,3	3	1	186,034 185,108 186,034	189,725
D 2	0,7	0,3	2,5	1,5	145,773 145,310 146,235	145,773
D 3	0,7	0,3	2	2	101,809 102,735 102,272	102,272

Sumber: Hasil Penelitian di laboratorium beton ITN Malang

Keterangan : * = Paving Kontrol

4.2.2. Uji Penyerapan Air *Paving Block*

Uji penyerapan air dilakukan untuk mengetahui berapa besar daya serap *paving block* terhadap air. Semakin kecil daya serap *paving block* terhadap air, maka kualitas *paving block* tersebut semakin baik. Menurut Standar Nasional Indonesia

(SNI) daya serap air hanya memiliki toleransi 3% untuk kelas A, 6% untuk kelas B, 8% untuk kelas C dan 10% untuk kelas D. Uji penyerapan air *paving block* ini dilakukan dengan cara merendam *paving block* di dalam air selama 24 jam, sehingga diketahui selisih berat sebelum dan sesudah direndam.

Tabel 4.4. Hasil Uji Penyerapan Air *Paving Block*

Kode	Pengikat		Agregat		Penyerapan air (%)	Rata-rata penyerapan air (%)
	Semen	<i>Fly ash</i>	Pasir	<i>Sludge</i>		
A *	1	0	4	0	2,105 2,003 1,902	2,003
B 1	0,9	0,1	3	1	4,892 4,886 4,936	4,905
B 2	0,9	0,1	2,5	1,5	7,299 7,393 7,387	7,360
B 3	0,9	0,1	2	2	9,915 9,685 9,939	9,846
C 1	0,8	0,2	3	1	5,817 5,767 5,734	5,773
C 2	0,8	0,2	2,5	1,5	7,970 8,006 8,000	7,992
C 3	0,8	0,2	2	2	11,760 11,700 11,755	11,738
D 1	0,7	0,3	3	1	7,284 7,151 7,177	7,204
D 2	0,7	0,3	2,5	1,5	9,704 9,670 9,677	9,684
D 3	0,7	0,3	2	2	12,683 12,672 12,703	12,686

Sumber: Hasil Penelitian di laboratorium beton ITN Malang

Keterangan : * = Paving Kontrol

4.2.3. Uji Leaching *Paving Block*

Uji leaching dilakukan untuk mengetahui kadar logam berat Timbal (Pb) dalam *paving block*. Uji pelindian terhadap asam dimaksudkan untuk mengetahui konsentrasi logam berat yang terekspos ke lingkungan apabila menghadapi kondisi lingkungan yang asam dan mengetahui kemampuan semen untuk mengikat logam berat. Kadar logam Timbal (Pb) pada uji leaching dalam *paving block* berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang berlaku di Indonesia yaitu sebesar 5,0 ppm, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan *paving block*.

Tabel 4.5. Hasil Uji Leaching *Paving Block*

Kode	Pengikat		Agregat		Kadar leaching Timbal (ppm)	Kadar leaching Timbal rata-rata (ppm)
	Semen	<i>Fly ash</i>	Pasir	<i>Sludge</i>		
A *	1	0	4	0	0,00 0,00 0,00	0,00
B 1	0,9	0,1	3	1	2,11 2,15 2,18	2,15
B 2	0,9	0,1	2,5	1,5	2,57 2,55 2,48	2,53
B 3	0,9	0,1	2	2	3,01 3,05 3,00	3,02
C 1	0,8	0,2	3	1	2,25 2,28 2,30	2,28
C 2	0,8	0,2	2,5	1,5	2,65 2,67 2,64	2,65
C 3	0,8	0,2	2	2	3,12 3,09 3,11	3,11

D 1	0,7	0,3	3	1	2,36 2,34 2,34	2,35
D 2	0,7	0,3	2,5	1,5	2,70 2,72 2,70	2,71
D 3	0,7	0,3	2	2	3,19 3,21 3,24	3,21

Sumber: Hasil Penelitian di laboratorium Brawijaya, Malang

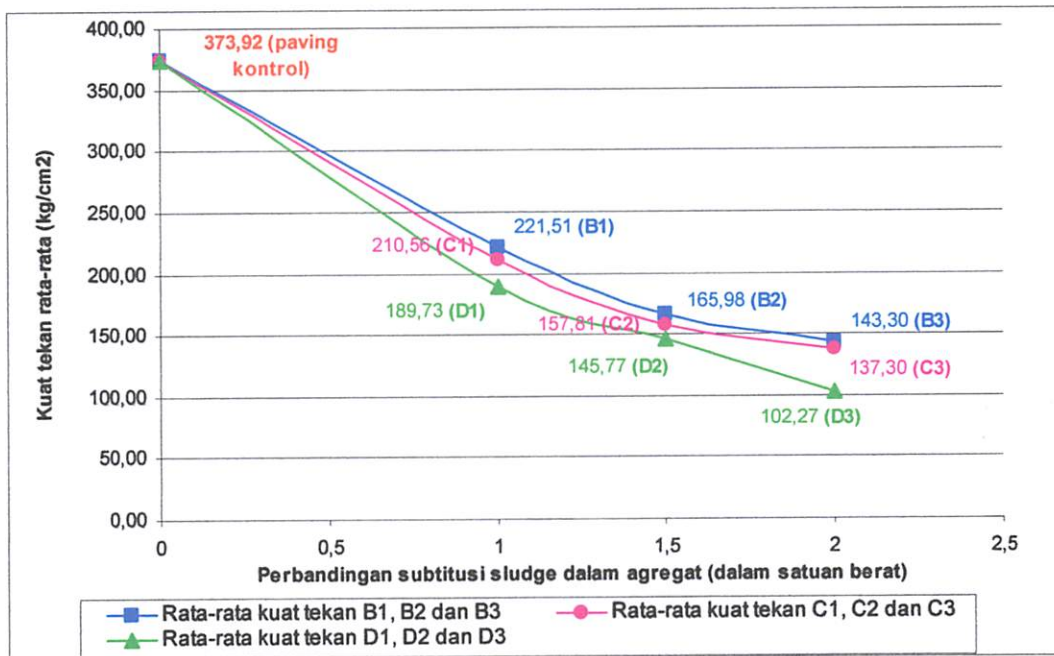
Keterangan : * = Paving Kontrol

4.3. Analisa Data

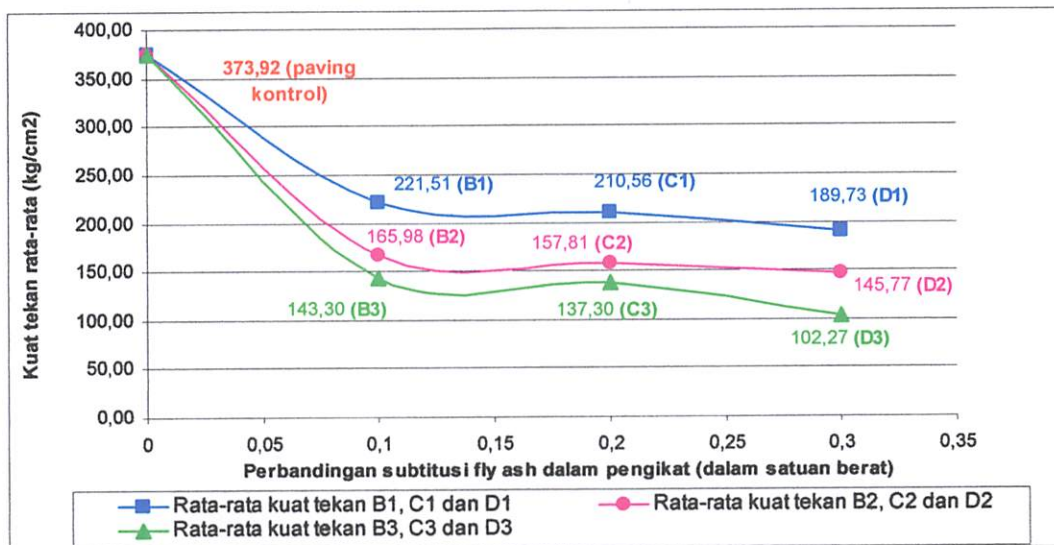
4.3.1. Analisa Hasil Uji Kuat Tekan *Paving Block*

4.3.1.1. Analisa Deskriptif

Berdasarkan gambar grafik 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa semakin banyak substitusi *sludge* dalam agregat dan *fly ash* dalam pengikat maka kuat tekanya semakin rendah. Nilai rata-rata kuat tekan terendah terdapat pada perlakuan paving dengan kode D 3 dengan perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 2 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,3 (dalam satuan berat) yaitu 102,27 kg/cm². Dan nilai rata-rata kuat tekan tertinggi terdapat pada perlakuan paving dengan kode B 1 dengan perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 1 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,1 (dalam satuan berat) yaitu 221,51 kg/cm².



Gambar 4.1. Grafik hubungan komposisi substitusi *sludge* dalam agregat dengan rata-rata kuat tekan.



Gambar 4.2. Grafik hubungan komposisi substitusi *fly ash* dalam pengikat dengan rata-rata kuat tekan.

4.3.1.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya kesamaan berbagai perlakuan terhadap kuat tekan, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji One-way ANOVA. Hasil uji tersebut tersaji pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Analisa ANOVA Nilai Kuat Tekan Pada *Paving Block*

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	9	153518,1	17057,6	36758,05	0,000
Error	20	9,3	0,5		
Total	29	153527,3			

Berdasarkan tabel 4.6 Hipotesis yang diberikan adalah:

- H_0 = Variasi komposisi *paving block* adalah tidak berbeda nyata/identik
- H_1 = Variasi komposisi *paving block* adalah berbeda nyata/tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan :

1. Nilai Probabilitas.

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Dengan nilai probabilitas sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi *paving block* terhadap kuat tekan.

2. Nilai F.

- Jika F hitung $>$ F tabel, H_0 ditolak.
- Jika F hitung $<$ F tabel, H_0 diterima.

Berdasarkan tabel 4.6 nilai F hitung sebesar 36758,05 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 2,39. Karena nilai F hitung lebih besar dari F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi bahan campuran *paving block* terhadap kuat tekan.

4.3.1.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.7.

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 = tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.
- H_1 = Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak..

Tabel 4.7. Korelasi antara Nilai Kuat Tekan Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran *Paving Block*

		<i>Fly Ash</i>	<i>Sludge</i>
Kuat Tekan (Kg/cm²)	Pearson correlation	- 0,679	-0,946
	P-Value	0,000	0,000

Dari tabel 4.7. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel yang dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah :

- Koefisien korelasi antara nilai kuat tekan dan *fly ash* adalah -0,679. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sedang karena memiliki nilai diantara 0,4 - 0,7 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan nilai kuat tekan dan *fly ash* bertolak belakang hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif (-) pada nilai koefisien korelasi yang berarti semakin banyak variasi/komposisi *fly ash* maka nilai kuat tekan semakin turun. Tingkat signifikan nilai kuat tekan dan *fly ash* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).

- Koefisien korelasi antara nilai kuat tekan dan *sludge* adalah -0,946. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat karena memiliki nilai diantara 0,9 – 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan nilai kuat tekan dan *sludge* bertolak belakang hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif (-) pada nilai koefisien korelasi yang berarti semakin banyak variasi/komposisi *sludge* maka nilai kuat tekan semakin turun. Tingkat signifikan nilai kuat tekan dan *sludge* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.1.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

Tabel 4.8. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Kuat Tekan Pada *Paving Block*

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	363,887	4,995	72,85	0,000
<i>Fly ash</i>	-236,58	29,41	-8,04	0,000
<i>Sludge</i>	-101,792	4,615	-22,06	0,000

S = 183,455

R-Sq = 97,8%

R-Sq(adj) = 97,7%

1. Persamaan regresi.

$$Y = 364 - 237 X_1 - 102 X_2$$

Dimana :

Y = Kuat tekan (kg/cm²)

X₁ = *Fly ash*

X₂ = *Sludge*

Konstanta sebesar 364 menyatakan bahwa jika variasi *fly ash* atau *sludge* konstan, maka nilai kuat tekan yang dihasilkan adalah 364 kg/cm². Koefisien

regresi sebesar -237 untuk variabel X_1 (variasi *fly ash*) menyatakan bahwa setiap pengurangan variasi *fly ash* akan meningkatkan nilai kuat tekan sebesar 237 kg/cm^2 . Koefisien regresi sebesar -102 untuk variabel X_2 (variasi *sludge*) menyatakan bahwa setiap pengurangan variasi *sludge* akan meningkatkan nilai kuat tekan sebesar 102 kg/cm^2 dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2. Uji t untuk menguji signifikan variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Hipotesis :

H_0 = Koefisien regresi tidak signifikan.

H_1 = Koefisien regresi signifikan.

Pengambilan keputusan :

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai t tabel adalah 1,703, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.8 adalah -8,04 (variasi *fly ash*), dan -22,06 (variasi *sludge*). Pada variasi *fly ash* dan *sludge* t hitung > t tabel maka koefisien regresi signifikan.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.8) pada variasi *fly ash* dan *sludge* terdapat nilai 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan, atau variasi *fly ash* dan *sludge* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kuat tekan.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai Nilai R square sebesar 97,8 %. Hal ini berarti 97,8 %, nilai kuat tekan dapat dijelaskan oleh variasi *fly ash* dan *sludge*. Sedangkan sisanya 2,2 % dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak diprediksi.

3. Uji F untuk uji kelinieran variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Tabel 4.9. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Kuat Tekan

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	41333588	20666794	614,06	0,000
Residual	27	908705	33656		
Total	29	42242293			

Hipotesis :

H_0 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) tidak ada hubungan linier.

H_1 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) ada hubungan linier.

Pengambilan keputusan :

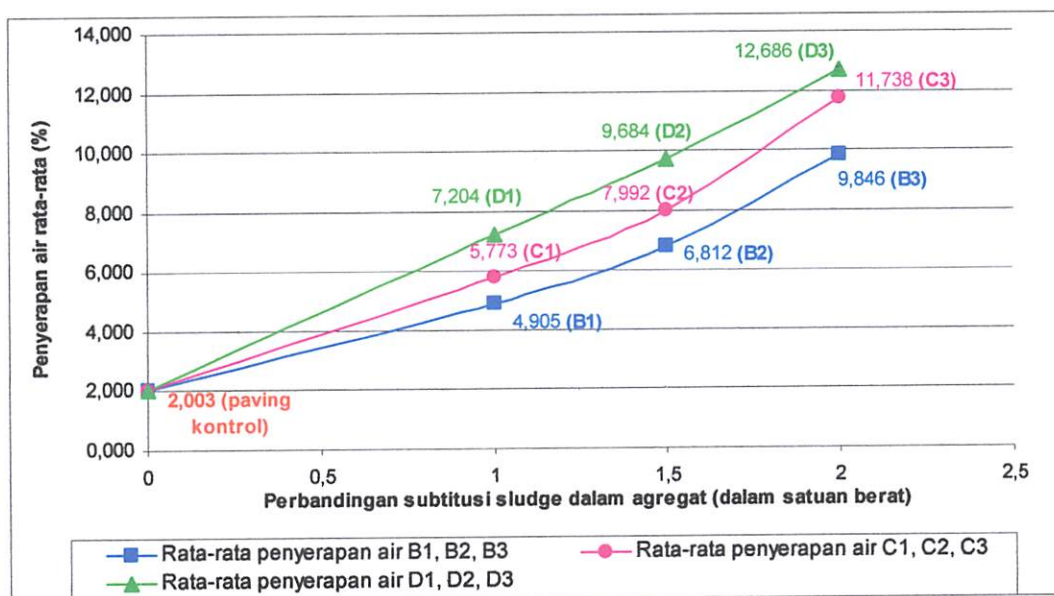
1. Dengan membandingkan statistik F hitung dengan statistik F tabel. Jika statistik F hitung < statistik F tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai F tabel adalah 3,35, sedangkan nilai F hitung berdasarkan tabel 4.9 adalah 614,06, F hitung > F tabel maka variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau nilai kuat tekan dengan variasi *fly ash* dan *sludge* mempunyai hubungan linier.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.9) terdapat nilai probabilitas 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai kuat tekan.

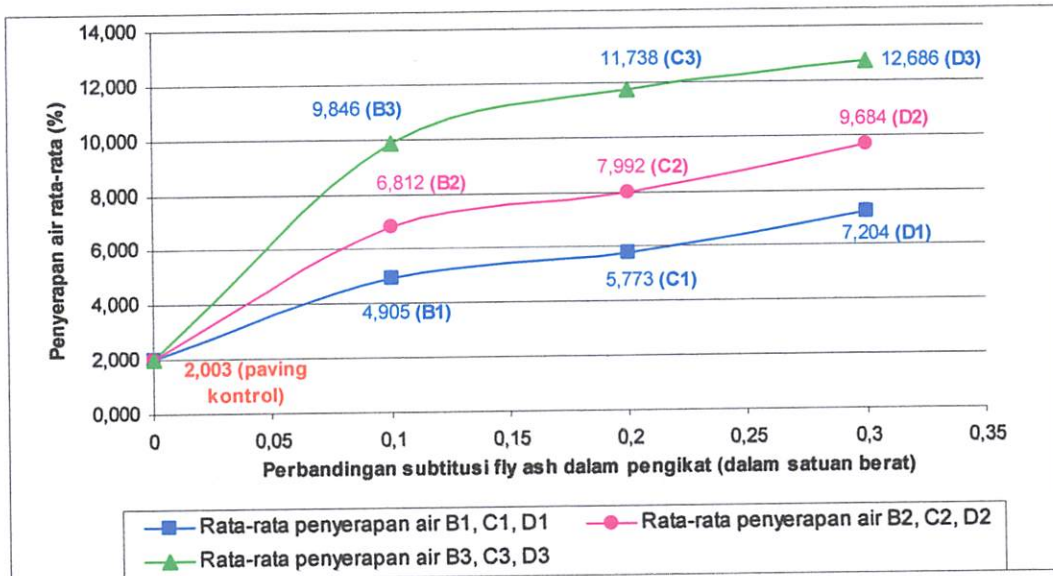
4.3.2. Analisa Hasil Uji Penyerapan Air *Paving Block*

4.3.2.1. Analisa Deskriptif

Berdasarkan gambar grafik 4.3 dan 4.4 menunjukkan bahwa semakin banyak substitusi *sludge* dalam agregat dan *fly ash* dalam pengikat maka penyerapan airnya semakin tinggi. Nilai rata-rata penyerapan air terendah terdapat pada perlakuan paving dengan kode B 1 dengan perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 1 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,1 (dalam satuan berat) yaitu 4,905 %. Dan nilai rata-rata penyerapan air tertinggi terdapat pada perlakuan paving dengan kode D 3 dengan perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 2 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,3 (dalam satuan berat) yaitu 12,686 %.



Gambar 4.3. Grafik hubungan komposisi substitusi *sludge* dalam agregat dengan rata-rata penyerapan air.



Gambar 4.4. Grafik hubungan komposisi substitusi *fly ash* dalam pengikat dengan rata-rata penyerapan air.

4.3.2.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya kesamaan berbagai perlakuan terhadap kuat tekan, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji One-way ANOVA. Hasil uji tersebut tersaji pada tabel 4.10.

Tabel 4.10. Analisa ANOVA Nilai Penyerapan Air Pada *Paving Block*

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	9	280,9732	31,2192	7389,64	0,000
Error	20	0,0845	0,0042		
Total	29	281,0577			

Berdasarkan tabel 4.10. Hipotesis yang diberikan adalah:

- H_0 = Variasi komposisi *paving block* adalah tidak berbeda nyata/identik
- H_1 = Variasi komposisi *paving block* adalah berbeda nyata/tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan :

1. Nilai probabilitas

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Dengan nilai probabilitas sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi *paving block* terhadap penyerapan air.

2. Nilai F

- Jika F hitung $> F$ tabel, H_0 ditolak.
- Jika F hitung $< F$ tabel, H_0 diterima.

Berdasarkan tabel 4.10 nilai F hitung sebesar 7389,64 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 2,39. Karena nilai F hitung lebih besar dari F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi bahan campuran *paving block* terhadap penyerapan air.

4.3.2.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.11.

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 = tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.
- H_1 = Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak..

Tabel 4.11. Korelasi antara Nilai Penyerapan Air Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran *Paving Block*

		<i>Fly Ash</i>	<i>Sludge</i>
Penyerapan air (%)	Pearson correlation	0,643	0,939
	P-Value	0,000	0,000

Dari tabel 4.11. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel yang dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah :

- Koefisien korelasi antara nilai penyerapan air dan *fly ash* adalah 0,643. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sedang karena memiliki nilai di antara 0,4 – 0,7 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Hal ini berarti semakin banyak variasi/komposisi *fly ash* maka nilai penyerapan air akan semakin meningkat. Tingkat signifikan nilai penyerapan air dan *fly ash* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).
- Koefisien korelasi antara nilai penyerapan air dan *sludge* adalah 0,939. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat karena memiliki nilai diantara 0,9 - 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Hal ini berarti semakin banyak variasi/komposisi *sludge* maka nilai penyerapan air akan semakin meningkat. Tingkat signifikan nilai penyerapan air dan *sludge* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.2.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel – tabel berikut

**Tabel 4.12. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Penyerapan Air Pada
*Paving Block***

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,6484	0,4600	-1,41	0,170
<i>Fly ash</i>	10,499	1,379	7,62	0,000
<i>Sludge</i>	4,8578	18,94	18,94	0,000

S = 1,80929 R-Sq = 94,8% R-Sq(adj) = 94,4%

1. Persamaan regresi.

$$Y = -0,648 + 10,5 X_1 + 4,86 X_2$$

Dimana :

Y = Penyerapan air (%)

X₁ = *Fly ash*

X₂ = *Sludge*

Konstanta sebesar -0,648 menyatakan bahwa jika variasi *fly ash* atau *sludge* konstan, maka nilai penyerapan air yang dihasilkan adalah 0,648 %. Koefisien regresi sebesar 10,5 untuk variabel X₁ (variasi *fly ash*) menyatakan bahwa setiap penambahan variasi *fly ash* akan meningkatkan nilai penyerapan air sebesar 10,5 %. Koefisien regresi sebesar 4,86 untuk variabel X₂ (variasi *sludge*) menyatakan bahwa setiap penambahan variasi *sludge* akan meningkatkan nilai penyerapan air sebesar 4,86 % dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2. Uji t untuk menguji signifikan variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Hipotesis :

H₀ = Koefisien regresi tidak signifikan.

H₁ = Koefisien regresi signifikan.

Pengambilan keputusan :

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai t tabel adalah 1,703, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.12 adalah 7,62 (variasi *fly ash*), dan 18,94 (variasi *sludge*). Pada variasi *fly ash* dan *sludge* t hitung > t tabel maka koefisien regresi signifikan.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.12) pada variasi *fly ash* dan *sludge* terdapat nilai 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan, atau variasi *fly ash* dan *sludge* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai penyerapan air.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai Nilai R square sebesar 94,8 %. Hal ini berarti 94,8 %, nilai penyerapan air dapat dijelaskan oleh variasi *fly ash* dan *sludge*. Sedangkan sisanya 5,2 % dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak diprediksi.
3. Uji F untuk uji kelinieran variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Tabel 4.13. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Penyerapan Air

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1600,17	800,09	244,41	0,000
Residual	27	88,39	3,27		
Total	29	1688,56			

Hipotesis :

H_0 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) tidak ada hubungan linier.

H_1 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) ada hubungan linier.

Pengambilan keputusan :

1. Dengan membandingkan statistik F hitung dengan statistik F tabel. Jika statistik F hitung < statistik F tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai F tabel adalah 3,35, sedangkan nilai F hitung berdasarkan tabel 4.13 adalah 244,41, F hitung > F tabel maka variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau nilai penyerapan air dengan variasi *fly ash* dan *sludge* mempunyai hubungan linier.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

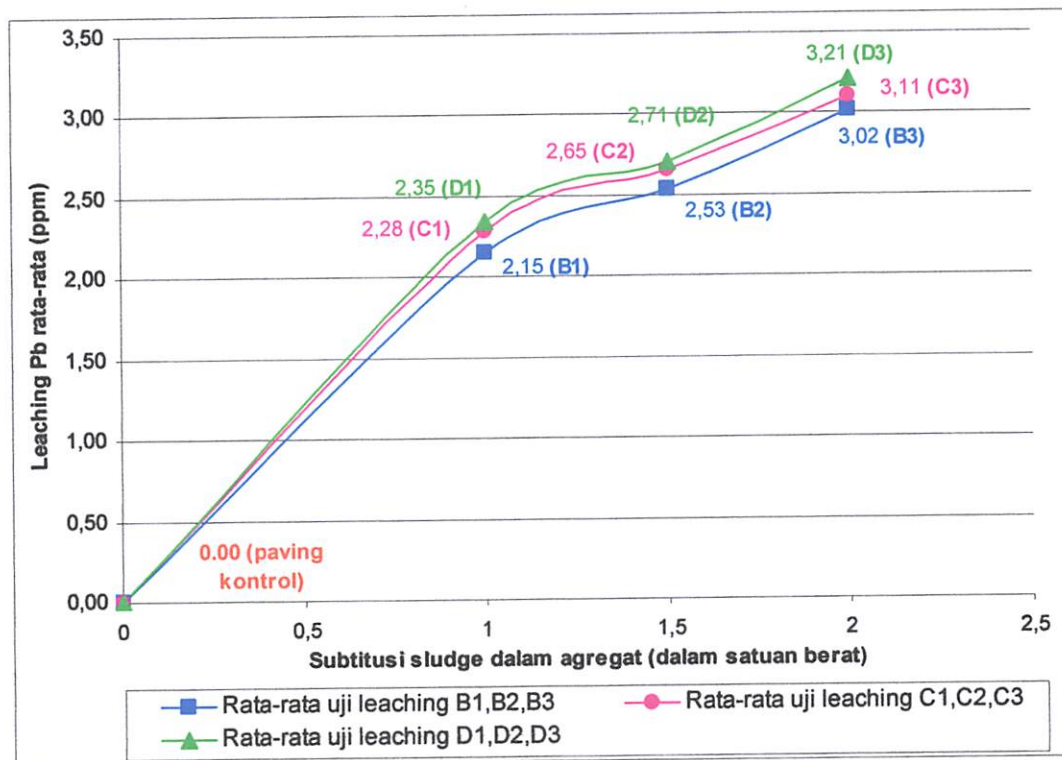
Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.13) terdapat nilai probabilitas 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai penyerapan air.

4.3.3. Analisa Hasil Uji Leaching Paving Block

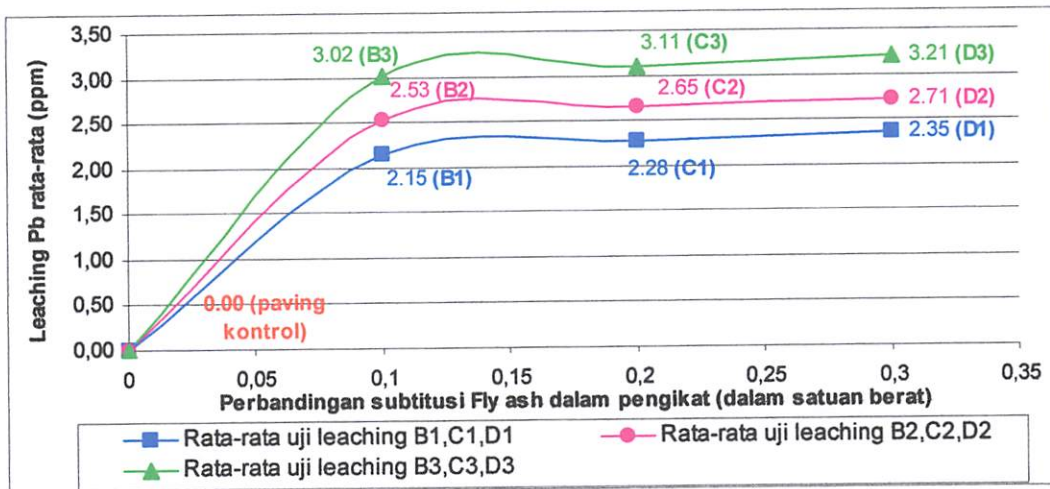
4.3.3.1. Analisa Deskriptif

Berdasarkan gambar grafik 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa semakin banyak substitusi *sludge* dalam agregat dan *fly ash* dalam pengikat maka kadar leaching logam Pb semakin tinggi. Nilai rata-rata kadar leaching logam Pb terendah terdapat pada perlakuan paving dengan kode B 1 dengan perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 1 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,1 (dalam satuan berat) yaitu 2,15 ppm. Dan nilai rata-rata kadar leaching logam Pb tertinggi terdapat pada perlakuan paving dengan kode D 3 dengan

perbandingan substitusi *sludge* dalam agregat sebanyak 2 (dalam satuan berat) dan perbandingan substitusi *fly ash* dalam pengikat sebanyak 0,3 (dalam satuan berat) yaitu 3,21 ppm.



Gambar 4.5. Grafik hubungan komposisi substitusi *sludge* dalam agregat dengan rata-rata kadar leaching logam Pb.



Gambar 4.6. Grafik hubungan komposisi substitusi *fly ash* dalam pengikat dengan rata-rata kadar leaching logam Pb.

4.3.3.2. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya kesamaan berbagai perlakuan terhadap kuat tekan, maka dilakukan analisa dengan menggunakan uji One-way ANOVA. Hasil uji tersebut tersaji pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. Analisa ANOVA Nilai Kadar Leaching Logam Pb Pada *Paving Block*

Source	DF	SS	MS	F	P
Perlakuan	9	22,69056	2,52117	4088,39	0,000
Error	20	0,01233	0,00062		
Total	29	22,70290			

Berdasarkan tabel 4.14. Hipotesis yang diberikan adalah:

- H_0 = Variasi komposisi *paving block* adalah tidak berbeda nyata/identik
- H_1 = Variasi komposisi *paving block* adalah berbeda nyata/tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan :

1. Nilai probabilitas

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Dengan nilai probabilitas sebesar $0,000 < 0,05$ maka H_0 ditolak. Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi *paving block* terhadap penyerapan air.

1. Nilai F

- Jika F hitung $> F$ tabel, H_0 ditolak.
- Jika F hitung $< F$ tabel, H_0 diterima.

Berdasarkan tabel 4.14 nilai F hitung sebesar 4088,39 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 2,39. Karena nilai F hitung lebih besar dari F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Artinya ada perbedaan yang signifikan antara variasi bahan campuran *paving block* terhadap kadar Leaching Logam Pb.

4.3.3.3. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi dapat dilihat pada tabel 4.15.

Hipotesa yang diberikan :

- H_0 = tidak ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.
- H_1 = Ada hubungan (korelasi) antara dua variabel.

Dasar pengambilan keputusan berdasarkan probabilitas :

- Jika probabilitas $\geq 0,05$, H_0 diterima
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Tabel 4.15. Korelasi antara Nilai Kandungan leaching Pb (ppm) Dengan Komposisi Variasi Bahan Campuran *Paving Block*

		<i>Fly Ash</i>	<i>Sludge</i>
Kandungan leaching Pb (ppm)	Pearson correlation	0,630	0,946
	P-Value	0,000	0,000

Dari tabel 4.15. menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara variabel yang dapat diketahui dari koefisien korelasi adalah :

- Koefisien korelasi antara nilai kandungan leaching Pb (ppm) dan *fly ash* adalah 0,630. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sedang karena memiliki nilai diantara 0,4 – 0,7 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Hal ini berarti semakin banyak variasi/komposisi *fly ash* maka nilai kandungan leaching Pb (ppm) akan semakin meningkat. Tingkat signifikan nilai kandungan leaching Pb (ppm) dan *fly ash* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).
- Koefisien korelasi antara nilai kandungan leaching Pb (ppm) dan *sludge* adalah 0,946. Hal ini menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat karena memiliki nilai diantara 0,9 – 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan nilai positif pada nilai koefisien korelasi. Hal ini berarti semakin banyak variasi/komposisi *sludge* maka nilai kandungan leaching Pb (ppm) akan semakin meningkat. Tingkat signifikan nilai kandungan leaching Pb (ppm) dan *sludge* yang ditunjukkan dengan nilai P-Value 0,000 jauh lebih kecil dari 0,05 maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.3.4. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Hasil analisa tersebut dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

Tabel 4.16. Koefisien Persamaan Regresi Nilai Kandungan leaching Pb (ppm) Pada Paving Block

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,18596	0,03371	35,18	0,000
<i>Fly ash</i>	0,94028	0,08842	10,63	0,000
<i>Sludge</i>	0,86215	0,01775	48,57	0,000

S = 0,0611674 R-Sq = 99,0% R-Sq(adj) = 99,0%

1. Persamaan regresi.

$$Y = 1,19 + 0,940 X_1 + 0,862 X_2$$

Dimana :

Y = Kandungan leaching Pb (ppm)

X₁ = *Fly ash*

X₂ = *Sludge*

Konstanta sebesar 1,19 menyatakan bahwa jika variasi *fly ash* atau *sludge* konstan, maka nilai kandungan leaching Pb yang dihasilkan adalah 1,19 ppm. Koefisien regresi sebesar 0,940 untuk variabel X₁ (variasi *fly ash*) menyatakan bahwa setiap penambahan variasi *fly ash* akan meningkatkan nilai kandungan leaching Pb sebesar 0,940 ppm. Koefisien regresi sebesar 0,862 untuk variabel X₂ (variasi *sludge*) menyatakan bahwa setiap penambahan variasi *sludge* akan meningkatkan nilai kandungan leaching Pb 0,862 ppm dengan anggapan variabel lain besarnya konstan.

2. Uji t untuk menguji signifikan variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Hipotesis :

H_0 = Koefisien regresi tidak signifikan.

H_1 = Koefisien regresi signifikan.

Pengambilan keputusan :

1. Dengan membandingkan statistik t hitung dengan statistik t tabel. Jika statistik t hitung < statistik t tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai t tabel adalah 3,40, sedangkan nilai t hitung berdasarkan tabel 4.16 adalah 10,63 (variasi *fly ash*), dan 48,57 (variasi *sludge*). Pada variasi *fly ash* dan *sludge* t hitung > t tabel maka koefisien regresi signifikan.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.16) pada variasi *fly ash* dan *sludge* terdapat nilai 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05. Dengan demikian, H_0 ditolak atau koefisien regresi signifikan, atau variasi *fly ash* dan *sludge* berpengaruh secara signifikan terhadap nilai kandungan leaching Pb.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai Nilai R square sebesar 99,0 %. Hal ini berarti 99,0 %, nilai kandungan leaching Pb dapat dijelaskan oleh variasi *fly ash* dan *sludge*. Sedangkan sisanya 1 % dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak diprediksi.

3. Uji F untuk uji kelinieran variabel independen/ koefisien regresi konstanta dan variabel independen (bebas).

Tabel 4.17. Hasil Uji Kelinieran Analisa Regresi Nilai Kandungan leaching Pb (ppm)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	9,2343	4,6171	1234,05	0,000
Residual	24	0,0898	0,0037		
Total	26	9,3241			

Hipotesis :

H_0 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) tidak ada hubungan linier.

H_1 = variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) ada hubungan linier.

Pengambilan keputusan :

1. Dengan membandingkan statistik F hitung dengan statistik F tabel. Jika statistik F hitung < statistik F tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak dan begitu juga sebaliknya. Nilai F tabel adalah 3,35, sedangkan nilai F hitung berdasarkan tabel 4.17 adalah 1234,05, F hitung > F tabel maka variabel Y (variabel terikat) dengan variabel X (variabel bebas) mempunyai hubungan linier atau nilai kandungan leaching Pb dengan variasi *fly ash* dan *sludge* mempunyai hubungan linier.
2. Berdasarkan probabilitas.
 - Jika probabilitas > 0,05, H_0 diterima.
 - Jika probabilitas < 0,05, H_0 ditolak.

Terlihat bahwa pada kolom P (tabel 4.17) terdapat nilai probabilitas 0,000 yang berarti probabilitas jauh lebih kecil dari 0,05 maka model regresi bisa dipakai untuk memprediksi nilai kandungan leaching Pb.

4.4. Pembahasan

4.4.1. Kuat Tekan *Paving Block*

Tabel 4.18. Klasifikasi *Paving Block* Berdasar Kuat Tekan

Kode	Pengikat		Agregat		Kuat tekan (kg/cm ²)	SNI 03-0691- 1996
	Semen	<i>Fly ash</i>	Pasir	<i>sludge</i>		
A*	1	0	4	0	373,981	A
B1	0,9	0,1	3	1	221,513	B
B2	0,9	0,1	2,5	1,5	165,980	C
B3	0,9	0,1	2	2	143,304	C
C1	0,8	0,2	3	1	210,560	B
C2	0,8	0,2	2,5	1,5	157,804	C
C3	0,8	0,2	2	2	137,304	C
D1	0,7	0,3	3	1	189,725	B
D2	0,7	0,3	2,5	1,5	145,773	C
D3	0,7	0,3	2	2	102,272	D

Variasi campuran bahan-bahan pembuat *paving block* mempunyai pengaruh besar terhadap kuat tekan *paving block*. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.1.3, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan *paving block* dengan variasi campuran *fly ash* sebesar -0,679 yaitu berada diantara 0,4 – 0,7 yang berarti berhubungan sedang dan *sludge* sebesar -0,946 yaitu berada diantara 0,9 – 1 yang berarti berhubungan sangat kuat (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel mempunyai sifat bertolakbelakang, yang berarti semakin banyak bagian *fly ash* yang dipakai untuk menggantikan sebagian semen dan semakin banyak bagian *sludge* yang dipakai untuk menggantikan sebagian pasir maka kuat tekan *paving block* yang dihasilkan semakin menurun dan juga sebaliknya.

Di dalam beton, agregat menempati 70% - 75% dari volume massa yang telah mengeras. Sisanya terdiri dari adukan semen yang telah mengeras, air yang belum bereaksi (yaitu air yang tidak ikut dalam proses hidrasi dari semen), dan

rongga-rongga udara. Air yang belum bereaksi dan rongga-rongga udara yang kenyataannya tidak memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton. Oleh karena itu, sifat-sifat dan mutu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton (Kardiyono T, 1996).

Agregat yang dipakai harus mempunyai kekuatan yang baik, tahan lama, tahan terhadap cuaca, permukaannya haruslah bebas dari kotoran seperti tanah liat, lumpur yang akan memperlemah ikatannya dengan adukan semen dan juga tidak boleh terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan diantara material tersebut dengan semen. Kuatnya hubungan antara kuat tekan *paving block* dengan variasi campuran *sludge* disebabkan karena kualitas dari bahan yang dipakai yaitu *sludge* dari pabrik kertas yang dipakai sebagai bahan campuran agregat untuk menggantikan sebagian pasir bersifat lebih lunak dari pasir. *Sludge* tersebut mengandung senyawa SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 dan CaO yang dapat membantu proses pengikatan dengan semen, namun dengan kandungan bahan organik yang tinggi (38,60%), menyebabkan pasta semen tidak dapat mengikat/melekatkan butir-butir lumpur dengan sempurna pada saat proses hidrasi berlangsung. Proses hidrasi timbul bila air ditambahkan ke dalam semen portland, sehingga terjadi reaksi air dengan komponen-komponen semen. Pada dasarnya mekanisme hidrasi hampir tidak berpengaruh pada bahan agregat maupun rongga udara, tetapi lebih berpengaruh atau hanya terjadi di dalam pasta semen yang terdiri dari butiran-butiran semen dan air. Ketika terjadi proses hidrasi, kandungan organik dalam *sludge* pabrik kertas akan ikut bereaksi, sehingga berpengaruh jelek terhadap beton. Bahan organik ini memperlemah ikatan dalam semen, sehingga menurunkan kekuatan beton akibatnya kekuatan dan daya tahan beton semakin menurun dengan semakin banyaknya *sludge yang* dipakai untuk menggantikan sebagian pasir. Bila dilihat pada tabel spesifikasi mutu agregat, agregat yang baik tidak boleh mengandung bahan organik/lumpur lebih dari 5%. Dengan kandungan bahan organik sebesar 38,60% menyebabkan *sludge* pabrik kertas tidak layak digunakan sebagai agregat dalam beton.

Pada penelitian ini, *fly ash* mempunyai pengaruh terhadap kuat tekan *paving block*, *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen berasal dari PLTU Paiton, *fly ash* dari PLTU Paiton memiliki butiran yang halus (lolos ayakan no. 100/149 μm) sehingga mampu mengisi rongga kosong beton (memperkecil porositas) sehingga beton semakin padat. *Fly ash* ini juga memiliki unsur – unsur pozzolan yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang tinggi, ketiga oksida tersebut merupakan komponen yang penting dalam reaksi kimia yang terjadi antara *fly ash* dengan kapur bebas dan membentuk senyawa hidrat lain yang dapat meningkatkan mutu beton, yaitu terbentuknya kalsium silikat hidrat, kalsium aluminat hidrat dan kalsium alumino ferrit hidrat (Amir Husin, 2003).

Peningkatan kuat tekan beton terjadi pada penambahan *fly ash* 10 – 30% dari berat semen, penambahan *fly ash* 10 – 30% mampu meningkatkan kuat tekan beton kurang lebih 50%. *Fly ash* akan menjadikan campuran beton kohesif karena *fly ash* dapat menggantikan sebagian kehalusan agregat (Hidayat, Y.S, dan Amir Husin, 1990). Namun karena tingginya kandungan bahan organik dalam *sludge* pabrik kertas yaitu 38,60%, maka kenaikan kuat tekan *paving block* tidak dapat mencapai 50% karena semen dan *fly ash* tidak dapat melekatkan butir – butir *sludge* dengan sempurna.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variasi campuran dengan kuat tekan *paving block*. dimana 97,7% variasi campuran dapat mempengaruhi penurunan kuat tekan *paving block*, sedangkan sisanya 2,3% dipengaruhi oleh faktor – faktor lain yang tidak diukur dalam penelitian.

Untuk memprediksi kuat tekan *paving block* selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi kuat tekan *paving block* dengan menggunakan *fly ash* dan *sludge* sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitik beratkan pada besar bagian *sludge* yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan *paving block*, karena variabel *sludge* mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksi kuat tekan *paving block*.

4.4.2. Penyerapan Air *Paving Block*

Tabel 4.19. Klasifikasi *Paving Block* Berdasar Penyerapan air

Kode	Pengikat		Agregat		Penyerapan air (%)	SNI 03-0691-1996
	Semen	<i>Fly ash</i>	Pasir	<i>sludge</i>		
A*	1	0	4	0	2,003	A
B1	0,9	0,1	3	1	4,905	B
B2	0,9	0,1	2,5	1,5	7,360	C
B3	0,9	0,1	2	2	9,946	D
C1	0,8	0,2	3	1	5,773	B
C2	0,8	0,2	2,5	1,5	7,992	C
C3	0,8	0,2	2	2	11,738	-
D1	0,7	0,3	3	1	7,204	C
D2	0,7	0,3	2,5	1,5	9,684	D
D3	0,7	0,3	2	2	12,686	-

Variasi campuran bahan-bahan pembuatan *paving block* mempunyai pengaruh besar terhadap penyerapan air *paving block*. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.2.3, dimana nilai koefisien korelasi antara penyerapan air *paving block* dengan variasi campuran *fly ash* sebesar 0,643 yaitu berada diantara 0,4 – 0,7 yang berarti berhubungan sedang dan *sludge* sebesar 0,939 yaitu berada diantara 0,9 - 1 yang berarti berhubungan sangat kuat (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel mempunyai sifat searah, yang berarti semakin banyak bagian *fly ash* yang dipakai untuk menggantikan sebagian semen dan semakin banyak bagian *sludge* yang dipakai untuk menggantikan sebagian pasir, maka penyerapan air *paving block* akan semakin meningkat. Dan juga sebaliknya.

Sludge pabrik kertas memiliki daya serap air yang tinggi dibandingkan pasir. Dengan berat jenis *sludge* sebesar 1,703 gr/cm³ bila dijadikan agregat, termasuk dalam kategori agregat ringan. Agregat ringan umumnya mempunyai daya serap air yang tinggi (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Sifat fisik pasir yang keras,

menyebabkan porinya kedap air, sehingga sulit baginya untuk menyerap air. Sedangkan *sludge* bersifat lunak sehingga masih memungkinkan pori-porinya terisi oleh air. Apalagi jika setelah ikatan semen mengeras, *sludge* akan menyusut volumenya. Adanya MgO yang terkandung dalam *sludge* dapat menyerap air dari udara, sehingga mengakibatkan *sludge* selalu dalam keadaan basah, dan juga dapat mengakibatkan pengembangan setelah beton selesai dibuat.

Besarnya kadar bahan organik yang ada dalam *sludge* yang ikut bereaksi pada saat hidrasi semen, menyebabkan pengikatan semen tidak optimal sehingga *paving block* menjadi tidak padat dan karena adanya udara yang terjebak dalam suatu butiran agregat atau karena dekomposisi mineral pembentuk tertentu oleh perubahan cuaca, maka terbentuklah rongga-rongga kecil dalam agregat. Rongga-rongga ini menjadi reservoir air sehingga menyebabkan penyerapan air *paving block* meningkat seiring dengan semakin banyaknya *sludge* yang dipakai.

Fly ash mempunyai pengaruh terhadap penyerapan air *paving block*. *Fly ash* dari PLTU Paiton ini memiliki berat jenis yang besar yaitu $2,843 \text{ gr/cm}^3$, sehingga membuat beton menjadi lebih kedap air. Selain itu *fly ash* dari PLTU Paiton memiliki butiran yang halus (lolos ayakan no.100/149 μm) yang mampu mengisi rongga kosong beton (memperkecil porositas) sehingga beton semakin padat dan kedap air, menurut Amir Husin, 1987, bahwa salah satu keuntungan memakai *fly ash* sebagai bahan campuran semen adalah meningkatkan kerapatan beton sehingga beton akan lebih kedap air, tetapi karena tingginya kandungan bahan organik dalam *sludge* pabrik kertas yaitu 38,60%, maka *fly ash* tidak begitu terpengaruh terhadap penurunan penyerapan air.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variasi campuran dengan penyerapan air *paving block*. Dimana 94,8% variasi campuran dapat mempengaruhi peningkatan penyerapan air *paving block*. Sedangkan sisanya 5,2% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak diukur dalam penelitian.

Untuk memprediksi penyerapan air *paving block* selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi penyerapan air *paving block* dengan

menggunakan *fly ash* dan *sludge* sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitik beratkan pada besar bagian *sludge* yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan *paving block*, karena variabel *sludge* mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksi penyerapan air *paving block*.

4.4.3. Kadar Leaching Logam Pb *Paving Block*

Berdasarkan tabel 4.5, gambar grafik 4.5 dan 4.6 konsentrasi akhir logam berat Pb dalam *paving block* yang menggunakan substitusi *fly ash* dan *sludge* yang paling tinggi adalah 3,21 ppm pada kode variasi D3 (komposisi *fly ash* 0,3 dan *sludge* 2). Sedangkan konsentrasi akhir logam berat Pb *paving block* terendah yang menggunakan substitusi *fly ash* dan *sludge* adalah 2,15 ppm pada kode variasi B1 (komposisi *fly ash* 0,1 dan *sludge* 1). Konsentrasi akhir logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching pada semua variasi campuran masih berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang diijinkan yaitu 5,0 ppm.

Variasi campuran bahan-bahan pembuatan *paving block* mempunyai pengaruh besar terhadap konsentrasi akhir logam berat Pb. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.3.3, dimana nilai koefisien korelasi antara konsentrasi akhir logam berat Pb dalam *paving block* dengan variasi campuran *fly ash* sebesar 0,630 yaitu berada diantara 0,4 – 0,7 yang berarti berhubungan sedang dan *sludge* sebesar 0,946 yaitu berada diantara 0,9 - 1 yang berarti berhubungan sangat kuat (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel mempunyai sifat searah, yang berarti semakin banyak bagian *fly ash* yang dipakai untuk menggantikan sebagian semen dan semakin banyak bagian *sludge* yang dipakai untuk menggantikan sebagian pasir, maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin meningkat, dan juga sebaliknya. Kuatnya hubungan antara konsentrasi akhir logam berat dengan variasi campuran bahan – bahan *paving block* disebabkan karena kualitas dari bahan yang dipakai yaitu *Sludge* pabrik kertas dan *fly ash* PLTU Paiton memiliki kandungan logam berat Pb sebesar 6,117 ppm untuk *Sludge* dan 3,1 ppm

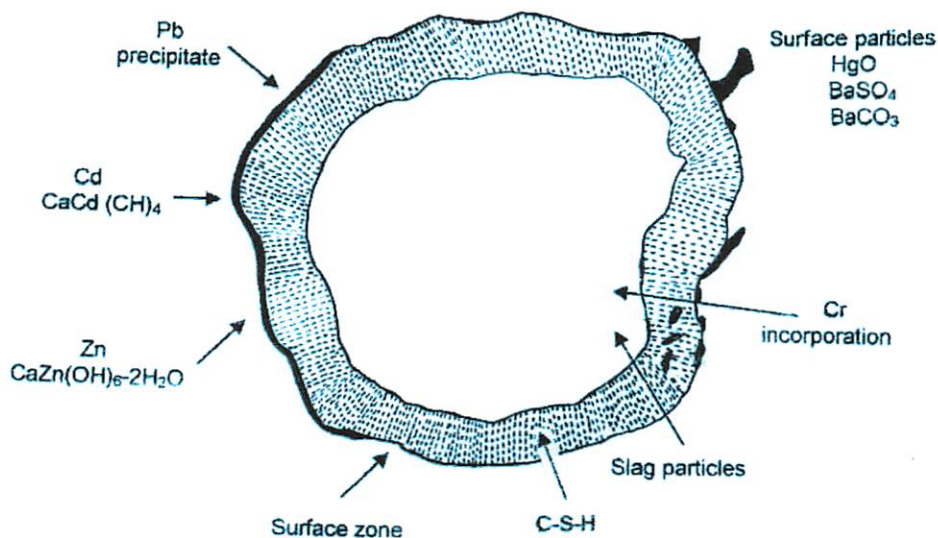
untuk *fly ash*. Oleh sebab itu *Sludge* dan *fly ash* memberikan kontribusi pada konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses *leaching paving block*.

Dari penelitian ini terlihat bahwa semen dapat mengikat logam berat Pb dan dengan baik hal ini dapat dilihat pada hasil TCLP *paving block* yaitu pada tabel 4.5. Lindi yang dihasilkan mengandung logam berat Pb dengan konsentrasi kecil dan berada di bawah baku mutu TCLP untuk logam berat Pb yaitu 5,0 ppm sehingga dapat mengurangi potensi bahaya dari logam berat Pb dalam *paving block*.

Reaksi kimia yang terjadi dalam beton antara semen dan air (hidrasi) akan menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (CSH) yang berperan dalam perkembangan kuat tekan beton dan hasil sampingan yaitu Ca(OH)_2 . Proses hidrasi semen portland sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia (perkiraan) untuk reaksi hidrasi dapat ditulis sebagai berikut : $\text{C}_2\text{S}, \text{C}_3\text{S}, \text{C}_3\text{A}, \text{C}_4\text{AF} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} (\text{CSH}) + \text{Ca(OH)}_2$. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Seiring dengan bertambahnya umur pengeringan *paving block*, jumlah gel-gel CSH yang terbentuk semakin bertambah, CSH ini akan mengisi rongga dan membentuk titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Hal ini mengakibatkan logam berat yang terperangkap dalam *paving block* semakin banyak, karena senyawa semen yang terbentuk (hasil samping = Ca(OH)_2) bermuatan negatif (-) dan logam berat bermuatan positif (+). Pb terikat dalam bentuk garam-garam hidroksida. Endapan tersebut terperangkap dalam struktur kristal yang kaku dan keras. (Ure, 1995 dalam Evita Sari, 2000),

Adapun mekanisme terperangkapnya Pb dalam campuran semen adalah sebagaimana terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen
Sumber : (Ure, 1995 dalam Evitasari, 2000)

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variasi campuran dengan konsentrasi akhir logam berat Pb. Dimana 99% variasi campuran dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam berat Pb *paving block*. Sedangkan sisanya 1% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak diukur dalam penelitian.

Untuk memprediksi konsentrasi akhir logam berat Pb selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi konsentrasi akhir logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching *paving block* yang menggunakan *sludge* sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian *sludge* yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan *paving block*, karena variabel *sludge* mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan konsentrasi akhir logam berat Pb.

Logam berat Pb bisa terekspos jika menghadapi lingkungan yang asam, dan jika pasta semen pecah maka Pb yang menempel pada semen akan lepas.

Dampak negatif yang ditimbulkan lindi yang mengandung logam berat Pb yang melebihi baku mutu antara lain :

- Tercemarnya tanah dan air tanah akibat peresapan lindi yang mengandung logam berat Pb sehingga terjadi absorpsi Pb pada tanaman (sayuran) yang kemudian hasilnya dikonsumsi oleh manusia maka akan terakumulasi dalam tubuh manusia sebagai racun yang tidak dapat diuraikan oleh organ tubuh manusia. (<http://www.infoLAB Online.htm>).
- Tercemarnya badan air seperti tampak atau sungai akibat aliran lindi yang mengandung logam berat Pb akan mempengaruhi ekosistem yang ada di dalamnya. Perubahan struktur morfologi insang ikan Salmon yang berakibat ikan kurang mampu berenang merupakan salah satu dampak negatif yang ditimbulkan akibat terpaparnya logam berat Pb dalam tubuh ikan tersebut. (<http://www.pikiranrakyat.com/cetak/0804/12/cakrawala/eureka.htm>).

Kemungkinan terjadinya pencemaran logam berat Pb di udara melalui pemakaian *paving block* sebagai bahan konstruksi adalah kecil. Dilihat dari sifat fisik, Pb memiliki titik didih 1740°C sehingga ketika suhu udara sangat tinggi, logam berat Pb dalam *paving block* akan menguap dan terlepas ke udara. Senyawa-senyawa Pb dalam keadaan kering dapat terdispersi di dalam udara, sehingga kemudian terhirup pada saat bernafas dan sebagian akan menumpuk di kulit dan atau terserap oleh daun tumbuhan (Heryando Palar, 1994).

4.5. Penentuan Komposisi Terbaik Dalam *Paving Block*

Paving block dengan kualitas terbaik dalam penelitian ini dari segi penggunaan kembali atau pemanfaatan *fly ash* dan *sludge* adalah *paving block* dengan substitusi *fly ash* dan *sludge* paling banyak yang memenuhi syarat mutu *paving block* kelas A dan B menurut Standar Nasional Indonesia 03-0691-1996 sesuai dengan tujuan penelitian. Hal ini dikarenakan substitusi *fly ash* dan *sludge* dalam pembuatan *paving block* ini dimaksudkan sebagai salah satu alternatif pemanfaatan limbah padat tersebut sehingga pemanfaatan limbah terbanyaklah yang lebih mendapatkan perhatian.

Berdasarkan tabel 4.5, 4.18 dan 4.19, terlihat bahwa variasi campuran *paving block* yang menggunakan substitusi *fly ash* dan *sludge* yang terbaik adalah *paving block* dengan kode C1 (komposisi *fly ash* 0,2 dan *sludge* 1). Untuk kuat tekan *Paving block* pada komposisi (C1) ini ($210,560 \text{ kg/cm}^2$) memenuhi syarat fisik yang disyaratkan SNI 03-0691-1996 kelas B yaitu minimum 170 kg/cm^2 . Untuk penyerapan air *paving block* pada komposisi (C1) ini ($5,773\%$) memenuhi syarat fisik yang disyaratkan SNI 03-0691-1996 kelas B yaitu maksimum 6% . Sedangkan untuk konsentrasi akhir logam berat Pb ($2,28 \text{ ppm}$) dalam *paving block* pada komposisi ini memenuhi baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yaitu maksimum $5,0 \text{ ppm}$. Dari hasil penelitian yang diperoleh *paving block* dengan kode C1 ini (komposisi *fly ash* 0,2 dan *sludge* 1). dapat digunakan untuk pelataran parkir.

4.6. Perhitungan Reduksi *Sludge* dan *fly ash*

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan *sludge* dan *fly ash* yang digunakan dalam *paving block* dengan kualitas terbaik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jumlah reduksi limbah padat apabila dimanfaatkan dalam pembuatan *paving block*.

Perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Rata – rata berat *paving block* dengan dimensi $21\text{cm} \times 10,5\text{cm} \times 6\text{cm}$ adalah $\pm 2,8 \text{ kg}$
- Kebutuhan *sludge* dan *fly ash*
 - Dengan perbandingan komposisi berat antara pengikat dan agregat yaitu $1 : 4$, maka kebutuhan pengikat dan agregat dengan berat *paving block* $\pm 2,8 \text{ kg}$ adalah $= 2,8 : 5$
 $= 0,56 \text{ kg}$
 - Jadi berat masing – masing komposisi adalah
 $1 : 4 = 0,56 \text{ kg (pengikat)} : 2,24 \text{ kg (agregat)}$
 - Telah ditentukan bahwa komposisi terbaik *paving block* adalah *paving block* dengan kode C1 yaitu dengan perbandingan semen dan *fly ash* ($0,8 :$

0,2) dan pasir dengan *sludge* (3 : 1), maka berat *sludge* dalam agregat dan *fly ash* dalam pengikat adalah

$$= \frac{1}{4} \times 2,24 \text{ kg} = 0,56 \text{ kg} \rightarrow \text{untuk kebutuhan } \textit{sludge} \text{ satu } \textit{paving block}$$

$$= \frac{0,2}{1} \times 0,56 \text{ kg} = 0,112 \text{ kg} \rightarrow \text{untuk kebutuhan } \textit{fly ash} \text{ satu } \textit{paving block}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Limbah padat *sludge* pabrik kertas dan *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pencampur *paving block*. Namun tidak dapat memenuhi SNI 03-0691-1996 kelas A.
2. Komposisi variasi bahan – bahan campuran *paving block* pada penelitian ini yang dapat menghasilkan *paving block* dengan kualitas yang baik sesuai dengan SNI 03-0691-1996 adalah: Komposisi dengan kode C1 (komposisi *fly ash* 0,2 dan *sludge* 1) yang memiliki mutu *paving block* kelas B, yang dapat digunakan untuk pelataran parkir. Untuk kuat tekannya sebesar 210,560 kg/cm², dan penyerapan air sebesar 5,773%.
3. Kadar logam Pb pada uji leaching dalam *paving block* berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang berlaku di Indonesia yaitu sebesar 5,0 ppm, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan *paving block*.
4. Pemanfaatan *sludge* dan *fly ash* dalam pembuatan *paving block* dapat mereduksi *sludge* sebesar 0,56 kg dan *fly ash* 0,112 kg untuk kebutuhan satu *paving block*.
5. *Sludge* sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan penyerapan air *paving block*, karena kandungan zat organik dalam *sludge* yang tinggi yaitu 38,60%.

5.2. Saran

Beberapa saran dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut, untuk mengetahui tingkat keausan *paving block* berdasarkan SNI 03-0691-1996 yang tidak dilakukan dalam penelitian ini, yang dikarenakan keterbatasan alat yang ada.
2. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan perbandingan berat semen, *fly ash*, pasir, dan *sludge*. Maka untuk itu diperlukan uji coba pembuatan *paving block* dengan menggunakan perbandingan volum.
3. Karena *Sludge* sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan penyerapan air *paving block*, maka dalam penelitian selanjutnya, sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian *sludge* yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan *paving block*

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, (2005). **Buku Petunjuk Praktikum Bahan**. Laboratorium Bahan Konstruksi. FTSP ITN Malang.

Anonim, (1971). **Peraturan Beton Bertulang Indonesia**. Direktorat Penyelidikan Masalah Bahan Bangunan. Dirjen Cipta Karya. DPU

Anonim, (1996). **SNI (Standar Nasional Indonesia) 03-0691-1996 : Bata Beton (Paving Block)**. Dewan Standarisasi Nasional.

Amir, A.H., dan Hidayat Y.S,1987, **Penelitian Pemanfaatan Abu Terbang Untuk Pekerjaan Beton (laporan proyek)**, Puslitbang Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung, ([www. Google.co.id/search? Puslitbang = Abu terbang. Com](http://www.Google.co.id/search?Puslitbang=Abu+terbang.Com)).

Darmono (1995), **Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup**. Universitas Indonesia, Jakarta.

Evy Triani Leiden (2003), **Uji Pemanfaatan Sampah Organik di Kotamadya Malang sebagai Substitusi Bahan Alternatif Pembuatan Paving Block**. TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITN Malang.

Evita Sari (2000), **Studi Pemanfaatan Abu Incenerator TPA Keputih sebagai Bahan Campuran Semen untuk Mengikat Logam Berat Cu dengan Proses Solidifikasi-Stabilisasi**. TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITS Surabaya.

Heinz Frick (1980), **Ilmu Konstruksi Bangunan I**. Kanisius. Yogyakarta.

Heryando Palar (1994), **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Rineka Cipta. Jakarta.

[http : //www.infoLAB Online. Htm](http://www.infoLAB Online. Htm)

[http : //www.pikiranrakyat.com/cetak/0804/12/Cakrawala/eureka.htm](http://www.pikiranrakyat.com/cetak/0804/12/Cakrawala/eureka.htm).

Iriawan, N dan Astuti, S.P (2006), **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Andi. Yogyakarta.

Luh Komang Sri Kusuma (2000), **Analisis Penentuan Unsur Hara pada Lumpur Aktif Hasil Pengolahan Limbah Cair pada RSUD Sanglah Denpasar sebagai Indikator pada Pertumbuhan Cabai Rawit**. TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITN Malang.

Metcalf & Edy (1991), **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse third edition**. McGraw – Hill, Inc. California.

Munthoha, Zun Sidrotul (2004), **Pemanfaatan Limbah Padat Padat (*Sludge*) IPAL Industri Kertas Untuk Pembuatan Genteng Beton**. Tesis Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.

Soleh, A.Z (2005), **Ilmu Statistika**. Rekayasa Sains. Bandung.

Sudjana (2002), **Metoda Statistika**. Tarsito. Bandung.

Sugiharto (1987), **Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah**. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Samekto, W (2001), **Teknologi Beton**. Kanisius Yogyakarta.

Sagel, R. Kole, P. dan Kusuma, G (1997), **Pedoman Pengerjaan Beton**. Penerbit Erlangga Jakarta.

Tjokrodimulyo K (1996), **Teknologi Beton**. Nafiri. Yogyakarta

Warren Viessman, Mark J. Hammer (1992), **Water Supply and Pollution Control**. HarperCollins College Publishers.

Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto (2001), **Teknologi Beton**. Kanisius. Yogyakarta.

Widarti, E (2004), **Uji Kelayakan Pembuatan Paving Block Dari Lumpur Saluran Alami**. TA Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.

Wahyudi, Didik (2002), **Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan Kapur Sebagai *Soil Stabilizer* Terhadap Sebaran Sulfat, Zat Organik, dan pH, Akibat Infiltrasi Secara Horizontal**. TA Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.

LAMPIRAN A

CARA KERJA ANALISA PARAMETER UJI

Prosedur Uji Kuat Tekan

A.1. Peralatan

- Mesin tes kuat tekan

A.2. Urutan Tes

- Benda uji ditekan hingga hancur dengan kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai benda uji hancur, diatur dalam waktu 1-2 menit. Arah penekanan pada benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaian.
- Kuat tekan dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan} = P / L$$

Dimana :

P = Beban hancur (Kg)

L = Luas bidang tekan (cm²)

Prosedur Uji Penyerapan Air

B.1. Peralatan

- Bak perendam
- Timbangan
- Oven

B.2. Urutan Tes

- Benda uji paving block direndam dalam air hingga jenuh (24 jam), kemudian ditimbang beratnya dalam keadaan basah.
- Benda uji dikeringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C, kemudian ditimbang lagi.
- Penyerapan air dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = (A - B) / B$$

Dimana :

A = Berat paving block basah (Kg)

B = Berat paving block kering (Kg)

Prosedur Uji Leaching

D.1 Peralatan

- Alat penumbuk
- Ayakan berukuran 9,5 mm dari stainless / plastik
- Botol sampel dari bahan – bahan polyethylene 250 ml
- Vacum filter dengan membrane filter

D.2 Bahan

- Asam Asetat 0,5 N

D.3 Urutan Tes

- Paving bock dihancurkan dan ditumbuk agar lolos ayakan yang berukuran 9,5 mm
- Masukkan serpihan paving block yang lolos ayakan tersebut kedalam botol sampel
- Kemudian diekstraksi dengan cara merendamnya dengan larutan asam asetat 0,5 N pada pH 5 selama 3x24 jam. Perbandingan antara larutan dan padatan adalah 16 : 1.
- Selanjutnya disaring dengan vacum filter untuk memisahkan padatan dari larutan dan dibuang bagian padat tersebut. Sebelum disaring dilakukan pengadukan, hal ini dimaksudkan agar leachate menjadi butir-butir halus. Sedangkan filtrat yang didapat siap untuk diperiksa kandungan logam beratnya dengan analisa AAS.

LAMPIRAN B

DATA HASIL PARAMETER UJI



SA TIRTA I

LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkung Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax (0321) 395134
E-mail : laboratorium@jasatirta1.go.id



SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 311 S/LKA MLG/VIII/06

Halaman 1 dari 2

Page 1 of 2

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : Diah Wahyu Lestariani

Name

Alamat : Jl. Bend. Sigura - gura I No. 9 A Malang

Address

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : Ext. 32/AJ/VIII/2006/77

Sample Code

Jenis Contoh Uji : Sluge Kertas

Type of Sample

Lokasi Pengambilan Contoh Uji : PT. Kertas Probolinggo

Sampling Location

Petugas Pengambilan Contoh Uji : -

Sampling Done By

Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji : -

Date Time of Sampling

Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji : 16 Agustus 2006 Jam 11:30 WIB

Date Time of Sample Receiving in Laboratory

Kondisi Contoh Uji : Keruh

Sample Condition (s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir

Enclosed

Diterbitkan Di/ Tanggal : Malang, 31 Agustus 2006

Place/ Date of Issue

Laboratorium Kualitas Air
Perum Jasa Tirta I

Inni Dian Rohani, ST

Kepala Laboratorium

Head of Laboratory

1 :
uji diatas dibuat Taufiq tanggal 15 Agustus
am : 11:00 WIB

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I
This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

Nomor : 311 S/LKA MLG/VIII/06

Halaman 2 dari 2

Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 32/AJ/VIII/2006/77
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

Tempat Analisa : Laboratorium Kualitas Air PJT I Malang
Place of Analysis

Tanggal Analisa : 25 - 30 Agustus 2006
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Ket.
I	Sampel Sluge Kertas				
1	Kadmium	ppm	0,1500	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
2	Timbal	ppm	6,1170	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-



Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

Sertifikat atau laporan ini sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta 1

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or publicated without any approval from Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
FAKULTAS MIPA JURUSAN KIMIA
JL. VETERAN TELP. (0341) 575838 MALANG 65145

LAPORAN HASIL ANALISA

Nomor: H.020 / RT.25 / T.6 / R.1 / TT. 150852 / 2007

1. Data Konsumen:

Nama Konsumen : Diah Wahyu Lestariani
Instansi : FTSP Jurusan Teknik Lingkungan ITN.
Alamat : Jl. Sigura-gura I/9A Malang.
Telepon : (0341) 577712
Status : Mahasiswa
Keperluan analisis : Penelitian

2. Sampling dilakukan : Oleh konsumen

3. Identifikasi sampel:

Nama Sampel : Bata beton (*Paving Block*)
Wujud : Pecahan padatan
Warna : Abu-abu
Bau : -

4. Prosedur analisa : Dari Laboratorium Lingkungan, Jur.Kimia FMIPA Unibraw

5. Penyampaian Laporan hasil analisis : Diambil sendiri

6. Tanggal terima sampel : 15 Januari 2007

7. Data hasil analisa :

Kode Sampel	Parameter	Hasil Analisa		Metode Analisa	
		Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
A (1)	Pb	0,00	ppm	HNO ₃	AAS
A (2)	Pb	0,00	ppm	HNO ₃	AAS
A (3)	Pb	0,00	ppm	HNO ₃	AAS
B1 (1)	Pb	2,11	ppm	HNO ₃	AAS
B1 (2)	Pb	2,15	ppm	HNO ₃	AAS
B1 (3)	Pb	2,18	ppm	HNO ₃	AAS
B2 (1)	Pb	2,57	ppm	HNO ₃	AAS
B2 (2)	Pb	2,55	ppm	HNO ₃	AAS
B2 (3)	Pb	2,48	ppm	HNO ₃	AAS
B3 (1)	Pb	3,01	ppm	HNO ₃	AAS
B3 (2)	Pb	3,05	ppm	HNO ₃	AAS
B3 (3)	Pb	3,00	ppm	HNO ₃	AAS

Kode Sampel	Parameter	Hasil Analisa		Metode Analisa	
		Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
C1 (1)	Pb	2,25	ppm	HNO ₃	AAS
C1 (2)	Pb	2,28	ppm	HNO ₃	AAS
C1 (3)	Pb	2,3	ppm	HNO ₃	AAS
C2 (1)	Pb	2,65	ppm	HNO ₃	AAS
C2 (2)	Pb	2,67	ppm	HNO ₃	AAS
C2 (3)	Pb	2,64	ppm	HNO ₃	AAS
C3 (1)	Pb	3,12	ppm	HNO ₃	AAS
C3 (2)	Pb	3,09	ppm	HNO ₃	AAS
C3 (3)	Pb	3,11	ppm	HNO ₃	AAS
D1 (1)	Pb	2,36	ppm	HNO ₃	AAS
D1 (2)	Pb	2,34	ppm	HNO ₃	AAS
D1 (3)	Pb	2,34	ppm	HNO ₃	AAS
D2 (1)	Pb	2,70	ppm	HNO ₃	AAS
D2 (2)	Pb	2,72	ppm	HNO ₃	AAS
D2 (3)	Pb	2,70	ppm	HNO ₃	AAS
D3 (1)	Pb	3,19	ppm	HNO ₃	AAS
D3 (2)	Pb	3,21	ppm	HNO ₃	AAS
D3 (3)	Pb	3,24	ppm	HNO ₃	AAS

Catatan:

1. Hasil analisa ini adalah nilai rata-rata pengerjaan analisis yang dilakukan secara duplo.
2. Hasil analisa ini hanya berlaku untuk sampel yang kami terima dengan kondisi sampel saat itu.



Mengetahui:

Paid Bahri, S. Si, M. Si.
NIP. 132 158 726

Malang, 30 Januari 2007

Kalab. Lingkungan

Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
NIP. 131 616 317



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : A
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

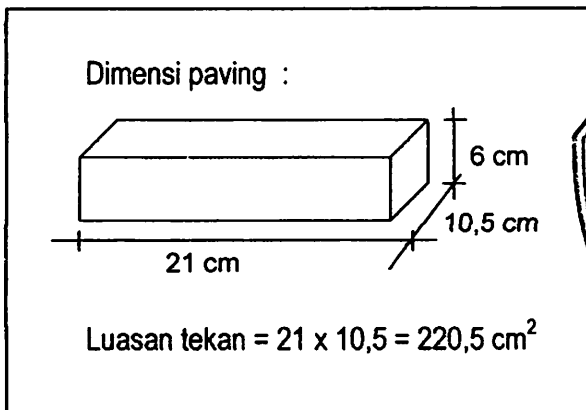
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 1 : 0 : 4 : 0

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,05	810,00	82653,06	374,84
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,00	808,00	82448,98	373,92
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,00	806,00	82244,90	372,99

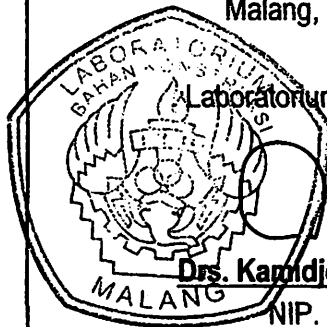
Kuat tekan rata-rata = **373,92** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B1
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

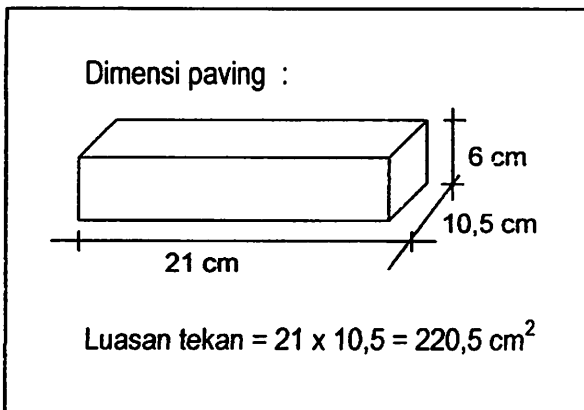
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 3 : 1

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,99	480,00	48979,59	222,13
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,10	477,00	48673,47	220,74
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,02	479,00	48877,55	221,67

Kuat tekan rata-rata = **221,51** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Katidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B1
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

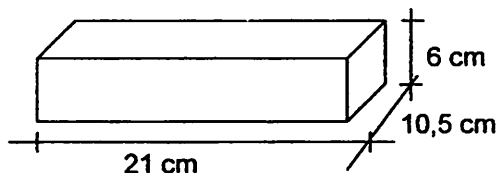
Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 3 : 1

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,99	480,00	48979,59	222,13
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,10	477,00	48673,47	220,74
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3,02	479,00	48877,55	221,67

Kuat tekan rata-rata = **221,51** kg/cm²

Dimensi paving :



Luasan tekan = $21 \times 10,5 = 220,5 \text{ cm}^2$

Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B3
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

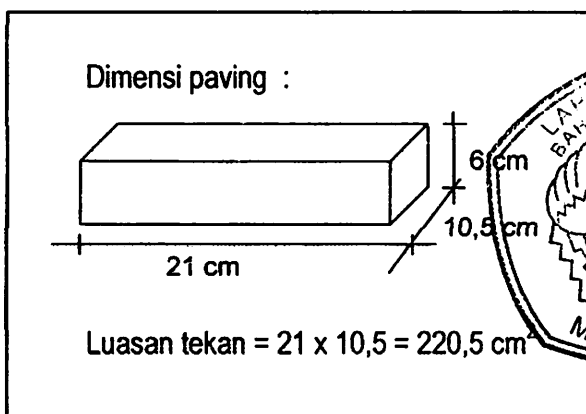
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 2 : 2

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,71	310,00	31632,65	143,46
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,75	307,00	31326,53	142,07
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	7,30	312,00	31836,73	144,38

Kuat tekan rata-rata = **143,30** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi


Dr. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B3
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

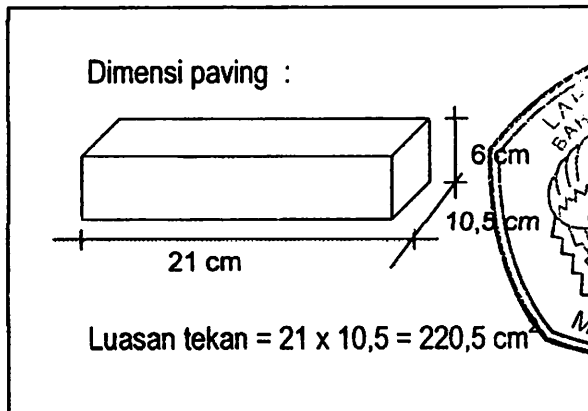
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 2 : 2

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,71	310,00	31632,65	143,46
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,75	307,00	31326,53	142,07
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	7,30	312,00	31836,73	144,38

Kuat tekan rata-rata = **143,30** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi


Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : C2
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

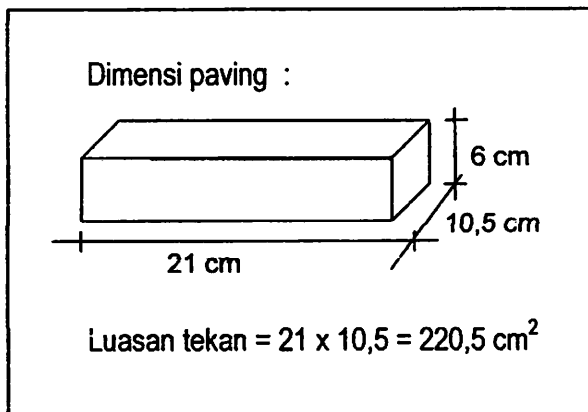
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,8 : 0,2 : 2,5 : 1,5

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,76	340,00	34693,88	157,34
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,73	342,00	34897,96	158,27
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,75	341,00	34795,92	157,80

Kuat tekan rata-rata = **157,80** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : C2
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,8 : 0,2 : 2,5 : 1,5

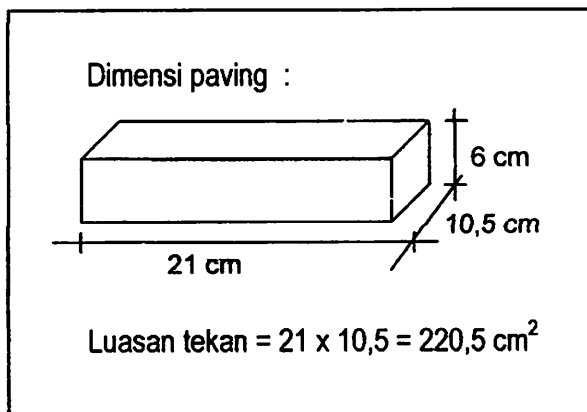
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,76	340,00	34693,88	157,34
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,73	342,00	34897,96	158,27
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,75	341,00	34795,92	157,80

Kuat tekan rata-rata = **157,80** kg/cm²

Malang, 17 Januari 2007

Kepala



Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D1
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

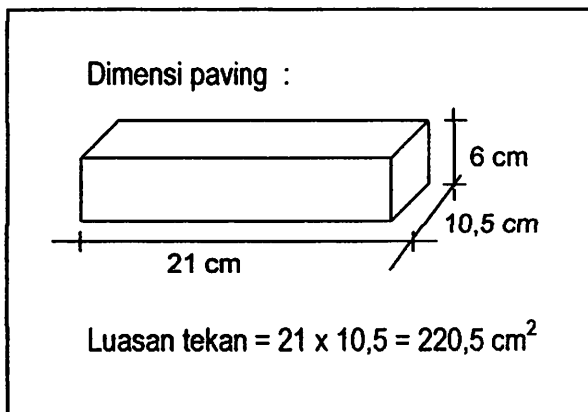
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 3 : 1

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,92	402,00	41020,41	186,03
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,94	400,00	40816,33	185,11
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,90	402,00	41020,41	186,03

Kuat tekan rata-rata = **185,73** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D2
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

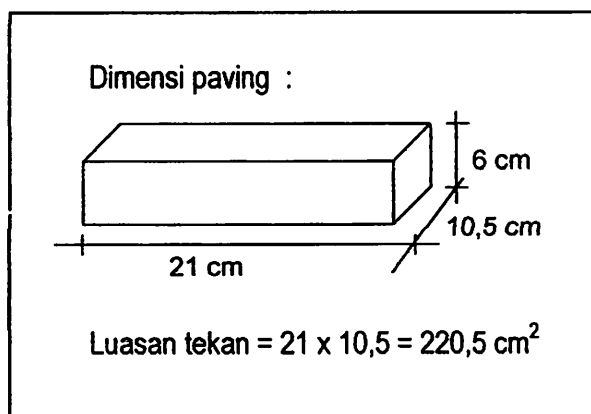
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 2,5 : 1,5

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,84	315,00	32142,86	145,77
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,83	314,00	32040,82	145,31
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,85	316,00	32244,90	146,24

Kuat tekan rata-rata = **145,77** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D3
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

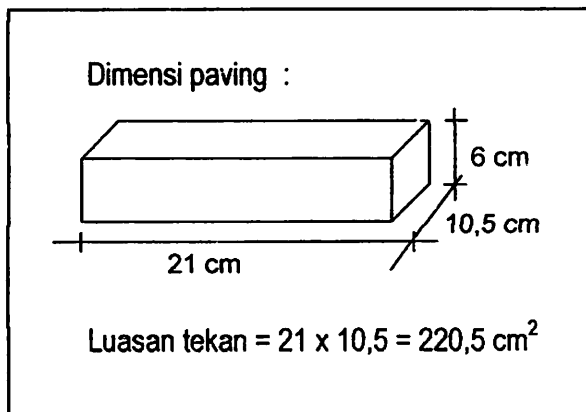
PENGUJIAN KUAT TEKAN PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 2 : 2

(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat (kg)	Tekanan hancur (KN)	Tekanan hancur (kg)	Teg. Hancur (kg/cm ²)
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,71	220,00	22448,98	101,81
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,69	222,00	22653,06	102,73
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2,70	221,00	22551,02	102,27

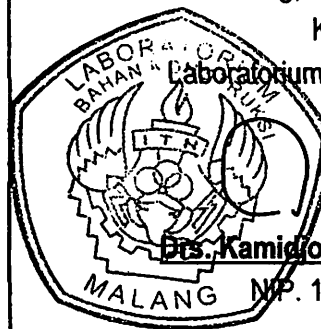
Kuat tekan rata-rata = **102,27** kg/cm²



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : A
Pekerjaan : Penelitian

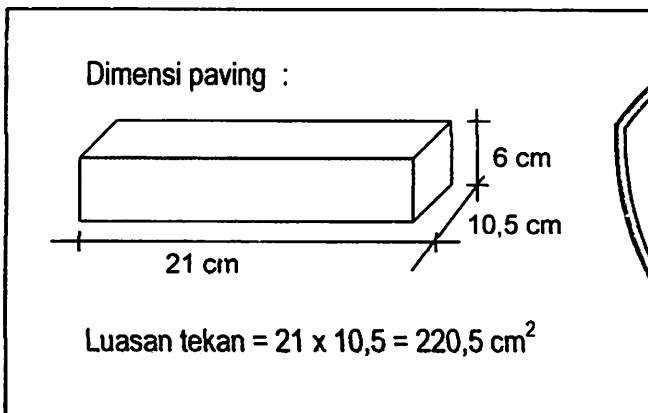
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

**Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 1 : 0 : 4 : 0
(105 x 210 x 60 mm)**

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3153,0	3088,0	2,10
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3157,0	3095,0	2,00
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	3161,0	3102,0	1,90

Penyerapan air rata-rata = **2,00** %



Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Dr. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B1
Pekerjaan : Penelitian

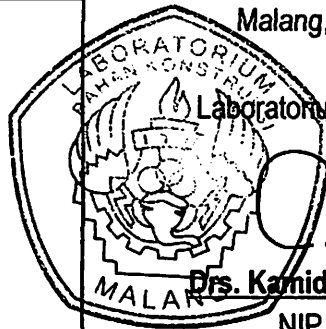
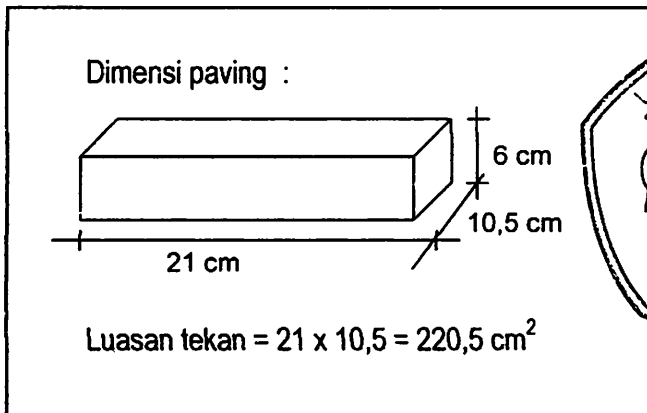
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 3 : 1
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2809,0	2678,0	4,89
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2812,0	2681,0	4,89
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2806,0	2674,0	4,94

Penyerapan air rata-rata = **4,90** %



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B2
Pekerjaan : Penelitian

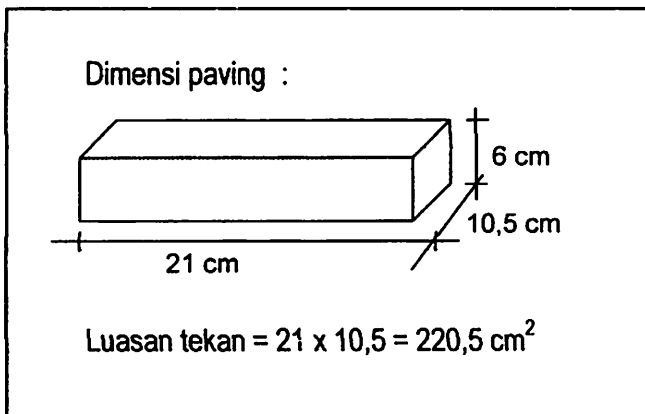
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 2,5 : 1,5
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2793,0	2603,0	7,30
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2789,0	2597,0	7,39
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2791,0	2599,0	7,39

Penyerapan air rata-rata = 7,36 %



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi


Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271

MALANG



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : B3
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

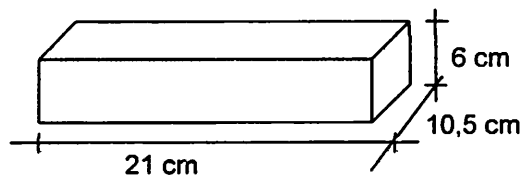
PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

**Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,9 : 0,1 : 2 : 2
(105 x 210 x 60 mm)**

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2716,0	2471,0	9,92
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2718,0	2478,0	9,69
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2721,0	2475,0	9,94

Penyerapan air rata-rata = **9,85 %**

Dimensi paving :

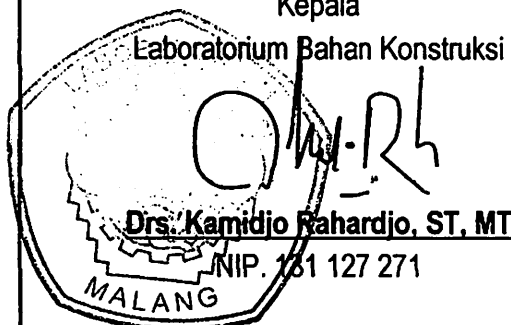


Luasan tekan = $21 \times 10,5 = 220,5 \text{ cm}^2$

Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271

MALANG



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : C1
Pekerjaan : Penelitian

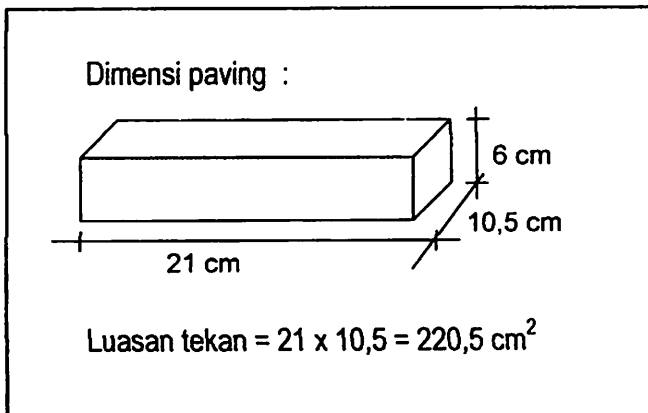
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,8 : 0,2 : 3 : 1
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2856,0	2699,0	5,82
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2861,0	2705,0	5,77
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2858,0	2703,0	5,73

Penyerapan air rata-rata = 5,77 %



Malang, 17 Januari 2007





**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : C2
Pekerjaan : Penelitian

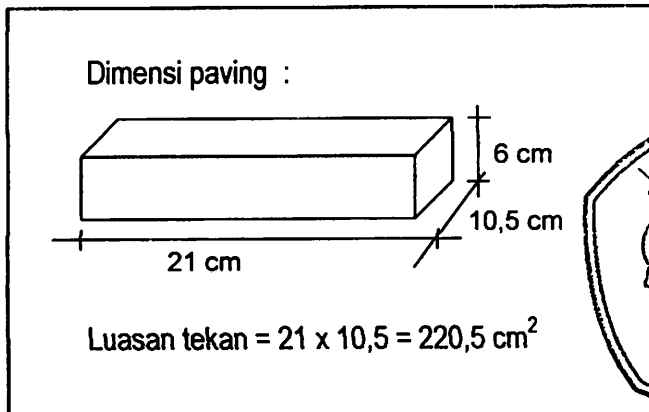
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,8 : 0,2 : 2,5 : 1,5
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2777,0	2572,0	7,97
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2779,0	2573,0	8,01
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2781,0	2575,0	8,00

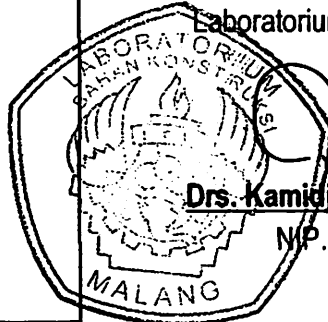
Penyerapan air rata-rata = 7,99 %



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi



M. R. H.
Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : C3
Pekerjaan : Penelitian

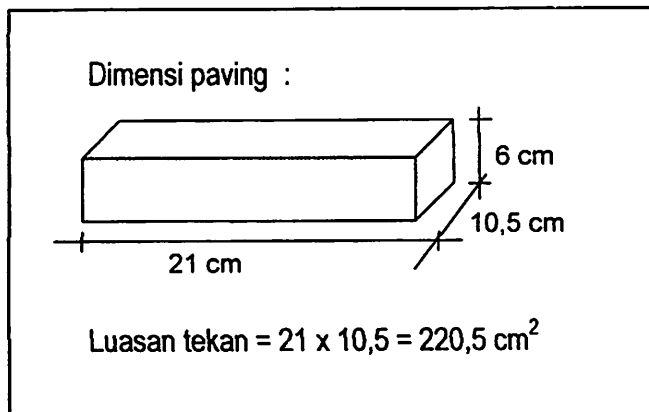
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

**Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,8 : 0,2 : 2 : 2
(105 x 210 x 60 mm)**

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2718,0	2432,0	11,76
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2721,0	2436,0	11,70
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2719,0	2433,0	11,76

Penyerapan air rata-rata = **11,74** %



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D1
Pekerjaan : Penelitian

Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

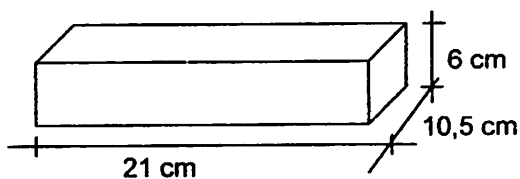
PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 3 : 1
(105 x 210 x 60 mm)

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2887,0	2691,0	7,28
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2877,0	2685,0	7,15
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2882,0	2689,0	7,18

Penyerapan air rata-rata = 7,20 %

Dimensi paving :



Luasan tekan = $21 \times 10,5 = 220,5 \text{ cm}^2$

Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D2
Pekerjaan : Penelitian

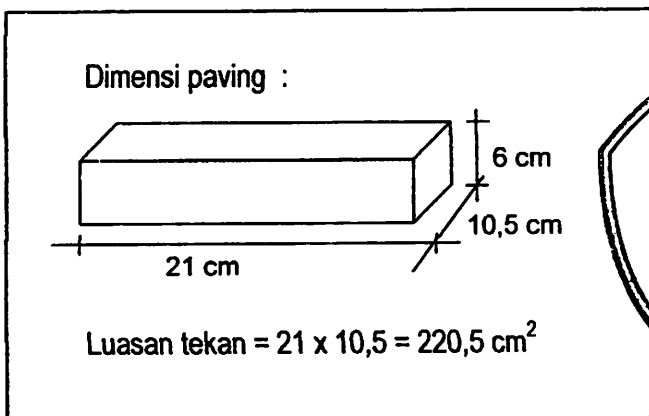
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

**Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 2,5 : 1,5
(105 x 210 x 60 mm)**

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2894,0	2638,0	9,70
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2892,0	2637,0	9,67
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2890,0	2635,0	9,68

Penyerapan air rata-rata = **9,68** %



Malang, 17 Januari 2007

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi

Handwritten signature
Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

MALANG MP. 131 127 271



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

I. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551951 - 551431 Psw. 256 Malang 65145

Jenis contoh : D3
Pekerjaan : Penelitian

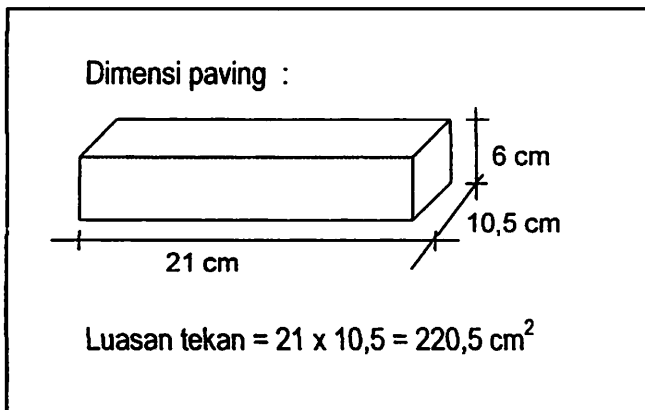
Dikerjakan : Diah
Dihitung : Diah

PENYERAPAN AIR PAVING BLOCK

**Semen : Fly Ash : Pasir : Sludge = 0,7 : 0,3 : 2 : 2
(105 x 210 x 60 mm)**

No.	Tanggal Buat	Tanggal Test	Berat SSD (gr)	Berat Kering (gr)	Penyerapan
1	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2701,0	2397,0	12,68
2	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2703,0	2399,0	12,67
3	29 Nopember 2006	8 Januari 2007	2706,0	2401,0	12,70

Penyerapan air rata-rata = 12,69 %

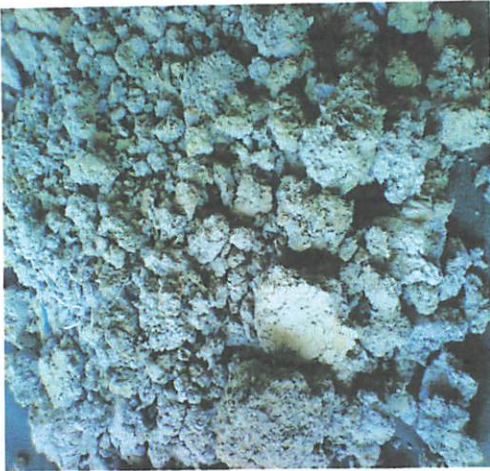


Malang, 17 Januari 2007
Kepala
Laboratorium Bahan Konstruksi

Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT
NIP. 131 127 271

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar penjemuran *sludge*



Gambar *sludge* yang lolos saringan No.4 (4,75mm)



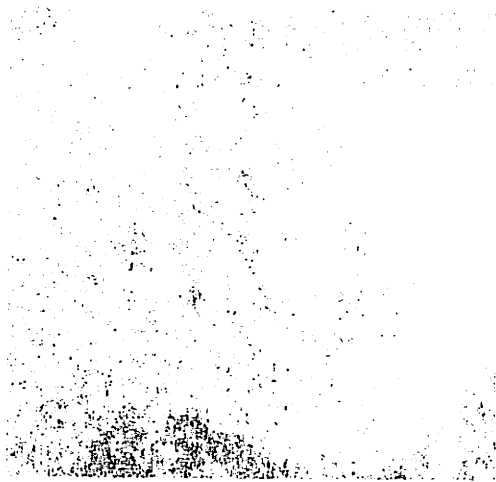
Gambar *fly ash*



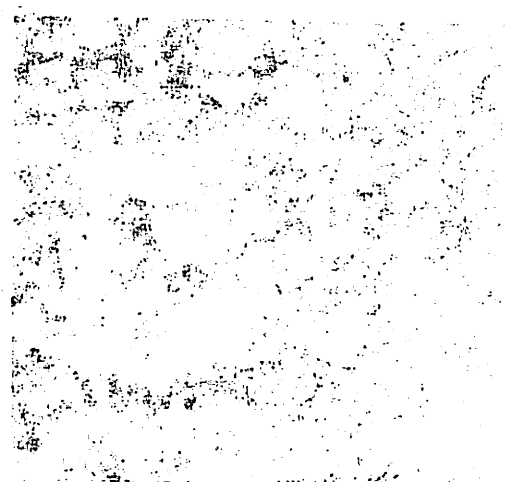
Gambar proses penimbangan dan pencampuran bahan



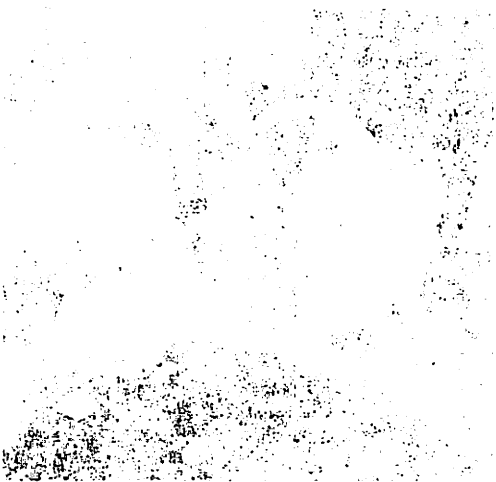
Gambar proses curing *paving block*



gambar peta wilayah
tahun 1970



gambar peta wilayah
tahun 1980



gambar peta wilayah
tahun 1990



gambar peta wilayah
tahun 2000



gambar peta wilayah
tahun 2010



(1)



(2)



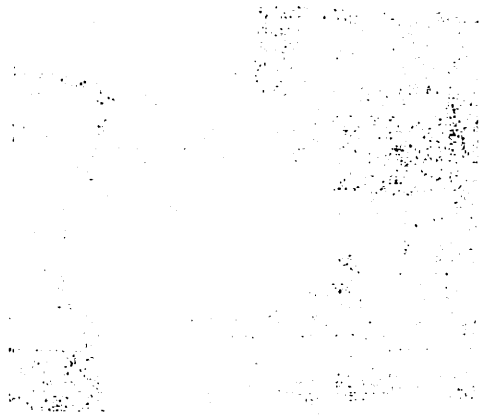
(3)



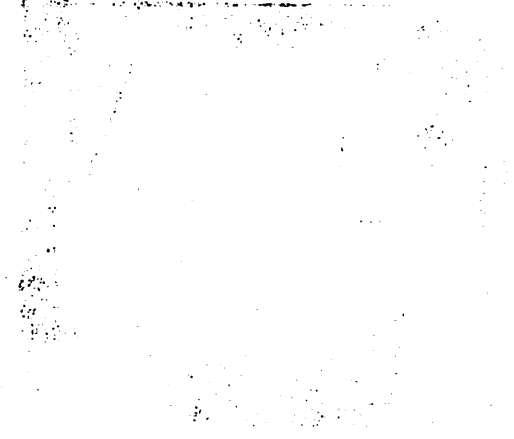
(4)



Gambar. Proses Pembuatan *Paving Block*



(1)



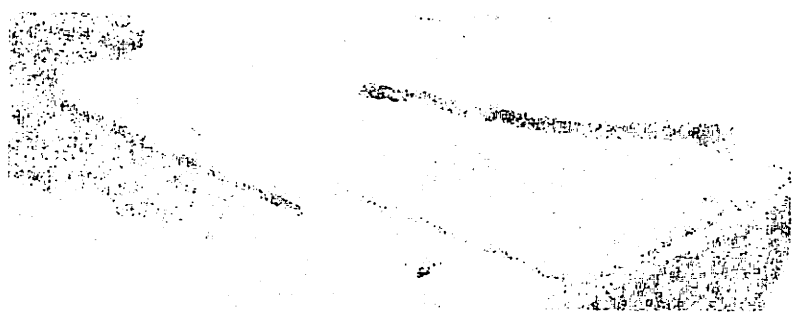
(2)



(3)



(4)



Gambar Proses Pembentukan Faring Blok



Gambar mesin pencetak *paving block*

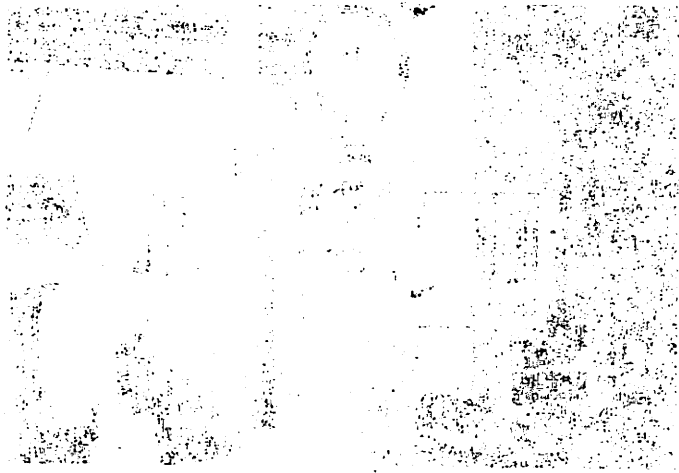


Gambar alat untuk menguji kuat tekan *paving block*

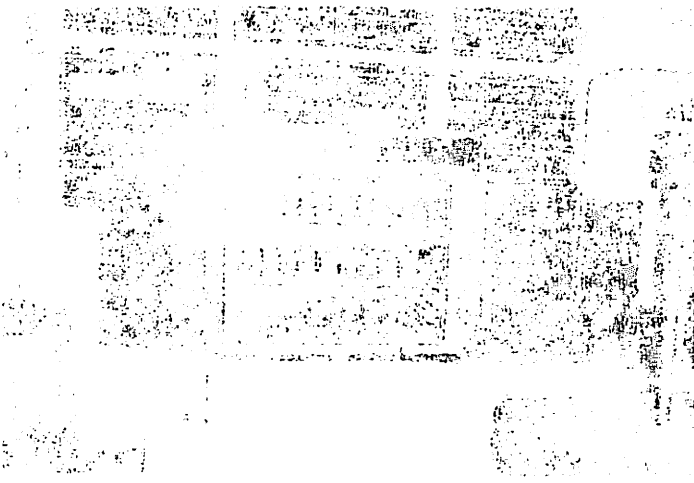


Gambar *paving block* diopen untuk uji penyerapan air

(mirrored text)



(mirrored text)



(mirrored text)

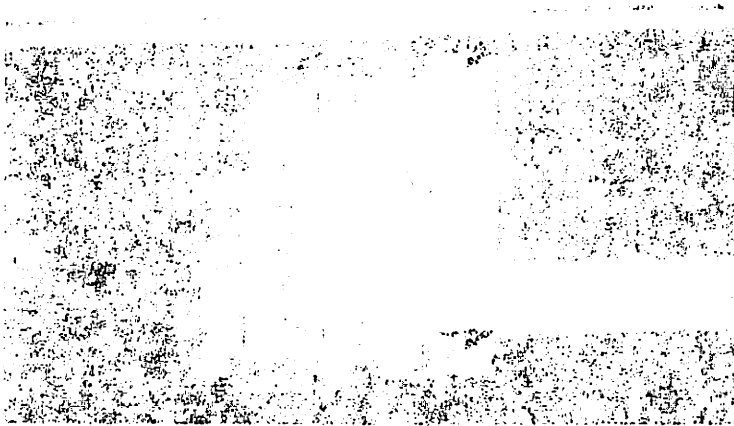


Gambar. *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*



Gambar *paving block*

Camden, New Jersey (1911)



Camden, New Jersey

LAMPIRAN D

SNI-03-0691-1996 & BAKU MUTU TCLP

903

SNI

Standar Nasional Indonesia

SNI 03-0691-1996

ICS 91.100.30



Bata beton (*Paving block*)



Daftar isi

Halaman

1	Ruang lingkup	1
2	Acuan	1
3	Definisi	1
4	Klasifikasi	1
5	Syarat mutu	1
6	Cara pengambilan contoh	1
7	Cara uji	1
8	Syarat lulus uji	1
9	Syarat penandaan	1



Bata beton (*Paving block*)

1 Ruang lingkup

Standar ini meliputi acuan, definisi, klasifikasi, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji, syarat lulus uji dan syarat penandaan bata beton.

2 Acuan

SNI 03 - 0691 - 1989, *Bata beton untuk lantai*.

3 Definisi

Bata beton (*paving block*) adalah suatu komposisi bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen portland atau bahan perekat hidrolis sejenisnya, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu bata beton itu.

4 Klasifikasi

Bata beton mutu A : digunakan untuk jalan
Bata beton mutu B : digunakan untuk peralatan parkir
Bata beton mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
Bata beton mutu D : digunakan untuk taman dan penggunaan lain.

5 Syarat mutu

5.1 Sifat tampak

Bata beton harus mempunyai permukaan yang rata, tidak terdapat retak-retak dan cacat; bagian sudut dan rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

5.2 Ukuran

Bata beton harus mempunyai ukuran tebal nominal minimum 60 mm dengan toleransi $\pm 8\%$.

5.3 Sifat fisika

Bata beton harus mempunyai sifat-sifat fisika seperti pada tabel 1.

Tabel 1
Sifat-sifat fisika

Mutu	Kuat tekan (MPa)		Ketahanan aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks. (%)
	Rata-rata	Min.	Rata-rata	Min.	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17,0	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

5.4 Ketahanan terhadap natrium sulfat

Bata beton apabila diuji dengan cara seperti pada butir 6.6 tidak boleh cacat, dan kehilangan berat yang diperkenankan maksimum 1%.

6 Cara pengambilan contoh

6.1 Pengambilan contoh

Contoh harus terdiri dari satuan yang utuh. Pengambilan harus dilakukan oleh pembeli atau badan yang diberi kuasa olehnya.

Contoh harus mencerminkan jumlah seluruh satuan dari kelompok dan diambil secara acak.

Contoh diambil dari beberapa tempat di dalam kelompoknya dan di dalam semua keadaan.

6.2 Jumlah contoh

Untuk partai sampai dengan 500.000 buah bata beton, dari setiap kelompok 50.000 buah diambil contoh rata-rata sebanyak 20 buah. Untuk parti lebih dari 500.000 buah, dari setiap kelompok 100.000 buah diambil contoh sebanyak 5 buah.

7 Cara uji

7.1 Sifat tampak

Semua hal tersebut pada butir 4.1 diperiksa dengan pengamatan yang teliti. Bata disusun di atas permukaan yang rata sebagaimana pada pemasangan yang sebenarnya.

7.2 Ukuran

Digunakan peralatan kaliper atau sejenisnya dengan ketelitian 0,1 mm. Pengukuran tebal dilakukan terhadap tiga tempat yang berbeda dan diambil nilai rata-rata.

Pengujian dilakukan terhadap 10 buah contoh uji.

7.3 Kuat tekan

7.3.1 Ambil 10 buah contoh uji masing-masing dipotong berbentuk kubus dan rusuk-rusuknya disesuaikan dengan ukuran contoh uji.

7.3.2 Contoh uji yang telah siap, ditekan hingga hancur dengan mesin penekan yang dapat diatur kecepatannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian beban sampai contoh uji hancur, diatur dalam waktu 1 sampai 2 menit. Arah penekanan pada contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban di dalam pemakaiannya.

7.3.3 Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{L}$$

Keterangan :

P = beban tekan, N

L = luas bidang tekan mm²

Kuat tekan rata-rata dari contoh bata beton dihitung dari jumlah kuat tekan dibagi jumlah contoh uji.

7.4 Ketahanan aus

7.4.1 Ambil lima buah contoh uji dipotong berbentuk bujur sangkar dengan ukuran 50 mm x 50 mm dan tebal 20 mm (untuk pengujian ketahanan aus).

7.4.2 Sisa dari pemotongan dibuat benda uji persegi dengan ukuran kurang dari 20 mm (untuk penentuan berat jenis).

7.4.3 Mesin aus yang dipergunakan, cara-cara mengaus dan mencari berat jenis dikerjakan sesuai dengan SNI 03 - 0028 - 1987, *Cara uji ubin semen*.

7.5 Penyerapan air

7.5.1 Lima buah benda uji dalam keadaan utuh direndam dalam air hingga jenuh (24 jam), ditimbang beratnya dalam keadaan basah.

7.5.2 Kemudian dikeringkan dalam dapur pengering selama kurang lebih 24 jam, pada suhu kurang lebih 105°C sampai beratnya pada dua kali penimbangan berselisih tidak lebih dari 0,2% penimbangan yang terdahulu.

7.5.3 Penyerapan air dihitung sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} = 100\%$$

Ketengan :

A = berat bata beton basah

B = berat bata beton kering

7.6 Ketahanan terhadap natrium sulfat

7.6.1 Peralatan

- a) Larutan jenuh garam natrium sulfat yang jernih dengan berat jenis antara 1,151 - 1,174.
- b) Bejana tempat merendam contoh dalam larutan natrium sulfat

7.6.2 Prosedur

- a) Dua buah benda uji utuh (bekas pengujian ukuran) dibersihkan dari kotoran-kotoran yang melekat, kemudian dikeringkan dalam dapur pengering pada suhu $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap, lalu didinginkan dalam eksikator.
- b) Setelah dingin ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram, kemudian direndam dalam larutan jenuh garam natrium sulfat selama 16 sampai dengan 18 jam, setelah itu diangkat dan didiamkan dulu agar cairan yang berlebihan meniris.
- c) Selanjutnya masukkan benda uji ke dalam dapur pengering pada suhu $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ selama kurang lebih 2 jam, kemudian dinginkan sampai suhu kamar.
- d) Ulangi perendaman dan pengeringan ini sampai 5 kali berturut-turut.
- e) Pada pengeringan yang terakhir, benda uji dicuci sampai tidak ada lagi sisa sisa garam sulfat yang tertinggal.

- f) Untuk mengetahui bahwa tidak ada lagi garam sulfat yang tertinggal, larutan pencucinya dapat diuji dengan larutan BaCl_2 .
- g) Untuk mempercepat pencucian dapat dilakukan pencucian dengan air panas bersuhu kurang lebih $40 - 50^\circ\text{C}$.
- h) Setelah pencucian sampai bersih, benda uji dikeringkan dalam dapur pengering sampai berat tetap ($\pm 2-4$ jam), didinginkan dalam eksikator, kemudian ditimbang lagi sampai ketelitian $0,1$ gram.
- i) Di samping itu diamati keadaan benda uji apakah setelah perendaman dalam larutan garam sulfat terjadi/nampak adanya retakan, gugusan atas cacat-cacat lainnya.
- j) Laporkan keadaan setelah perendaman itu dengan kata-kata :
 - baik/tidak cacat, bila tidak nampak adanya retak-retak atau perubahan lainnya
 - cacat/retak-retak, bila nampak adanya retak-retak (meskipun kecil), rapuh, dan gugus dan lain-lain
- k) Apabila selisih penimbangan sebelum perendaman dan setelah perendaman tidak lebih besar dari 1% dan benda uji tidak cacat nyatakan benda-benda uji tadi baik. Bila selisih penimbangan dari 2 di antara 3 benda uji tadi lebih besar dari 1% , sedang benda ujinya baik (tidak cacat) nyatakan bahwa benda uji secara keseluruhan menjadi cacat.

8 Syarat lulus uji

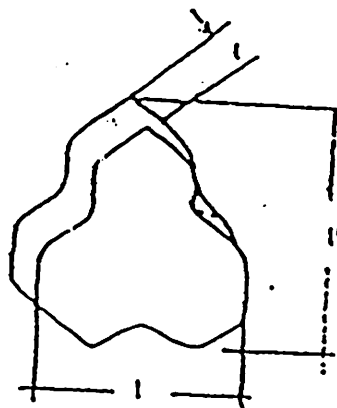
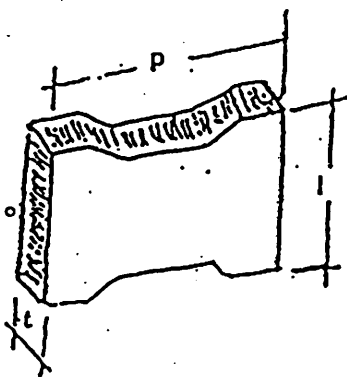
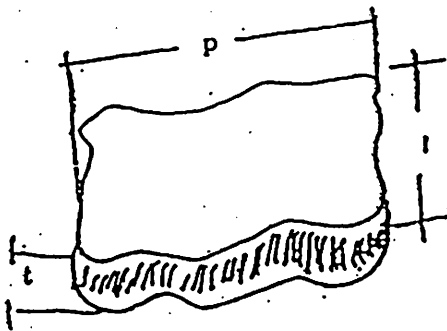
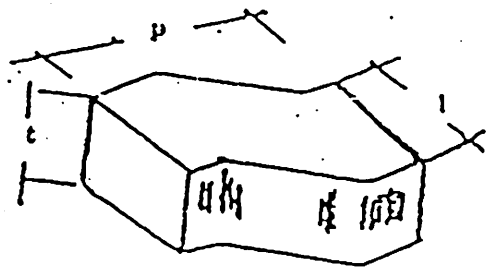
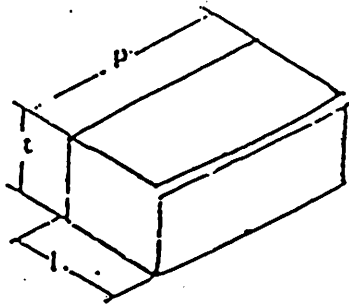
8.1 Kelompok dinyatakan lulus uji, apabila contoh yang diambil dari kelompok tersebut memenuhi ketentuan butir 4.

8.2 Apabila sebagian syarat tidak dipenuhi, dapat dilakukan uji ulang dengan contoh uji sebanyak dua kali jumlah contoh semula dan diambil dari kelompok yang sama.

8.3 Apabila pada hasil uji ulang semua syarat dipenuhi kelompok dinyatakan lulus uji. Kelompok dinyatakan tidak lulus uji kalau salah satu syarat mutu tidak dipenuhi pada uji ulang.

9 Syarat penandaan

Klasifikasi dan kode pabrik harus tertera pada setiap bata beton.



Gambar contoh bentuk bata beton

Keterangan :
P = Panjang
T = Tebal
L = Lebar.

Tabel Baku Mutu Uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi)

Parameter	Konsentrasi dalam ekstraksi limbah (mg/L)
Aldrin + Dieldrin	0,07 ¹
Arsen	5,0 ²
Barium	100,0 ³
Benzene	0,5 ⁴
Boron	500 ⁵
Cadmium	1,0 ⁶
Carbon tetrachloride	0,5 ⁷
Chlordane	0,03 ⁸
Chlorobenzene	100,0 ⁹
Chloroform	6,0 ¹⁰
Chromium	5,0 ¹¹
Copper	10,0 ¹²
o-Cresol	200,0
m-Cresol	200,0
p-Cresol	200,0
Total Cresol	200,0
Cyanide (free)	20,0
2,4-D	10,0
1,4-Dichlorobenzene	7,5
1,2-Dichloroethane	0,5
1,1-Dichloroethylene	0,7
2,4-Dinitrotoluene	0,13
Endrin	0,02
Fluorides	150,0
Heptachlor + Heptachlor epoxide	0,008
Hexachlorobenzene	0,13
Hexachlorobutadiene	0,5
Hexachloroethane	3,0
Lead	5,0
Lindane	0,4
Mercury	0,2
Methoxychlor	10,0
Methyl ethy ketone	200,0
Methyl Parathion	0,7
Nitrate + Nitrite	1000,0
Nitrite	100,0
Nitrobenzene	2,0
Nitrotriacetic acid	5,0
Pentachlorophenol	100,0
Pyridine	5,0
Parathion	3,5
Plumbum	5,0
PCBs	0,3
Selenium	1,0
Silver	5,0
Tetrachloroethylene	0,7
Toxaphene	0,5
Trichloroethylene	0,5
Trihalomethanes	35,0
2,4,5-Trichlorophenol	400,0
2,4,6-Trichlorophenol	2,0
2,4,6-TP (Silvex)	1,0
Vynil chloride	0,2
Zinc	50,0

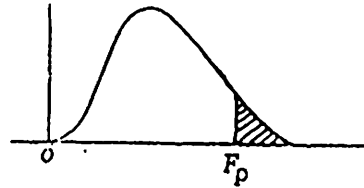
Sumber : Peraturan tentang Pengelolaan Limbah B3 (KLH 1986)

LAMPIRAN III

TABEL T DAN F

DAFTAR 1

Nilai Persepsi Untuk Distribusi F (Bilangan Dalam Dada Daftar Menyatakan F_p (Baris Atas Untuk $p = 0,05$ dan Baris Bawah Untuk $p = 0,01$))



df syebut	$V_1 = dk$ pembilang																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞		
1	161 4052	200 4999	216 8403	226 8626	230 8764	234 8889	237 8978	239 9041	241 9092	242 9136	243 9175	244 9210	246 9242	246 9270	248 9296	249 9320	250 9342	251 9362	252 9380	253 9396	254 9410	254 9422	254 9432	254 9440	254 9446	
2	18,81 98,49	19,00 99,01	19,16 99,17	19,28 99,26	19,38 99,30	19,43 99,33	19,46 99,34	19,48 99,36	19,50 99,38	19,51 99,40	19,52 99,41	19,53 99,42	19,54 99,43	19,54 99,44	19,55 99,45	19,55 99,46	19,56 99,47	19,56 99,48	19,56 99,48	19,57 99,49	19,57 99,49	19,57 99,49	19,58 99,49	19,58 99,50	19,58 99,50	
3	10,13 34,12	9,65 30,81	9,28 29,46	9,12 28,71	9,01 28,21	8,94 27,91	8,88 27,67	8,84 27,49	8,81 27,34	8,78 27,23	8,76 27,13	8,74 27,05	8,71 26,97	8,69 26,83	8,66 26,69	8,64 26,60	8,62 26,50	8,60 26,41	8,58 26,30	8,57 26,27	8,56 26,23	8,54 26,18	8,54 26,14	8,54 26,12	8,53 26,12	8,53 26,12
4	7,71 21,20	6,94 18,00	6,59 16,69	6,39 16,08	6,26 15,62	6,16 15,21	6,09 14,98	6,04 14,80	6,00 14,66	5,96 14,54	5,93 14,46	5,91 14,37	5,87 14,24	5,84 14,18	5,80 14,02	5,77 13,93	5,74 13,83	5,71 13,74	5,70 13,69	5,68 13,61	5,66 13,57	5,65 13,52	5,64 13,48	5,64 13,46	5,63 13,46	5,63 13,46
5	6,61 16,26	5,79 13,27	5,41 12,06	5,19 11,39	5,05 10,97	4,94 10,67	4,86 10,48	4,82 10,27	4,78 10,16	4,74 10,06	4,70 9,96	4,68 9,89	4,64 9,77	4,60 9,68	4,56 9,66	4,53 9,47	4,50 9,38	4,46 9,29	4,44 9,24	4,42 9,17	4,40 9,13	4,38 9,07	4,37 9,04	4,36 9,02	4,36 9,02	4,36 9,02
6	5,99 13,74	5,14 10,92	4,76 9,78	4,58 9,16	4,39 8,76	4,28 8,47	4,21 8,26	4,16 8,10	4,10 7,98	4,06 7,87	4,03 7,79	4,00 7,72	3,96 7,60	3,92 7,52	3,87 7,39	3,84 7,31	3,81 7,23	3,77 7,14	3,75 7,09	3,72 7,02	3,69 6,99	3,68 6,94	3,66 6,90	3,65 6,88	3,65 6,88	3,65 6,88
7	5,59 12,26	4,74 9,65	4,36 8,48	4,12 7,86	3,97 7,46	3,87 7,19	3,79 7,00	3,73 6,81	3,68 6,71	3,63 6,62	3,60 6,54	3,57 6,47	3,52 6,38	3,49 6,27	3,44 6,18	3,41 6,07	3,38 6,08	3,34 6,00	3,32 6,05	3,29 6,03	3,28 6,00	3,26 5,96	3,24 5,91	3,24 5,87	3,23 5,85	3,23 5,85
8	5,32 11,26	4,46 8,65	4,07 7,59	3,84 7,01	3,69 6,63	3,58 6,37	3,50 6,19	3,44 6,03	3,39 5,91	3,34 5,82	3,31 5,74	3,28 5,67	3,23 5,56	3,20 5,48	3,16 5,38	3,12 5,28	3,08 5,20	3,05 5,11	3,03 5,06	3,00 5,00	2,98 4,96	2,96 4,91	2,94 4,88	2,93 4,86	2,93 4,86	2,93 4,86
9	5,12 10,56	4,26 8,02	3,86 6,99	3,63 6,42	3,48 6,06	3,37 5,80	3,29 5,62	3,23 5,47	3,18 5,35	3,13 5,26	3,10 5,18	3,07 5,11	3,02 5,00	2,98 4,92	2,93 4,80	2,90 4,73	2,86 4,61	2,82 4,56	2,80 4,51	2,77 4,45	2,77 4,41	2,73 4,36	2,72 4,33	2,71 4,31	2,71 4,31	2,71 4,31

DAFTAR 1 (lanjutan)

$V_2 = dk$ penyebut	$V_1 = dk$ pembilang																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞			
10	4,96 10,04	4,10 7,58	3,71 6,84	3,48 6,39	3,33 6,01	3,22 5,73	3,11 5,49	3,02 5,26	2,92 5,06	2,84 4,85	2,79 4,78	2,71 4,60	2,66 4,42	2,62 4,21	2,59 4,10	2,56 4,02	2,53 3,94	2,51 3,86	2,49 3,80	2,47 3,74	2,47 3,70	2,46 3,66	2,44 3,64	2,44 3,62	2,44 3,62	2,44 3,62	
11	4,84 9,65	3,98 7,20	3,59 6,22	3,36 5,67	3,20 5,32	3,08 5,07	3,01 4,88	2,95 4,71	2,90 4,53	2,86 4,39	2,82 4,26	2,79 4,16	2,76 4,02	2,74 3,90	2,71 3,80	2,69 3,78	2,68 3,70	2,66 3,64	2,65 3,60	2,64 3,56	2,63 3,54	2,62 3,51	2,61 3,49	2,60 3,47	2,60 3,46	2,60 3,46	
12	4,75 9,23	3,88 6,83	3,49 5,85	3,26 5,41	3,11 5,06	3,00 4,82	2,92 4,65	2,85 4,50	2,80 4,39	2,76 4,26	2,72 4,16	2,69 4,05	2,66 3,96	2,64 3,88	2,61 3,80	2,59 3,78	2,58 3,70	2,56 3,64	2,55 3,60	2,54 3,56	2,53 3,54	2,52 3,51	2,51 3,49	2,50 3,47	2,50 3,46	2,50 3,46	
13	4,67 8,81	3,80 6,40	3,41 5,42	3,18 4,98	3,02 4,63	2,92 4,38	2,84 4,14	2,77 3,99	2,72 3,88	2,67 3,79	2,63 3,72	2,60 3,66	2,58 3,60	2,56 3,54	2,54 3,48	2,53 3,42	2,52 3,38	2,51 3,34	2,50 3,30	2,49 3,26	2,48 3,22	2,47 3,19	2,46 3,17	2,46 3,16	2,46 3,16	2,46 3,16	
14	4,60 8,40	3,74 6,01	3,34 5,03	3,11 4,59	2,95 4,24	2,85 4,00	2,77 3,76	2,70 3,61	2,65 3,50	2,60 3,41	2,56 3,34	2,53 3,28	2,51 3,22	2,49 3,16	2,48 3,10	2,47 3,06	2,46 3,02	2,45 2,98	2,44 2,94	2,43 2,90	2,42 2,86	2,41 2,82	2,40 2,79	2,40 2,77	2,40 2,77	2,40 2,77	
15	4,54 8,00	3,68 5,62	3,28 4,64	3,06 4,20	2,90 3,85	2,80 3,61	2,72 3,37	2,65 3,22	2,60 3,13	2,56 3,06	2,53 2,99	2,51 2,93	2,49 2,87	2,48 2,81	2,47 2,75	2,46 2,71	2,45 2,67	2,44 2,63	2,43 2,59	2,42 2,55	2,41 2,51	2,40 2,47	2,40 2,43	2,40 2,43	2,40 2,43	2,40 2,43	
16	4,48 7,60	3,62 5,24	3,22 4,26	3,00 3,82	2,84 3,47	2,74 3,23	2,66 3,00	2,60 2,85	2,55 2,76	2,51 2,69	2,48 2,63	2,46 2,57	2,44 2,51	2,43 2,46	2,42 2,44	2,41 2,42	2,40 2,41	2,39 2,40	2,38 2,39	2,37 2,38	2,36 2,37	2,35 2,36	2,35 2,36	2,35 2,36	2,35 2,36	2,35 2,36	2,35 2,36
17	4,42 7,20	3,56 4,88	3,16 3,90	2,94 3,46	2,78 3,11	2,68 2,87	2,60 2,69	2,54 2,63	2,50 2,59	2,46 2,55	2,43 2,52	2,41 2,49	2,39 2,47	2,38 2,45	2,37 2,44	2,36 2,42	2,35 2,41	2,34 2,39	2,33 2,38	2,32 2,37	2,31 2,36	2,30 2,35	2,30 2,34	2,30 2,34	2,30 2,34	2,30 2,34	2,30 2,34
18	4,36 6,80	3,50 4,50	3,10 3,52	2,88 3,07	2,72 2,71	2,62 2,61	2,56 2,55	2,52 2,51	2,48 2,47	2,44 2,43	2,41 2,40	2,39 2,38	2,37 2,36	2,36 2,35	2,35 2,34	2,34 2,33	2,33 2,32	2,32 2,31	2,31 2,30	2,30 2,29	2,29 2,28	2,28 2,27	2,28 2,27	2,28 2,27	2,28 2,27	2,28 2,27	2,28 2,27
19	4,30 6,40	3,44 4,10	3,04 2,82	2,82 2,61	2,66 2,45	2,56 2,35	2,50 2,29	2,46 2,28	2,42 2,26	2,38 2,22	2,34 2,18	2,31 2,16	2,29 2,12	2,28 2,08	2,27 2,04	2,26 2,00	2,25 1,96	2,24 1,91	2,23 1,86	2,22 1,81	2,21 1,76	2,20 1,71	2,20 1,66	2,20 1,61	2,20 1,56	2,20 1,51	
20	4,24 6,00	3,38 3,70	2,98 2,66	2,76 2,45	2,60 2,24	2,50 2,09	2,44 1,94	2,40 1,89	2,36 1,84	2,32 1,79	2,28 1,74	2,24 1,69	2,21 1,64	2,19 1,59	2,18 1,54	2,17 1,49	2,16 1,44	2,15 1,39	2,14 1,34	2,13 1,29	2,12 1,24	2,11 1,19	2,10 1,14	2,10 1,09	2,10 1,04	2,10 1,04	2,10 1,04
21	4,18 5,60	3,32 3,30	2,92 2,40	2,70 2,09	2,54 1,83	2,44 1,68	2,38 1,63	2,34 1,58	2,30 1,53	2,26 1,48	2,22 1,43	2,18 1,38	2,14 1,33	2,11 1,28	2,09 1,23	2,08 1,18	2,07 1,13	2,06 1,08	2,05 1,03	2,04 0,98	2,03 0,93	2,02 0,88	2,01 0,83	2,01 0,78	2,01 0,78	2,01 0,78	2,01 0,78
22	4,12 5,20	3,26 2,90	2,86 2,19	2,64 1,93	2,48 1,67	2,38 1,52	2,32 1,47	2,28 1,42	2,24 1,37	2,20 1,32	2,16 1,27	2,12 1,22	2,08 1,17	2,04 1,12	2,01 1,07	1,99 1,02	1,98 0,97	1,97 0,92	1,96 0,87	1,95 0,82	1,94 0,77	1,93 0,72	1,92 0,67	1,92 0,67	1,92 0,67	1,92 0,67	1,92 0,67
23	4,06 4,80	3,20 2,50	2,80 1,95	2,58 1,69	2,42 1,43	2,32 1,28	2,26 1,23	2,22 1,18	2,18 1,13	2,14 1,08	2,10 1,03	2,06 0,98	2,02 0,93	1,98 0,88	1,94 0,83	1,91 0,78	1,89 0,73	1,88 0,68	1,87 0,63	1,86 0,58	1,85 0,53	1,84 0,48	1,83 0,43	1,83 0,43	1,83 0,43	1,83 0,43	1,83 0,43

DAFTAR I (lanjutan)

V₁ - di pembilang

V ₁ - di penyebut	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	60	75	100	200	500	∞	
34	4,36	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,26	2,22	2,18	2,13	2,09	2,02	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,59	1,54
35	1,82	1,41	1,23	1,10	1,02	0,96	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	
36	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,41	2,34	2,28	2,24	2,20	2,16	2,11	2,06	2,00	1,96	1,92	1,87	1,84	1,80	1,76	1,72	1,68	1,64	
37	1,77	1,37	1,19	1,06	0,98	0,92	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	
38	4,22	3,37	2,97	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22	2,18	2,14	2,10	2,05	1,99	1,95	1,90	1,85	1,82	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	
39	1,73	1,33	1,15	1,02	0,94	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	
40	4,21	3,36	2,96	2,73	2,57	2,45	2,37	2,30	2,24	2,20	2,16	2,12	2,08	2,03	1,97	1,93	1,88	1,84	1,80	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	
41	1,74	1,34	1,16	1,03	0,95	0,89	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	
42	4,20	3,34	2,94	2,71	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22	2,18	2,14	2,10	2,06	2,01	1,95	1,91	1,86	1,82	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,58	
43	1,75	1,35	1,17	1,04	0,96	0,90	0,85	0,81	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	
44	4,19	3,33	2,93	2,70	2,54	2,42	2,34	2,27	2,21	2,16	2,12	2,08	2,04	1,99	1,93	1,89	1,84	1,80	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	
45	1,76	1,36	1,18	1,05	0,97	0,91	0,86	0,82	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	
46	4,18	3,32	2,92	2,69	2,53	2,41	2,33	2,26	2,20	2,15	2,11	2,07	2,03	1,98	1,92	1,88	1,83	1,79	1,75	1,71	1,67	1,63	1,59	1,55	
47	1,77	1,37	1,19	1,06	0,98	0,92	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	
48	4,17	3,31	2,91	2,68	2,52	2,40	2,32	2,25	2,19	2,14	2,10	2,06	2,02	1,97	1,91	1,87	1,82	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,58	1,54	
49	1,78	1,38	1,20	1,07	0,99	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,50	
50	4,16	3,30	2,90	2,67	2,51	2,39	2,31	2,24	2,18	2,13	2,09	2,05	2,01	1,96	1,90	1,86	1,81	1,77	1,73	1,69	1,65	1,61	1,57	1,53	
51	1,79	1,39	1,21	1,08	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	
52	4,15	3,29	2,89	2,66	2,50	2,38	2,30	2,23	2,17	2,12	2,08	2,04	2,00	1,95	1,89	1,85	1,80	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	
53	1,80	1,40	1,22	1,09	1,01	0,95	0,90	0,86	0,83	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	
54	4,14	3,28	2,88	2,65	2,49	2,37	2,29	2,22	2,16	2,11	2,07	2,03	1,99	1,94	1,88	1,84	1,80	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	
55	1,81	1,41	1,23	1,10	1,02	0,96	0,91	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	
56	4,13	3,27	2,87	2,64	2,48	2,36	2,28	2,21	2,15	2,10	2,06	2,02	1,98	1,93	1,87	1,83	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,58	1,54	1,50	
57	1,82	1,42	1,24	1,11	1,03	0,97	0,92	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	
58	4,12	3,26	2,86	2,63	2,47	2,35	2,27	2,20	2,14	2,09	2,05	2,01	1,97	1,92	1,86	1,82	1,77	1,73	1,69	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	
59	1,83	1,43	1,25	1,12	1,04	0,98	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	
60	4,11	3,25	2,85	2,62	2,46	2,34	2,26	2,19	2,13	2,08	2,04	2,00	1,96	1,91	1,85	1,81	1,76	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48	
61	1,84	1,44	1,26	1,13	1,05	0,99	0,94	0,90	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	
62	4,10	3,24	2,84	2,61	2,45	2,33	2,25	2,18	2,12	2,07	2,03	1,99	1,95	1,90	1,84	1,80	1,75	1,71	1,67	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	
63	1,85	1,45	1,27	1,14	1,06	1,00	0,95	0,91	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	
64	4,09	3,23	2,83	2,60	2,44	2,32	2,24	2,17	2,11	2,06	2,02	1,98	1,94	1,89	1,83	1,79	1,74	1,70	1,66	1,62	1,58	1,54	1,50	1,46	
65	1,86	1,46	1,28	1,15	1,07	1,01	0,96	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	
66	4,08	3,22	2,82	2,59	2,43	2,31	2,23	2,16	2,10	2,05	2,01	1,97	1,93	1,88	1,82	1,78	1,73	1,69	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	1,45	
67	1,87	1,47	1,29	1,16	1,08	1,02	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	
68	4,07	3,21	2,81	2,58	2,42	2,30	2,22	2,15	2,09	2,04	2,00	1,96	1,92	1,87	1,81	1,77	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48	1,44	
69	1,88	1,48	1,30	1,17	1,09	1,03	0,98	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	
70	4,06	3,20	2,80	2,57	2,41	2,29	2,21	2,14	2,08	2,03	1,99	1,95	1,91	1,86	1,80	1,76	1,71	1,67	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	1,43	
71	1,89	1,49	1,31	1,18	1,10	1,04	0,99	0,95	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	
72	4,05	3,19	2,79	2,56	2,40	2,28	2,20	2,13	2,07	2,02	1,98	1,94	1,90	1,85	1,79	1,74	1,70	1,66	1,62	1,58	1,54	1,50	1,46	1,42	
73	1,90	1,50	1,32	1,19	1,11	1,05	1,00	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	
74	4,04	3,18	2,78	2,55	2,39	2,27	2,19	2,12	2,06	2,01	1,97	1,93	1,89	1,84	1,78	1,73	1,69	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	1,45	1,41	
75	1,91	1,51	1,33	1,20	1,12	1,06	1,01	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	
76	4,03	3,17	2,77	2,54	2,38	2,26	2,18	2,11	2,05	2,00	1,96	1,92	1,88	1,83	1,77	1,72	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48	1,44	1,40	
77	1,92	1,52	1,34	1,21	1,13	1,07	1,02	0,98	0,95	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	
78	4,02	3,16	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,95	1,91	1,87	1,82	1,76	1,71	1,67	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	1,43	1,39	
79	1,93	1,53	1,35	1,22	1,14	1,08	1,03	0,99	0,96	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	
80	4,01	3,15	2,75	2,52	2,36	2,24	2,16	2,09	2,03	1,98	1,94	1,90	1,86	1,81	1,75	1,70	1,66	1,62	1,58	1,54	1,50	1,46	1,42	1,38	
81	1,94	1,54	1,36	1,23	1,15	1,09	1,04	1,00	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	
82	4,00	3,14	2,74	2,51	2,35	2,23	2,15	2,08	2,02	1,97	1,93	1,89	1,85	1,80	1,74	1,69	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	1,45	1,41	1,37	
83	1,95	1,55	1,37	1,24	1,16	1,10	1,05	1,01	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	
84	3,99	3,13	2,73	2,50	2,34	2,22	2,14	2,07	2,01	1,96	1,92	1,88	1,84	1,79	1,73	1,68	1,64	1,60	1,56	1,52	1,48	1,44	1,40	1,36	
85	1,96	1,56	1,38	1,25	1,17	1,11	1,06	1,02	0,99	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	
86																									

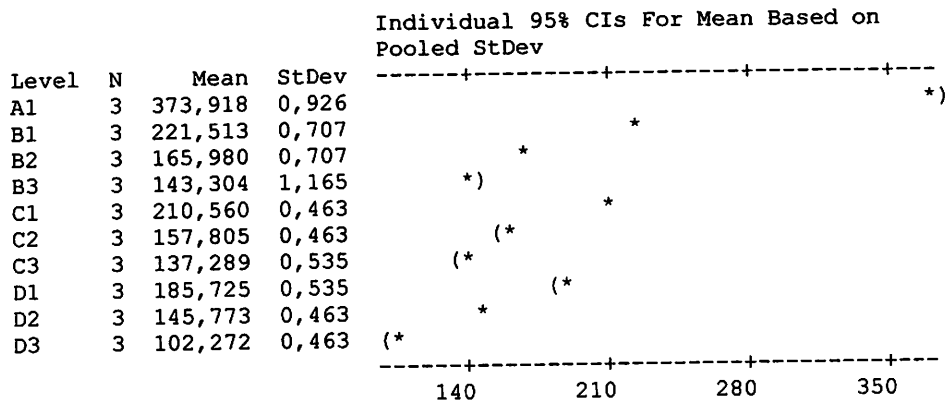
LAMPIRAN II

ANALISA STATISTIK

One-way ANOVA: kuat tekan versus variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi	9	153518,1	17057,6	36758,05	0,000
Error	20	9,3	0,5		
Total	29	153527,3			

S = 0,6812 R-Sq = 99,99% R-Sq(adj) = 99,99%

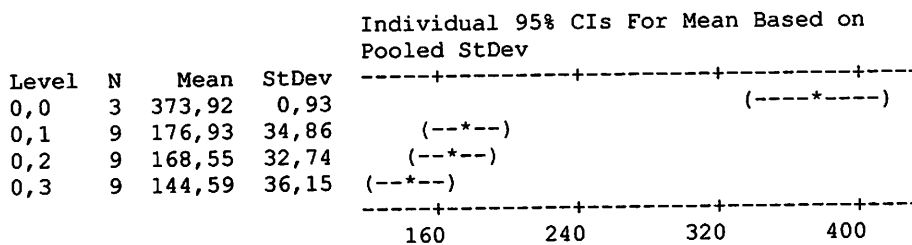


Pooled StDev = 0,681

One-way ANOVA: kuat tekan versus fly ash

Source	DF	SS	MS	F	P
fly ash	3	124778	41593	37,61	0,000
Error	26	28750	1106		
Total	29	153527			

S = 33,25 R-Sq = 81,27% R-Sq(adj) = 79,11%



Pooled StDev = 33,25

One-way ANOVA: kuat tekan versus sludge

Source	DF	SS	MS	F	P
sludge	3	147935	49312	229,25	0,000
Error	26	5593	215		
Total	29	153527			

S = 14,67 R-Sq = 96,36% R-Sq(adj) = 95,94%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----	
0,0	3	373,92	0,93		(---)
1,0	9	205,93	15,89	(*-)	
1,5	9	156,52	8,82	(*-)	
2,0	9	127,62	19,20	(*-)	
				-----+-----+-----+-----+-----	
				140	210 280 350

Pooled StDev = 14,67

Correlations: fly ash; sludge; kuat tekan

	fly ash	sludge
sludge	0,464 0,010	
kuat tekan	-0,679 0,000	-0,946 0,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Regression Analysis: kuat tekan versus fly ash; sludge

Weighted analysis using weights in kuat tekan

The regression equation is
kuat tekan = 364 - 237 fly ash - 102 sludge

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	363,887	4,995	72,85	0,000
fly ash	-236,58	29,41	-8,04	0,000
sludge	-101,792	4,615	-22,06	0,000

S = 183,455 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	41333588	20666794	614,06	0,000
Residual Error	27	908705	33656		
Total	29	42242293			

2/25/2007 21:20:26

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Regression Analysis: Absorbsi (%) versus fly ash; sludge

Weighted analysis using weights in Absorbsi (%)

The regression equation is
Absorbsi (%) = - 0,648 + 10,5 fly ash + 4,86 sludge

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,6484	0,4600	-1,41	0,170
fly ash	10,499	1,379	7,62	0,000
sludge	4,8578	0,2565	18,94	0,000

S = 1,80929 R-Sq = 94,8% R-Sq(adj) = 94,4%

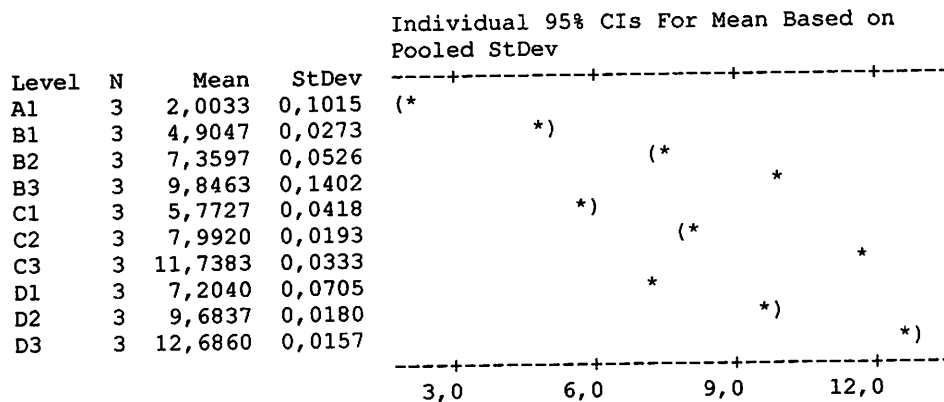
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	1600,17	800,09	244,41	0,000
Residual Error	27	88,39	3,27		
Total	29	1688,56			

One-way ANOVA: Absorbsi (%) versus variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi	9	280,9732	31,2192	7389,64	0,000
Error	20	0,0845	0,0042		
Total	29	281,0577			

S = 0,06500 R-Sq = 99,97% R-Sq(adj) = 99,96%

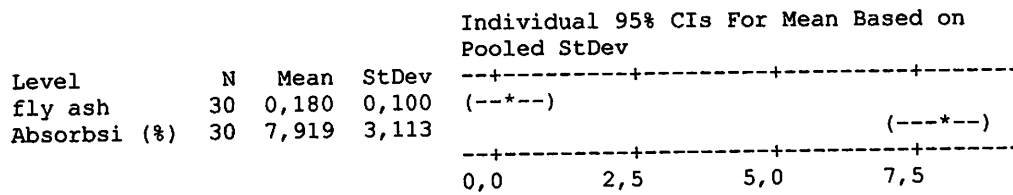


Pooled StDev = 0,0650

One-way ANOVA: fly ash; Absorbsi (%)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	898,40	898,40	185,21	0,000
Error	58	281,35	4,85		
Total	59	1179,74			

S = 2,202 R-Sq = 76,15% R-Sq(adj) = 75,74%

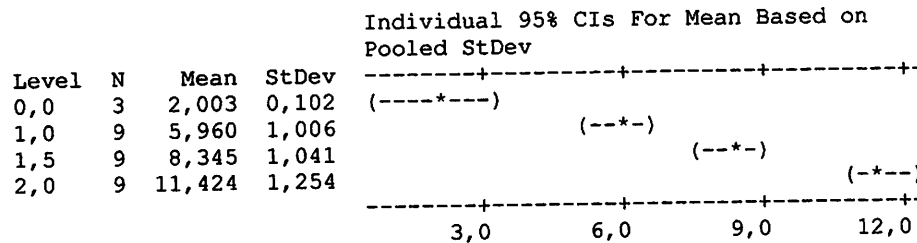


Pooled StDev = 2,202

One-way ANOVA: Absorbsi (%) versus sludge

Source	DF	SS	MS	F	P
sludge	3	251,68	83,89	74,25	0,000
Error	26	29,38	1,13		
Total	29	281,06			

S = 1,063 R-Sq = 89,55% R-Sq(adj) = 88,34%



Pooled StDev = 1,063

Correlations: fly ash; sludge; Absorbsi (%)

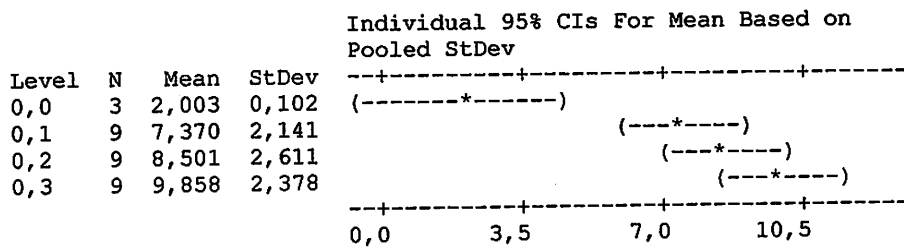
	fly ash	sludge
sludge	0,464 0,010	
Absorbsi (%)	0,643 0,000	0,939 0,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

One-way ANOVA: Absorpsi (%) versus fly ash

Source	DF	SS	MS	F	P
fly ash	3	144,58	48,19	9,18	0,000
Error	26	136,48	5,25		
Total	29	281,06			

S = 2,291 R-Sq = 51,44% R-Sq(adj) = 45,84%



Pooled StDev = 2,291

2/25/2007 22:50:24

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Regression Analysis: Kandungan leaching Pb (ppm) versus fly ash; sludge

Weighted analysis using weights in Kandungan leaching Pb (ppm)

The regression equation is

$$\text{Kandungan leaching Pb (ppm)} = 1,19 + 0,940 \text{ fly ash} + 0,862 \text{ sludge}$$

27 cases used, 3 cases contain missing values
or had zero weight

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,18596	0,03371	35,18	0,000
fly ash	0,94028	0,08842	10,63	0,000
sludge	0,86215	0,01775	48,57	0,000

S = 0,0611674 R-Sq = 99,0% R-Sq(adj) = 99,0%

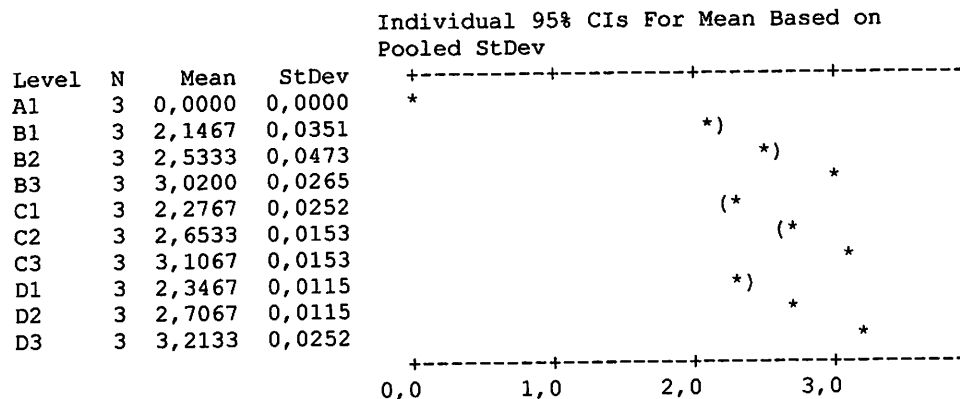
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	9,2343	4,6171	1234,05	0,000
Residual Error	24	0,0898	0,0037		
Total	26	9,3241			

One-way ANOVA: Kandungan leaching Pb (ppm) versus variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
variasi	9	22,69056	2,52117	4088,39	0,000
Error	20	0,01233	0,00062		
Total	29	22,70290			

S = 0,02483 R-Sq = 99,95% R-Sq(adj) = 99,92%

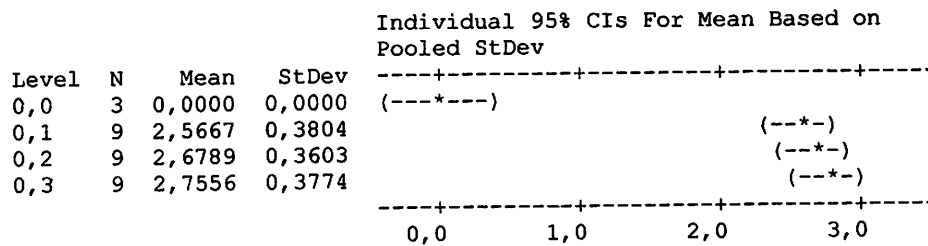


Pooled StDev = 0,0248

One-way ANOVA: Kandungan leaching Pb (ppm) versus fly ash

Source	DF	SS	MS	F	P
fly ash	3	19,368	6,456	50,33	0,000
Error	26	3,335	0,128		
Total	29	22,703			

S = 0,3582 R-Sq = 85,31% R-Sq(adj) = 83,61%

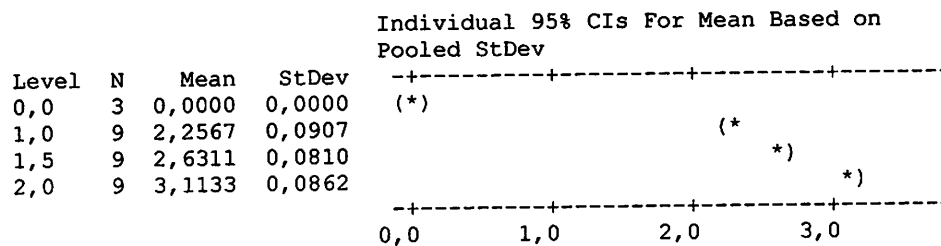


Pooled StDev = 0,3582

One-way ANOVA: Kandungan leaching Pb (ppm) versus sludge

Source	DF	SS	MS	F	P
sludge	3	22,52521	7,50840	1098,65	0,000
Error	26	0,17769	0,00683		
Total	29	22,70290			

S = 0,08267 R-Sq = 99,22% R-Sq(adj) = 99,13%



Pooled StDev = 0,0827

Correlations: fly ash; sludge; Kandungan leaching Pb (ppm)

	fly ash	sludge
sludge	0,464 0,010	
Kandungan le	0,630 0,000	0,946 0,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value