

SKRIPSI

**STUDI PEMANFAATAN LUMPUR IPLC RS Dr. SAIFUL ANWAR MALANG
SEBAGAI SALAH SATU BAHAN DASAR PEMBUATAN BATAKO DENGAN
PEMANFAATAN FLY ASH DAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI POZZOLAN**

Oleh :

**DWIANA NOVITA P
NIM : 01.26.039**



**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2006**

1998

STUDY REPORT ON THE STATE OF THE ENVIRONMENT IN THE
INDONESIA ARCHipelago (SEA-AREA) FOR THE YEAR 1998
PUBLISHED BY THE NATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
AUTHORITY (NEMA) AND THE STATE OF THE ENVIRONMENT
RESEARCH CENTER (SE-RC)

1998

1998



INDONESIA ARCHipelago (SEA-AREA)
PUBLISHED BY THE NATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
AUTHORITY (NEMA) AND THE STATE OF THE ENVIRONMENT
RESEARCH CENTER (SE-RC)
1998

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**STUDI PEMANFAATAN LUMPUR IPCL RS Dr. SAIFUL ANWAR MALANG
SEBAGAI SALAH SATU BAHAN DASAR PEMBUATAN BATAKO DENGAN
PEMANFAATAN FLY ASH DAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI POZZOLAN**

Oleh:
DWIANA NOVITA P
01.26.039

Menyetujui
Tim Pembimbing

Dosen Pembimbing I



Ir. Raphael Sotang
NIP.Y. 101 800 0028

Dosen Pembimbing II



Sudiro, ST, MT
NIP.Y. 103 990 0327



Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Lingkungan

Sudiro, ST, MT
NIP.Y. 103 990 0327

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**STUDI PEMANFAATAN LUMPUR IPCL RS Dr. SAIFUL ANWAR MALANG
SEBAGAI SALAH SATU BAHAN DASAR PEMBUATAN BATAKO DENGAN
PEMANFAATAN FLY ASH DAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI POZZOLAN**

Oleh:
DWIANA NOVITA P
01.26.039

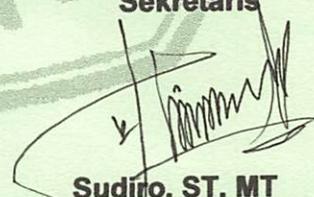
Telah dipertahankan dihadapan Dewan Penguji pada Ujian komprehensif Skripsi Jurusan Teknik Lingkungan Jenjang Strata satu (S1), dan diterima untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada tanggal 15 September 2006.

Menyetujui
Panitia Ujian Komprehensif Skripsi

Ketua

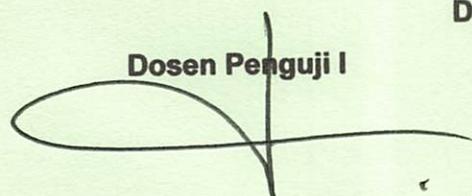

Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP
NIP.Y. 103 900 214

Sekretaris

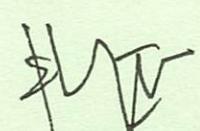

Sudiro, ST. MT
NIP.Y. 103 990 0327

Dewan Penguji

Dosen Penguji I


Ir. H. Ibnu Hidayat P.J., MT
NIP.Y. 131 947 534

Dosen Penguji II


Evy Hendriariyanti, ST. MMT
NIP.P. 103 030 0382

LEMBAR PERSEMBAHAN

My Special thanks for Jesus Christ, who gives me His glory and His majesty in all of my life. Thanks for always be my Father, who listen to everything that I want, who understand about all of my life. Thanks to the Holy Spirit, who guides me in all of my way, who tell me about the best for my life

No body like You, You touch my heart with love so deeply and true. I have been searching for the all of my life just to found that no body loves me like You do...

I know that You are always by my side yesterday, today and tomorrow. Cause, without You I'm not everything. Now, please always beside me and teach me about Your Love. Cause I really need it in all of my life.

Noy's thanks for...

Papa (alm) dan mama tersayang, tak cukup kata untuk mengungkapkan rasa terima kasih noy buat semua kasih dan cinta.. Ma, noy bangga sama mama, walau sendiri mama bisa bertahan dan lewati semua badai hidup ini.. Terima kasih buat teladan yang mama ajarkan. Terima kasih buat limpahan dana yang tak pernah terlambat. Terima kasih buat kesabaran dan kepercayaan menganggapku sebagai seorang dewasa. Terima kasih untuk semuanya...

For my best brother Daniel, makasih buat perhatian, dukungan, semangat dan transferannya..hehehe. Makasih dah jadi kakak yang baik, dengan filsafat-filsafat hidup yang mengajarkanku untuk bisa hadapi segala hal. Makasih untuk selalu tidak bosan mengajariku untuk senang membaca buku.. Maap "Tuesday with Morrie" belum selesai-selesai juga..hehehe

The next special thanks it's for someone special in my life, seseorang yang selama ini menemani hari-hariku, berada disampingku saat aku berjalan pada jalan menuju dewasa. Seseorang yang selalu menemani dalam keputusan, selalu menguatkan aku untuk tidak menyerah pada keadaan..Mas Joe. Thanks buat perhatian, kesabaran dan kedewasaanmu. Terima kasih mau menerimaku apa adanya. Terima kasih karena mau mendengarkan semua keluh kesahku selama ini. Makasih buat semua pengorbananmu, udah rela bolos kerja demi penyelesaian skripsiku ini. Jangan bosan untuk mengerti dan memahami aku ya...Love you!

Terima kasih buat semua keluarga besarku yang ada di Medan, Bandung, Jambi, Sorong dan dimanapun berada atas dukungan dan doanya...

Berikut buat para sahabat^{ku}...buat Ina, makasih dah jadi pendengar semua keluh kesahku, dah jadi temen jalanku. Makasih buat printernya.,aku bakal kangen dengan kepanikanmu, selamat bertemu & berbahagia dengan yayang barumu ya.. Buat nini maniez, makasih buat kebersamaan kita dalam segala hal terutama saat lebaran tiba.,ayo dong semangat ngerjain skripsi.. Buat Pia, inget gak kebersamaan kita dulu dalam ngerjain tugas^{ku}, kamu yang paling duluan selesai..Semangat ya, tinggal selangkah lagi..Buat Mbo 'Devi, makasih buat solidaritasmu., kamu teman yang baik coy, cepet temuin cinta sejatimu yah?

Sekarang giliran tim suksesku..Thanks a lot for K'Evy Leiden yang sempet^{ku}nya nganterin ke ITS nyari literatur. Widi, Pa'de Ase, Mbah '00, Wacken dan Agnes yang rela nganterin aku survey tempat penelitian. Desi & Diah yang udah mengupayakan aku bisa dapatin fly ash. Ance'02 buat pinjaman timbangannya. Wildan buat kameranya. Mr. Jamil yang udah sangat membantu dalam pembuatan batako. Mba Elen buat pinjaman motornya. Kadek, Nini, Manik, Nila, Ina, Wawan yang udah bantu aku waktu penelitian di Lab. Mas Mafud yang udah rela banget aku sita waktunya untuk nyusun skripsi ini. Pak Edwin & semua crue IPL yang udah aku repotin untuk jemurin lumpur. Yeni yang dah nganter aku waktu hujan^{ku}. Indra buat bantuan Minitabnya. Ame buat nebengan ngeprint & pinjaman jasanya. Terima kasih banyak buat bantuan kalian semua yah...Asli,, kalo gak ada kalian, skripsiku gak bakal bisa jadi seperti ini.

Kemudian buat temen^{ku}ku Lingkungan'01 ITN Malang, temen^{ku}1 seperjuangan : Ika, Indra, Manik, Nila, Ina, Devi, Maria, Eva, Lili, Kadek, Widi, Taufik, Putu dan Wawan, thanks banget buat semua bantuan & supportnya selama kita nyusun skripsi, kala kita takut hadapi kompre kita sama^{ku} saling menguatkan.,akhirnya lulus juga rek.. Dan buat yang lain, yang gak sempet aku sebutin satu^{ku}, jangan marah ya? Makasih banget buat kebersamaan kita selama ini, aku bakal kangen kalian semua. Ayo rek., aku tau kalian bisa..cepat kerjain skripsinya...

Terima kasih berikutnya untuk penghuni BSG 11...Buat Vivi, makasih buat dukungannya, aku duluan tapi kamu harus tetep semangat ya.,aku doain ayahmu cepet sembuh. Buat adik^{ku}ku Shinta, Marta, Nurul, Yeni, Ririn, Meta, Idoy dan Dini., cepet selesein kuliah kalian ya..

Buat mba Anies, makasih dah jadi temen curhat & temen jalanku. Makasih juga buat pemilik BSG 11, Mas Ukis & Mba Hanim yang udah ngasih tumpangan selama 2 tahun lebih, yang sering aku repotin bila aku pulang telat, 'de Aza & 'de Gayuh dengan kelucuan". Terima kasih buat kebersamaan kita selama ini...

Terima kasih buat keluarga besar Abas, untuk kasih dan kehangatan sebuah keluarga yang boleh aku rasakan ditengah kesendirian di kota Malang ini. Terima kasih buat bapak yang selalu ingetin untuk cepet nyelesein skripsi ini. Terima kasih buat ibu atas pinjaman timbangannya, maaf ya bu timbangannya error mungkin gara" Noy. Buat embah untuk setiap pertanyaan 'gimana skripsinya?' yang memotivasi Noy untuk menyelesaikan. Buat mba Eva, Mas Lukas, Mas Trias, Mba Rista dan semuanya., makasih buat kasihnya...

The last but not the least, skripsi ini adalah kesaksian dari akhir kuliahku di Malang...Aku persembahkan untuk semua orang yang mencintai dan menyayangi aku...Terlebih aku persembahkan untuk Tuhanku Yesus Kristus. Hal indah yang dapat aku simpulkan dari semua yang terjadi pada masa kuliahku adalah bahwa Dia memberikan padaku apa yang aku butuhkan, tidak pernah sedetikpun Dia meninggalkan aku. Dia menyediakan apa yang tidak aku lihat, dan tidak aku dengar, bahkan apa yang tidak aku harapkan lagi. Dia tidak pernah mengambil sesuatu apapun yang baik dalam hidupku, kecuali jika Dia ingin memberikan yang lebih baik. Ketika aku menyerah dan membiarkan Dia mengambil alih segalanya, Dia bekerja dan memberikan yang tidak aku bayangkan..aku tahu bahwa apapun yang terjadi itu adalah yang terbaik menurut kasih dan kemurahanNya semata. Ketika semuanya berlalu aku melihat bahwa Dia memang memberikan padaku segala sesuatu yang terbaik untuk masa depanku, dan aku bersyukur untuk semuanya itu. Karena segala sesuatu itu indah pada waktunya...

Malang, September '06

ABSTRAKS

Lumpur IPLC rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang berasal dari setiap proses yang terjadi didalam pengolahan tersebut. Lumpur yang merupakan hasil samping dari pengolahan air limbah umumnya dibuang percuma dan masih menimbulkan masalah bagi lingkungan, seperti timbulnya bau hasil penguraian zat organik yang sangat menusuk hidung. Selama ini rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang melakukan proses pengolahan lumpur dengan pembakaran dalam incinerator. Hasil pembakaran incinerator hanya merubah bentuk lumpur menjadi abu yang selanjutnya dibuang dan hanya menghabiskan bahan bakar incinerator. Pengolahan tersebut tentu belum optimal dan perlu adanya upaya terobosan untuk mengatasi masalah tersebut. Pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk memanfaatkan lumpur sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako. Disamping itu, penelitian ini berusaha memanfaatkan senyawa pozzolan buatan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa pengikat seperti semen yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan batako dan sebagai pengganti sebagian jumlah semen. Pozzolan buatan yang dipakai dalam penelitian ini merupakan limbah buangan industri, yaitu : *fly ash* (abu terbang) PLTU Paiton yang merupakan limbah dari pembakaran batubara dan abu ampas tebu PG. Kebon Agung Malang yang merupakan limbah dari pembakaran ampas tebu.

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data yang diperlukan. Variasi perbandingan campuran bahan pembuat batako tanpa pozzolan pada penelitian ini adalah :

- 1 semen : 3 pasir : 0 lumpur
- 1 semen : 2 pasir : 1 lumpur
- 1 semen : 1 pasir : 2 lumpur
- 1 semen : 0 pasir : 3 lumpur

Untuk batako dengan penambahan pozzolan, variasi komposisi yang digunakan sama dengan yang ditunjukkan diatas hanya mengganti 20% fly ash dan 20% abu ampas tebu dari bagian semen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa : (1) Penggunaan lumpur sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan berpengaruh buruk terhadap uji syarat mutu batako dan uji leaching yang dihasilkan. (2) Komposisi batako dengan pemakaian satu bagian lumpur dengan penambahan fly ash memiliki kualitas terbaik dan memenuhi syarat mutu SNI 03-0349-1989 untuk tipe IV dengan kuat tekan 22,06 kg/cm², sehingga fly ash merupakan pozzolan buatan yang lebih baik dari abu ampas tebu. (3) Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dihasilkan setiap harinya dapat 100% dimanfaatkan sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako dengan jumlah batako yang dihasilkan 314 buah. Hasil uji leaching logam berat pada semua batako yang dihasilkan dalam penelitian ini masih berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang diijinkan.

Kata Kunci : Lumpur, Pozzolan, Batako, Tampak luar, Kuat Tekan, Penyerapan Air, Leaching

Novita, D., Sotang, R., Sudiro, 2006. **The Study Exploiting of ILPC Sludge at Dr. Saiful Anwar Malang Hospital as One of Basic Material for Concrete Brick Preparation Through The Usage of Fly Ash and Sugarcane Dregs Ash as Pozzolan.** Thesis, Environment Engineering Specialty, National Technology Institute of Malang.

ABSTRACT

Sludge of IPLC at Dr. Saiful Anwar Malang Hospital develops from every process involved in the processing. This sludge refers to side product of liquid waste processing being as merely waste and trouble source for environment, such as causing unpleasant smell from organic substance decomposition. Dr. Saiful Anwar Malang Hospital has conducted sludge processing through incinerator burning. Incinerator burning only changes sludge form into ash that also becomes merely waste and only reduces incinerator fuel. This processing seems less than satisfied and needs for further solution against this problem. The thesis, therefore, explains on research to use the sludge as one of basic material in the concrete brick production. Research also attempts to apply artificial pozzolan compound. Pozzolan remains as the attaching compound contained substances functioned as increasing concrete brick strength and as substitution for any part of cement. Artificial pozzolan used in this research constitutes as industrial waste: fly ash from PLTU Paiton being as waste of core burning and sugarcane waste ash from PG. Kebon Agung Malang being as waste of sugarcane dregs burning.

Research method considers experimental research conducted in laboratory to collect the expected data. Comparison variation from mixed material for concrete brick without pozzolan includes:

- 1 cement : 3 sands : 0 sludge
- 1 cement : 2 sands : 1 sludge
- 1 cement : 1 sands : 2 sludges
- 1 cement : 0 sands : 3 sludges

To the concrete brick with added pozzolan, composition variation seems similar to the variation showed only by changing 20 % fly ash and 20 % sugarcane dregs ash from cement part.

Results of research indicate that: (1) Usage of sludge as one material in concrete brick preparation through the usage of fly ash and sugarcane dregs ash as pozzolan given bad effect remains prominent on concrete brick quality condition test and leaching tes. (2) Concrete brick composition through using one part of sludge and additional fly ash has had the best quality and complied with quality condition of SNI 03-0349-1989 for IV type and compression strength of 22.06 kg/cm², where fly ash becomes better artificial pozzolan than sugarcane dregs ash. (3) Daily produced IPLC sludge from Dr. Saiful Anwar Malang Hospital can be 100 % beneficial as one of basic material for concrete brick preparation yielding at 314 pieces. Result of heavy metal leaching test on all concrete brick produced in this research still stands under permitted quality standard of TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) test.

Keywords: Sludge, Pozzolan, Concrete Brick, Outside Appearance, Compression Strength, Absorption, Leaching

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan kasih dan berkat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ***“Studi Pemanfaatan Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang sebagai Salah Satu Bahan Dasar Pembuatan Batako dengan Pemanfaatan Fly Ash dan Abu Ampas Tebu sebagai Pozzolan ”*** ini tepat pada waktunya.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) di Institut Teknologi Nasional Malang Jurusan Teknik Lingkungan.

Dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Sudiro, ST. MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang dan selaku dosen pembimbing II.
2. Bapak Ir. Raphael Sotang, selaku dosen pembimbing I.
3. Ibu Anis Artiyani, ST., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
4. Dosen-dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Lingkungan ITN Malang.
5. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan '01 dan semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan laporan skripsi ini.

Kesadaran akan masih banyaknya kekurangan yang ada pada laporan skripsi 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, September 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSEMBAHAN	
ABSTRAKS	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Ruang Lingkup Penelitian	4
1.7. Hipotesis Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Bata Beton Berlubang	6
2.1.1. Umum	6
2.1.2. Klasifikasi Batako	6
2.1.3. Pembuatan Batako	7
2.1.4. Syarat Mutu Batako	7
2.1.5. Keuntungan Penggunaan Batako	8
2.2. Bahan-Bahan Penyusun Batako	8
2.2.1. Semen Portland	8
2.2.1.1. Definisi Semen Portland	8
2.2.1.2. Komposisi Kimia Semen Portland	9
2.2.1.3. Hidrasi Semen Portland	13
2.2.2. Agregat	18

2.2.2.1. Definisi Agregrat	18
2.2.2.2. Klasifikasi Agregrat	18
2.2.2.3. Syarat Mutu Agregrat	18
2.2.2.4. Agregrat Pembentuk Beton	19
2.2.3. Air	20
2.3. Pozzolan	21
2.3.1. Definisi Pozzolan	21
2.3.2. Klasifikasi Pozzolan	21
2.3.3. Spesifikasi Mutu Pozzolan	22
2.3.4. Kegunaan dan Pengaruh Pozzolan	23
2.3.5. Fly Ash	23
2.3.6. Abu Ampas Tebu	24
2.4. Curing	25
2.4.1. Definisi	25
2.4.2. Tujuan Curing	25
2.5. Lumpur	26
2.5.1. Karakteristik Lumpur	26
2.5.1.1. Berat Jenis	27
2.5.1.2. Komposisi Kimia	28
2.5.1.3. Komposisi Biologi	30
2.6. Pengolahan Limbah Cair RS Dr. Saiful Anwar Malang	31
2.7. Logam Berat	34
2.7.1. Timbal (Pb)	35
2.7.1.1. Umum	35
2.7.1.2. Bahaya dari Pb	35
2.7.1.3. Tingkat Pb Normal dalam Tubuh	36
2.7.2. Chromium (Cr)	36
2.7.2.1. Umum	36
2.7.2.2. Bahaya dari Cr	36
2.8. Metode Pengolahan Data	37
2.8.1. Statistik Deskriptif	37
2.8.2. Statistik Inferensi	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	43
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.2. Variasi Penelitian	43

3.3. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	44
3.3.1. Analisa Pendahuluan	44
3.3.2. Persiapan Penelitian	45
3.3.3. Proses Pembuatan Batako	45
3.3.4. Uji Syarat Mutu Batako	48
3.4. Analisa Data	48
3.5. Kerangka Penelitian	50
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1. Hasil Analisa Pendahuluan	51
4.2. Hasil Penelitian Uji Syarat Mutu Batako	51
4.2.1. Hasil Penelitian Uji Tampak Luar Batako	51
4.2.2. Hasil Penelitian Uji Kuat Tekan Batako	55
4.2.3. Hasil Penelitian Uji Penyerapan Air Batako	56
4.2.4. Hasil Penelitian Uji Leaching Batako	57
4.3. Analisa Uji Syarat Mutu Batako tanpa Pozzolan	59
4.3.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako	59
4.3.1.1. Analisa Deskriptif	59
4.3.1.2. Analisa Korelasi	59
4.3.1.3. Analisa Regresi	60
4.3.1.4. Analisa ANOVA	61
4.3.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako	62
4.3.2.1. Analisa Deskriptif	62
4.3.2.2. Analisa Korelasi	63
4.3.2.3. Analisa Regresi	64
4.3.2.4. Analisa ANOVA	65
4.3.3. Analisa Uji Leaching Batako	66
4.3.3.1. Analisa Deskriptif	66
4.3.3.2. Analisa Korelasi	67
4.3.3.3. Analisa Regresi	67
4.3.3.4. Analisa ANOVA	70
4.4. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako tanpa Pozzolan ..	72
4.4.1. Uji Tampak Luar Batako	72
4.4.2. Uji Kuat Tekan Batako	73
4.4.3. Uji Penyerapan Air Batako	75
4.4.4. Uji Leaching Batako	77

4.5. Analisa Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Fly Ash	81
4.5.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako	81
4.5.1.1. Analisa Deskriptif	81
4.5.1.2. Analisa Korelasi	81
4.5.1.3. Analisa Regresi	82
4.5.1.4. Analisa ANOVA	83
4.5.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako	84
4.5.2.1. Analisa Deskriptif	84
4.5.2.2. Analisa Korelasi	85
4.5.2.3. Analisa Regresi	86
4.5.2.4. Analisa ANOVA	87
4.5.3. Analisa Uji Leaching Batako	88
4.5.3.1. Analisa Deskriptif	88
4.5.3.2. Analisa Korelasi	89
4.5.3.3. Analisa Regresi	90
4.5.3.4. Analisa ANOVA	93
4.6. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Fly Ash	94
4.6.1. Uji Tampak Luar Batako	94
4.6.2. Uji Kuat Tekan Batako	95
4.6.3. Uji Penyerapan Air Batako	98
4.6.4. Uji Leaching Batako	100
4.7. Analisa Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	104
4.7.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako	104
4.7.1.1. Analisa Deskriptif	104
4.7.1.2. Analisa Korelasi	104
4.7.1.3. Analisa Regresi	105
4.7.1.4. Analisa ANOVA	106
4.7.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako	107
4.7.2.1. Analisa Deskriptif	107
4.7.2.2. Analisa Korelasi	108
4.7.2.3. Analisa Regresi	109
4.7.2.4. Analisa ANOVA	110

4.7.3. Analisa Uji Leaching Batako	111
4.7.3.1. Analisa Deskriptif	111
4.7.3.2. Analisa Korelasi	112
4.7.3.3. Analisa Regresi	112
4.7.3.4. Analisa ANOVA	116
4.8. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	117
4.8.1. Uji Tampak Luar Batako	117
4.8.2. Uji Kuat Tekan Batako	118
4.8.3. Uji Penyerapan Air Batako	120
4.8.4. Uji Leaching Batako	122
4.9. Menentukan Komposisi Terbaik	125
4.10. Analisa Kelayakan Lingkungan	126
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	128
5.1. Kesimpulan	128
5.2. Saran	129
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Ukuran Toleransi Bata Beton Berlubang	7
Tabel 2.2.	Syarat Fisis Bata Beton Berlubang	7
Tabel 2.3.	Komposisi Bahan Baku Semen	9
Tabel 2.4.	Penggunaan dan Karakteristik Tipe Semen Portland	11
Tabel 2.5.	Persyaratan Mutu Semen Portland	12
Tabel 2.6.	Spesifikasi Teknis Semen Gresik Type I	12
Tabel 2.7.	Spesifikasi Agregrat yang Digunakan dalam Beton	19
Tabel 2.8.	Spesifikasi Mutu Pozzolan	22
Tabel 2.9.	Spesifikasi Mutu Fisik Pozzolan	22
Tabel 2.10.	Hasil Analisa Kimia Fly Ash PLTU Paiton	24
Tabel 2.11.	Komposisi Senyawa Kimia Abu Ampas Tebu	24
Tabel 2.12.	Berat Jenis dan Jumlah Produksi Lumpur dari Berbagai Proses dan Operasi Pengolahan Limbah Cair	27
Tabel 2.13.	Komposisi Kimia Lumpur yang Belum Diolah dan yang Sudah Melewati Proses Pengolahan	28
Tabel 2.14.	Konsentrasi Logam yang Terkandung dalam Lumpur Air limbah	29
Tabel 2.15.	Konsentrasi BOD dan Suspended Solid dari Berbagai Fasilitas yang Memproses Lumpur	30
Tabel 2.16.	Koefisien Korelasi <i>Guilford</i>	40
Tabel 3.1.	Komposisi Bahan Pembuatan Batako tanpa Pozzolan ..	43
Tabel 3.2.	Komposisi Bahan Pembuatan Batako dengan Penambahan Fly Ash	43
Tabel 3.3.	Komposisi Bahan Pembuatan Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	44
Tabel 4.1.	Kualitas Awal Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang	51
Tabel 4.2.	Data Tampak Luar Batako tanpa Pozzolan	52
Tabel 4.3.	Data Tampak Luar Batako dengan Penambahan Fly Ash	53
Tabel 4.4.	Data Tampak Luar Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	54

Tabel 4.5.	Nilai Kuat Tekan Batako tanpa Pozzolan	55
Tabel 4.6.	Nilai Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Fly Ash	55
Tabel 4.7.	Nilai Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	55
Tabel 4.8.	Nilai Penyerapan Air Batako tanpa Pozzolan	56
Tabel 4.9.	Nilai Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Fly Ash	56
Tabel 4.10.	Nilai Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	56
Tabel 4.11.	Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako tanpa Pozzolan	57
Tabel 4.12.	Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako dengan Penambahan Fly Ash	57
Tabel 4.13.	Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Hasil Proses Hidrasi Semen Portland	16
Gambar 2.2.	Perkembangan Mikrostruktur pada Proses Hidrasi Semen	17
Gambar 2.3.	Diagram Wastewater Treatment	31
Gambar 2.4.	Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen	34
Gambar 2.5.	Diagram Kontrol Shewhart	38
Gambar 3.1.	Skema Proses Pembuatan Batako	47
Gambar 3.2.	Kerangka Penelitian	50
Gambar 4.1.	Grafik Kuat Tekan Batako tanpa Pozzolan	59
Gambar 4.2.	Grafik Penyerapan Air Batako tanpa Pozzolan	63
Gambar 4.3.	Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako tanpa Pozzolan	66
Gambar 4.4.	Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen	78
Gambar 4.5.	Grafik Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Fly Ash	81
Gambar 4.6.	Grafik Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Fly Ash	85
Gambar 4.7.	Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako dengan Penambahan Fly Ash	89
Gambar 4.8.	Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen	102
Gambar 4.9.	Grafik Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	104
Gambar 4.10.	Grafik Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu	108
Gambar 4.11.	Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu .	111
Gambar 4.12.	Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen	124

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran I** Cara Kerja Syarat Uji Syarat Mutu Batako
- Lampiran II** Hasil Uji Syarat Mutu Batako
- Lampiran III** SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk Pasangan Dinding dan Baku Mutu Uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi)
- Lampiran IV** Data Analisa Statistik
- Lampiran V** Dokumentasi Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengolahan air limbah di rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang telah dilaksanakan dengan membangun suatu Instalasi Pengolahan Limbah Cair (IPLC). Tujuan dari pengolahan tersebut adalah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan sehingga air limbah yang dibuang ke badan air penerima memenuhi standar yang berlaku.

IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang terdiri dari pengolahan fisik, kimia dan biologis. Dari pengolahan tersebut memberikan hasil buangan berupa lumpur. Sistem pengolahan lumpur di IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang adalah *Sludge Dewatering* dengan menggunakan alat saringan bertekanan (*Filter Presser*). Sampai saat ini lumpur yang dihasilkan cukup besar dengan kuantitas $\pm 0,5 \text{ m}^3$ per hari dan masih mengandung beberapa logam berat meskipun dalam jumlah kecil (Pb,Cr).

Lumpur yang merupakan hasil samping dari pengolahan air limbah umumnya dibuang percuma dan masih menimbulkan masalah bagi lingkungan, seperti timbulnya bau hasil penguraian zat organik yang sangat menusuk hidung. Untuk itu perlu pengolahan lebih lanjut agar bisa dimanfaatkan secara maksimal sesuai konsep *zero waste*. Konsep tersebut merupakan teknologi tepat guna yang meliputi teknologi pengomposan sampah organik, teknologi daur ulang sampah non organik, teknologi pembakaran sampah dengan incinerator dan teknologi *sanitary landfill*. Beberapa alternatif pemanfaatan lumpur antara lain :

- Pemanfaatan gas metan (CH_4) yang terkandung dalam lumpur sebagai sumber pembangkit energi panas melalui proses stabilisasi lumpur secara anaerobik.
- Penebaran lumpur dengan ketebalan tertentu diatas tanah pertanian agar diperoleh produksi pertanian yang maksimum.
- Sebagai penimbun tanah dan mengurangi genangan air pada daerah pembuangan sampah secara *sanitary landfill*.
- Pemanfaatan lainnya adalah sebagai tanah urug untuk keperluan jalan raya maupun untuk konstruksi.

Selama ini rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang melakukan proses pengolahan lumpur dengan pembakaran dalam incinerator. Hasil pembakaran incinerator hanya merubah bentuk lumpur menjadi abu yang selanjutnya dibuang dan hanya menghabiskan bahan bakar incinerator. Pengolahan tersebut tentu belum optimal dan perlu adanya upaya terobosan untuk mengatasi masalah tersebut.

Dengan latar belakang permasalahan tersebut, muncul ide untuk melakukan suatu studi bagaimana memanfaatkan kembali lumpur sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako, melihat banyaknya kandungan zat padat dalam lumpur sehingga akan diperoleh dua keuntungan pokok sekaligus. Pertama dari segi ekonomi, disamping cara ini merupakan deversifikasi produk, cara ini juga dapat membuka kesempatan kerja bagi masyarakat atau bahkan dapat melahirkan industri-industri kecil penghasil batako berbahan baku limbah. Sedangkan dari segi pemeliharaan kelestarian lingkungan, cara alternatif ini jelas merupakan salah satu upaya penciptaan konsep *zero waste* di lingkungan. Disamping itu, penelitian ini berusaha memanfaatkan senyawa pozzolan buatan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa pengikat seperti semen yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan batako dan sebagai pengganti sebagian jumlah semen. Bahan buatan yang dipakai dalam penelitian ini merupakan limbah buangan industri dengan kandungan silika (Si_2O_3) dan atau alumina (Al_2O_3) tinggi yang bersifat pozzolan, yaitu :

- Fly ash (abu terbang) PLTU Paiton yang merupakan limbah dari pembakaran batubara.
- Abu ampas tebu PG. Kebon Agung Malang yang merupakan limbah dari pembakaran ampas tebu.

1.2. Permasalahan

Umumnya IPLC memang memiliki masalah dengan lumpur yang dihasilkan dan perlu dilakukan upaya untuk memanfaatkan lumpur tersebut menjadi suatu yang lebih berguna dan tidak membahayakan lingkungan. Akhir-akhir ini banyak usaha untuk memanfaatkan limbah menjadi sesuatu yang lebih berdayaguna, disamping juga berusaha mengurangi tingkat pencemaran lingkungan. Oleh sebab itu dari permasalahan lumpur yang ada di RS Dr. Saiful Anwar Malang akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang sebagai salah satu bahan

dasar pembuatan batako dengan pemanfaatan fly ash (abu terbang) dan abu ampas tebu sebagai pozzolan buatan.

Batako yang diinginkan adalah batako yang ramah lingkungan, dimana setelah menjadi batako tidak menimbulkan permasalahan terhadap kesehatan manusia pada khususnya dan lingkungan pada umumnya.

1.3. Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat pengaruh penggunaan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang sebagai salah satu bahan pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan pada uji syarat mutu batako dan uji leaching logam berat?
2. Berapakah komposisi lumpur yang menghasilkan batako dengan kualitas terbaik dan jenis pozzolan buatan manakah yang terbaik sebagai campuran semen.
3. Berapa persentase jumlah lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan batako dan apakah ada kadar logam berat dalam batako yang melebihi ambang batas yang dapat mencemari lingkungan.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang sebagai salah satu bahan pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan pada uji syarat mutu batako dan uji leaching logam berat.
2. Mengetahui alternatif komposisi bahan-bahan pembuat batako dan jenis pozzolan buatan yang terbaik sehingga dapat dihasilkan batako dengan kualitas yang baik.
3. Mengetahui persentase jumlah lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan batako dan mengetahui kadar logam berat dalam batako yang mungkin melebihi ambang batas yang dapat mencemari lingkungan.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan bagi para penulis, para pembaca dan juga bagi para pemerhati lingkungan tentang suatu alternatif pengelolaan lingkungan dengan cara *reuse* (penggunaan kembali) lumpur hasil pengolahan air limbah.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini meliputi hal-hal berikut :

- Lumpur yang digunakan adalah lumpur dari IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang.
- Semen yang digunakan adalah semen type I.
- Agregat halus dalam penelitian ini adalah pasir yang berasal dari kabupaten Lumajang dengan kualitas bagus.
- Menggunakan air dari PDAM untuk pencampuran bahan-bahan pembuatan batako.
- Digunakan 2 jenis pozzolan buatan sebagai pengganti sebagian jumlah semen yaitu : fly ash (abu terbang) dan abu ampas tebu.
- Variasi penelitian yang dilakukan adalah :
 - Variasi komposisi pasir dan lumpur.
 - Penambahan tiap jenis pozzolan pada semen dalam komposisi tertentu (20% dari bagian semen).
- Uji syarat mutu batako yang dilakukan meliputi :
 - Uji tampak luar
 - Uji kuat tekan
 - Uji penyerapan air
 - Uji leaching
- Metode pembuatan batako dibuat sesuai dengan standar pembuatan batako.

1.7. 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 hipotesis yaitu :

1. Hipotesis nol (H_0) yaitu menyatakan tidak adanya pengaruh penggunaan lumpur sebagai salah satu bahan pembuatan batako dengan penggunaan fly

ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan terhadap uji syarat mutu batako dan uji leaching.

2. Hipotesis alternatif (H_a) yaitu menyatakan adanya pengaruh penggunaan lumpur sebagai salah satu bahan pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan terhadap uji syarat mutu batako dan uji leaching.

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

“Terdapat pengaruh penggunaan lumpur sebagai salah satu bahan pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan terhadap uji syarat mutu batako dan uji leaching”

Sehingga hipotesis statistiknya dapat dirumuskan :

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

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. Bata Beton Berlubang (Batako)

2.1.1. Umum

Bata beton berlubang adalah bata yang dibuat dari campuran bahan perekat hidrolis atau sejenisnya ditambah dengan agregat halus dan air dengan atau tanpa bahan pembantu lainnya dan mempunyai luas penampang lubang lebih dari 25% luas penampang batanya dan isi lubang lebih besar dari 25% isi batanya (SNI 04-1989). Batako merupakan tipe bahan bangunan yang dipergunakan untuk pemasangan dinding yang bersifat ekonomis, cepat pemasangannya dan penggunaan bahan sedikit. Batako mempunyai berbagai macam bentuk dan ukuran sehingga mudah untuk menyesuaikan dengan bentuk-bentuk arsitektur yang ada. Batako juga dapat digunakan untuk meredam suara dan juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca serta mempunyai ketahanan terhadap api.

2.1.2. Klasifikasi Batako

Menurut SNI 04-1989 batako diklasifikasikan sesuai dengan pemakaiannya sebagai berikut :

- a. Batako mutu I, adalah batako yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban dan bisa digunakan pula untuk konstruksi yang tidak terlindungi (di luar atap).
- b. Batako mutu II, adalah batako yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindungi dari cuaca luar (untuk konstruksi di bawah atap)
- c. Batako mutu III, adalah batako yang hanya digunakan untuk hal-hal seperti yang tersebut dalam mutu IV hanya permukaan dinding/konstruksi dari batako tersebut boleh tidak diplester.
- d. Batako mutu IV, adalah batako yang dipergunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat serta konstruksi lainnya yang selalu terlindungi dari hujan dan terik matahari (di bawah atap).

2.1.3. Pembuatan Batako

Pembuatan batako dapat dilakukan dengan cara manual atau dengan bantuan mesin. Batako dibuat dengan mencetak campuran pasir dan semen portland yang lembab memakai cetakan dengan pemampatan secara dipukul-pukul dengan tangan atau menggunakan alat. Setelah melalui proses pemeliharaan di udara ruangan selama 4 (empat) minggu, maka batako siap untuk dipakai (Nurhaida E, 1995).

2.1.4. Syarat Mutu Batako

Dalam pembuatan batako harus memenuhi syarat mutu yang ditetapkan menurut SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk Pasangan Dinding, yaitu :

1. Tampak luar
 - Bidang permukaannya tidak cacat.
 - Bentuk permukaan lain yang didesain, diperbolehkan.
 - Rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain dan sudut rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.
2. Ukuran dan toleransi bata beton berlubang, adapun ukuran ini sebagaimana terlihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1. Ukuran Toleransi Bata Beton Berlubang

Jenis berlubang	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
Kecil	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	100 ± 2
Besar	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	200 ± 3

3. Syarat fisis

Bata beton harus memenuhi syarat-syarat fisis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2. Syarat Fisis Bata Beton Berlubang

Syarat Fisis	Satuan	Tingkat mutu bata beton berlubang			
		I	II	III	IV
1. Kuat tekan bruto* rata-rata min	Kg/cm ²	70	50	35	20
2. Kuat tekan bruto masing-masing benda uji min	Kg/cm ²	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata-rata maks	%	25	35	-	-

* Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda uji pecah dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata, termasuk luas lubang serta cekungan tepi.

2.1.5. Keuntungan Penggunaan Batako

Keuntungan menggunakan batako sebagai dinding atau penyekat ruangan adalah:

- a. Tiap m² pasangan tembok membutuhkan lebih sedikit batako dibandingkan dengan bata merah, berarti secara kuantitatif terdapat suatu penghematan.
- b. Terdapat pula penghematan dalam pemakaian adukan sampai 75%.
- c. Beratnya tembok diperingan sampai dengan 50%, dengan demikian juga pondasinya bisa berkurang.
- d. Bentuknya yang bermacam-macam memungkinkan variasi-variasi yang cukup, dan jika kualitas batako baik, tembok tidak perlu diplester sudah cukup menarik.

(Heinz Frick, 1980)

2.2. Bahan-Bahan Penyusun Batako

2.2.1. Semen Portland

2.2.1.1. 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, 2003) 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 (CaSO₄) kira-kira 2 – 4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain kadang-kadang diberikan pula untuk membentuk semen khusus, misalnya : kalsium klorida ditambahkan untuk menjadikan semen yang cepat mengeras. Berat jenis semen berkisar pada 3,15 gr/cm³. Berat jenis digunakan dalam hitungan perbandingan campuran (Kardiyono T, 1996).

2.2.1.2. 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 2.3. Oksida-oksida tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Tabel 2.3. Komposisi Bahan Baku Semen

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

Sumber : Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996

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

- a. Trikalsium silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂
- b. Dikalsium silikat (C₂S) atau 2CaO.SiO₂
- c. Trikalsium aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃
- d. Tetrakalsium aluminoforit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃

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

- C₃S kadar dalam semen 58 – 69%
- C₂S kadar dalam semen 8 – 15 %
- C₃A kadar dalam semen 2 – 12%
- C₄AF kadar dalam semen 6 – 14%

Masing-masing sifat dari komponen diatas adalah sebagai berikut:

1. Trikalsium silikat (C₃S)
 - 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 Anhydrite*), 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 2.4. 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

Sedangkan persyaratan mutu semen Portland dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. 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 2.6. 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)	≥ 45	≥ 45	148
Waktu pengikatan dengan alat Vicat:	≤ 375	≤ 375	245
- Awal (menit)			
- Akhir (menit)			
Kekekalan dengan alat autoclave :	$\leq 0,80$	$\leq 0,80$	0,060
- Pemuaian (%)	-	-	-
- 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

2.2.1.3. 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 (Nurhaida E, 1995). 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 gell*". Adapun sebagian besar senyawa hidrat tersebut adalah :

- Kalsium Silikat Hidrat ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$)
- Kalsium Hidroksida ($Ca(OH)_2$)
- Kalsium Aluminat Hidrat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$)

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 gel" 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 permukaannya 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 permukaannya, makin besar air yang terserap dan makin cepat reaksi hidrasi berlangsung.

4. Perbandingan Jumlah Air Semen

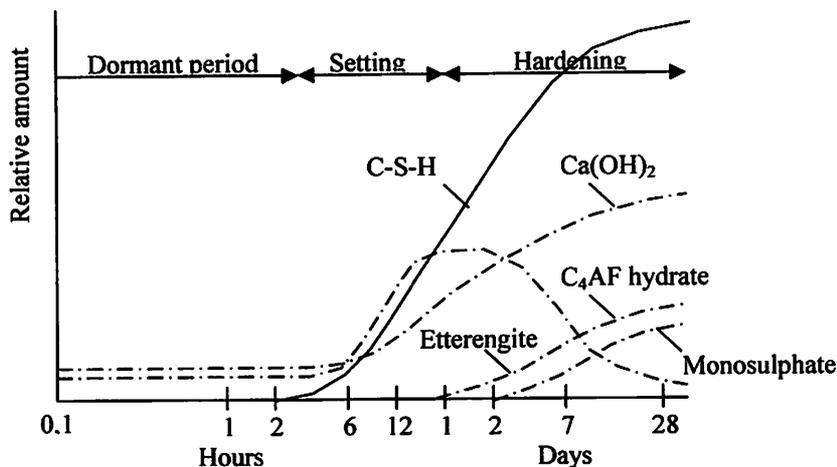
Proses hidrasi semen portland agar sempurna secara teoritis memerlukan air sebanyak 20% volume semen. Apabila perbandingan jumlah air dan semen (FA/C) lebih rendah dari 0,4 maka proses hidrasi tidak akan berjalan secara penuh. Pada hidrasi tahap awal, makin rendah perbandingan jumlah air dan semen, makin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

5. Temperatur

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

6. Admixture

Seperti kita ketahui bahwa penambahan 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 2.1. 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).

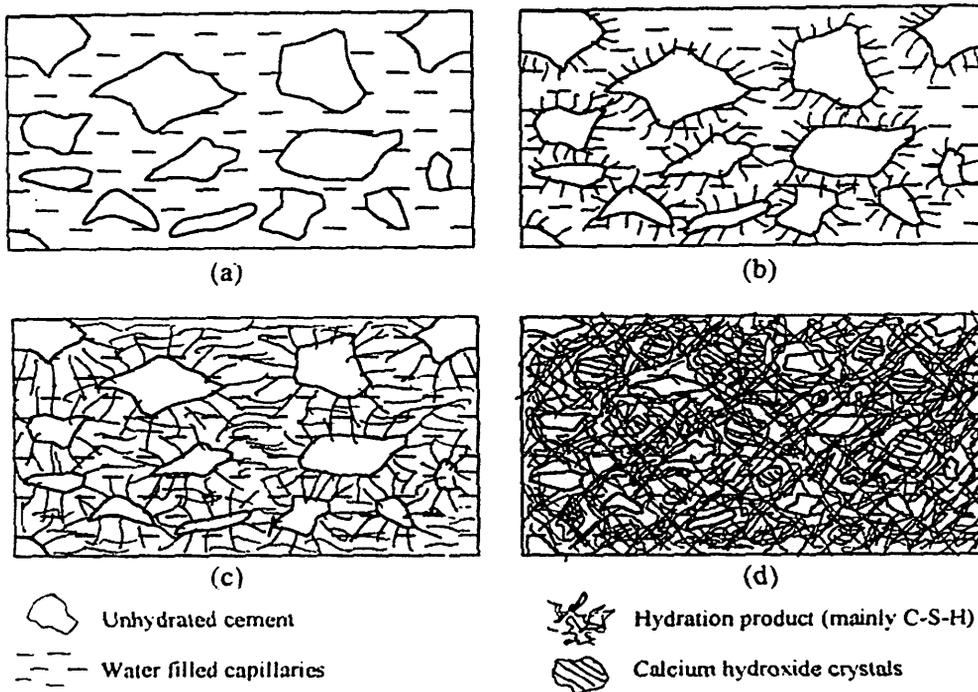
Apabila ditambahkan pozzolan ke dalam semen tersebut, senyawa silika dan alumina yang terkandung dalam bahan pozzolan akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 membentuk kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat. Kalsium silikat hidrat dan kalsium aluminat hidrat merupakan pemegang peranan utama dalam pengerasan semen, sehingga sifat ketahanan kimia dari beton akan meningkat dan pemekaran akan berkurang dan diharapkan kekuatan beton juga akan bertambah (Nurhaida E, 1995).

Pada gambar 2.2 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 2.2. Perkembangan Mikrostruktur pada Proses Hidrasi Pasta Semen

2.2.2. Agregat

2.2.2.1. 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)

2.2.2.2. 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.

2.2.2.3. 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 2.7. 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 Na ₂ O 0,6 %	-			
7.	Batuan pipih (% berat)	-		< 20 %	
8.	Susunan grading	BS 882.1983	ASTM C33	BS 882.1983	ASTM C33

2.2.2.4. 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.

2.2.3. 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 batako 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 batako menjadi rendah dan lebih berpori.

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

2.3. Pozzolan

2.3.1. 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).

2.3.2. 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, microsilica, 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.

2.3.3. 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 2.8 berikut :

Tabel 2.8. 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 2.9.

Tabel 2.9. Spesifikasi Mutu Fisik Pozzolan

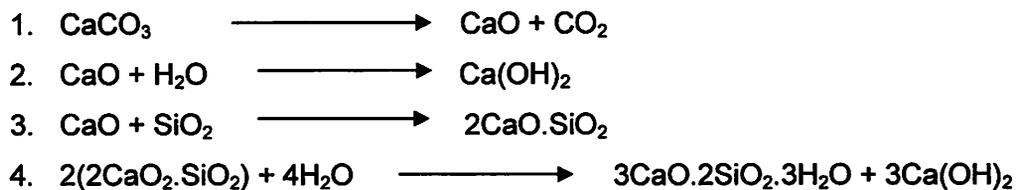
Sifat Fisik	N	C	F
Kehalusn (% tertahan ayakan No. 325)	34	34	34
Pozzolan Activity Index with Portland Cement pada 28 hari (min)	75	75	75
Kebutuhan air max (% dari kontrol)	115	105	105

2.3.4. 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 :



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.

2.3.5. 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 μm). 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 2.10.

Tabel 2.10. 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 dalam Lili Suryanti, 2006

2.3.6. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu adalah abu sisa dari hasil pembakaran ampas tebu. Dari pengujian untuk menentukan kadar air dan berat jenis abu ampas tebu oleh Ir. I Made Sutresna, MT dan Dr.Ir Surgo Hapsono TU, diperoleh kadar air sebesar 1,40% dan berat jenis 1,52 gr/cm^3 . Kemudian berdasarkan hasil uji senyawa kimia yang dilakukan di laboratorium Vulkanologi Yogyakarta didapat kandungan senyawa kimia abu ampas tebu seperti pada tabel 2.11.

Tabel 2.11. Komposisi Senyawa Kimia Abu Ampas Tebu

Senyawa Kimia	Kandungan (%)
Silikon Dioksida (SiO_2)	30 - 40
Aluminium Oksida (Al_2O_3)	6,74
Feri oksida (Fe_2O_3)	8,50
Natrium Dioksida (Na_2O)	1,10
Kalsium Oksida (CaO)	6,51
Magnesium Oksida (MgO)	2,44

Potash (K_2O)	2,62
Phospor Oksida (P_2O_5)	0,75
Mangan Oksida (MnO)	0,18
Timbal Dioksida (TiO_2)	2,02
H_2O	1,44
HD	8,17

HD : merupakan berat sisa dari hasil pembakaran pada suhu lebih dari $900^{\circ}C$.

Sumber : *Sutresna Made, Hapsono Suryo (2001)*

Abu ampas tebu digunakan sebagai bahan campuran semen dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Memberikan nilai tambah pada abu ampas tebu.
2. Memperkecil biaya untuk kebutuhan semen.
3. Meningkatkan pembangunan berwawasan lingkungan.

Pada penelitian ini digunakan abu ampas tebu yang berasal dari hasil pembakaran ampas tebu di pabrik gula Kebon Agung Malang.

2.4. Curing

2.4.1. Definisi

Pengertian curing menurut (Neville, 1981 dalam Evy Triani, 2003)) adalah cara-cara yang digunakan untuk meningkatkan proses hidrasi semen, dimana didalamnya termasuk pengaturan, perubahan suhu dan kelembaban. Sedangkan menurut (Taylor, 1977 dalam Evy Triani, 2003) menyatakan bahwa curing adalah suatu prosedur atau perawatan untuk meningkatkan proses pengerasan beton pada suhu dan kelembaban tertentu agar perkembangan pengikatan dari bahan penyusun semen berlangsung sempurna.

2.4.2. Tujuan Curing

Didalam penentuan kualitas beton, curing sangat berperan dalam penilaian mutu beton, dimana semakin sempurna curing maka makin bagus mutu beton yang diperoleh. Tujuan dari curing adalah untuk mencegah kehilangan kelembaban yang diperlukan selama proses hidrasi berlangsung guna meningkatkan kuat tekan, durabilitas, impermeabilitas, ketahanan abrasi dan kestabilan bentuk secara umum. Teknik curing diantaranya meliputi :

1. Beton disimpan di dalam ruangan yang lembab.
2. Beton dibasahi terus-menerus.

3. Beton direndam air.
4. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastik atau kertas perawatan tahan air.
5. Dengan perawatan gabungan acuan membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton basah.

Dalam penelitian ini sistem curing yang dipakai adalah dengan menyimpan batako di dalam ruangan yang lembab.

2.5. Lumpur

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.

2.5.1. Karakteristik Lumpur

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.

2.5.1.1. 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 2.12. 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

2.5.1.2. 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* 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* 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 2.13.

Tabel 2.13. 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)					
Eter terlarut	6-30	-	5-20	18	-
Eter ekstraks	7-35	-	-	-	5-12
Protein (% dari TS)	20-30	25	15-20	18	32-41
Nitrogen (N, % dari TS)	1,5-4	2,5	1,6-6,0	3,0	2,4-5,0
Pospat (P_2O_5 , % dari TS)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Potas (K_2O , % dari TS)	0-1	0,4	0,0-3,0	1,0	0,5-0,7
Selulosa (% dari TS)	8,0-15,0	10,0	8,0-15,0	10,0	-

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

Sumber : Metcalf & Edy, 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 2.14.

Tabel 2.14. 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

2.5.1.3. Komposisi Biologi

Kemampuan pengolahan lumpur secara biologis tergantung dari kandungan organik yang ada, dengan tersedianya nutrisi dan faktor toksisitas mineral dalam lumpur. Pengolahan lumpur seperti sedimentasi dan pengolahan biologis biasanya dilengkapi dengan pertimbangan penghilangan patogen yang terkandung dalam lumpur. *Keblor, 1959* 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 2.15.

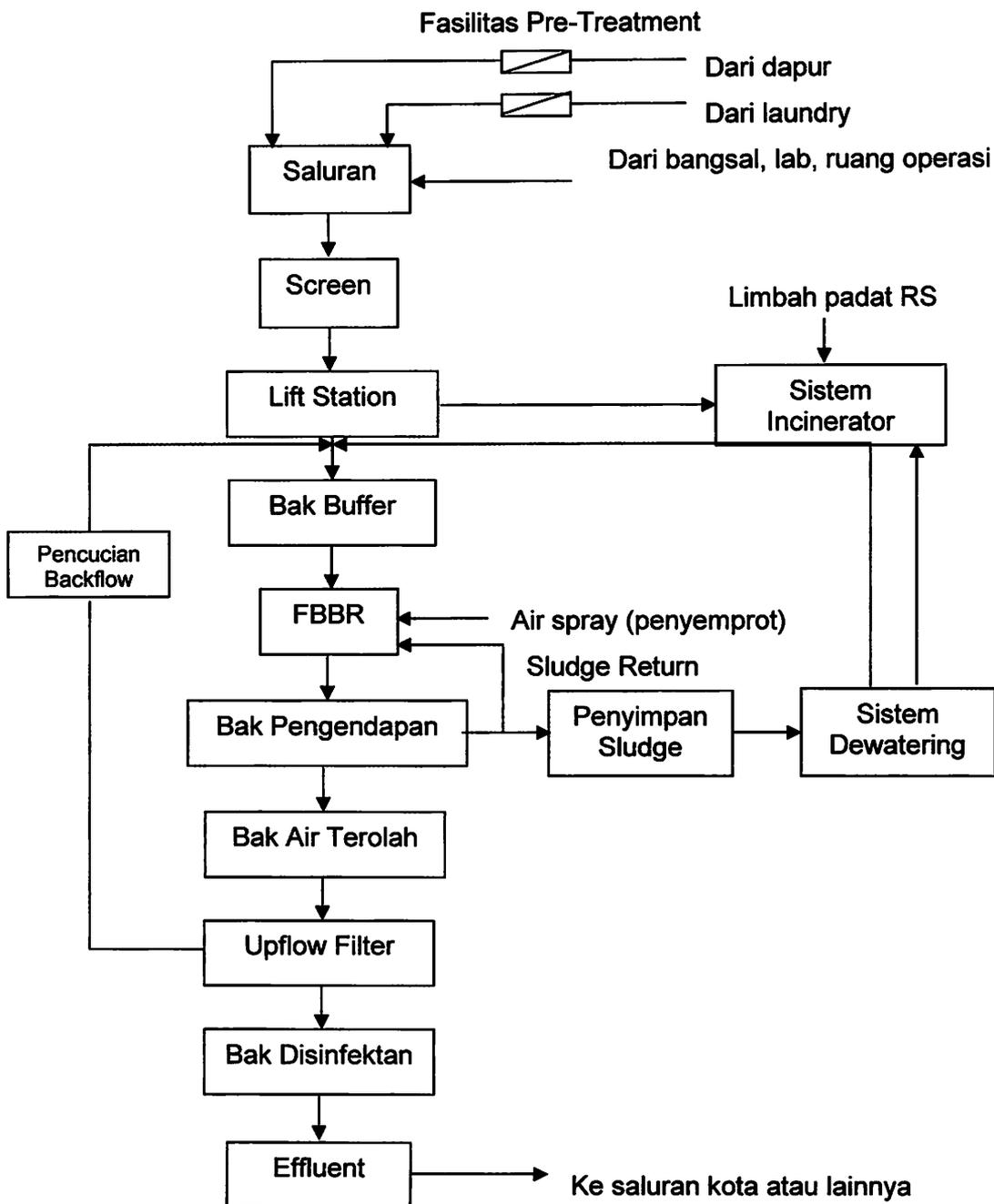
Tabel 2.15. Konsentrasi BOD dan Suspended Solid dari Berbagai Fasilitas yang Memproses Lumpur

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				
Air activated sludge	400-1200	800	500-1500	800
Oxygen activated sludge	1200-1600	1400	1500-2000	1600
Anaerobic digestion				
Standard-rate type	500-1000	800	1000-5000	3000
High-rate type	2000-5000	4000	1000-10000	6000
Aerobic digestion	200-5000	500	1000-10000	3400
Heat treatment, top liquor or filtrate	3000-15000	7000	1000-5000	2000
Vacuum filtration				
Undigested sludge	500-5000	1000	1000-5000	2000
Digested sludge	500-5000	2000	1000-20000	4000
Centrifugation				
Undigested sludge	1000-10000	5000	2000-10000	5000
Digested sludge	1000-10000	5000	2000-15000	5000
Belt filter press				
Undigested sludge	50-500	300	200-2000	1000
Digested sludge	50-500	300	200-2000	1000

Sumber : *Metcalf & Eddy, 1991*

2.6. Pengolahan Limbah Cair RS Dr. Saiful Anwar Malang

Air limbah RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dihasilkan meliputi air limbah dapur, air limbah laundry, air limbah tangki septik, air limbah ruang otopsi kamar mayat dan lain-lain. Pengolahan air limbah tersebut telah dilaksanakan dengan menggunakan proses Fluidized Bed Biofilm, yang cocok dan sesuai dengan karakteristik air limbah dan kondisi sekitar fasilitas pembuangan. Adapun proses-proses yang terjadi di IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Diagram Wastewater Treatment

Adapun penjelasan dari masing-masing sistem adalah sebagai berikut :

1. Pre-Treatment (Pengolahan Pendahuluan)

Air limbah dari dapur dan laundry (pencucian) diolah awal untuk menghilangkan grease (lemak) dan busa dengan fasilitas pre-treatment seperti penangkap lemak.

2. Screen Facility (Fasilitas Penyaring)

Lift station merupakan tempat penampungan sementara dari influent air buangan. Dalam sistem ini, screen penggaruk (rake screen) dipasang untuk menyisihkan padatan tersuspensi secara otomatis diatas bak buffer. Setelah tertahan screen, material padat kemudian dibakar dalam incenerator. Influent air limbah akan diekualisasi dari beban polutan dan pencegahan penghancuran kandungan organik, pasir dan material yang dapat mengendap lainnya. HRT bak buffering (pengocokan dan pencampuran) dioperasikan untuk 24 jam serta dipasang mixer terendam (submersible mixer) dan pompa transfer.

3. Sistem FBBR

Fluidized Bed Bio-film Reaktor merupakan bagian utama dari HWWTP (Hospital Wastewater Treatment Plants) ini. Kira-kira 27% dari volume reaktor diisi dengan media mengapung (bio-green) dimana mikroba dibiakkan. Pertumbuhan tersuspensi dan pelekatan mikroorganisme biodegradasi polutan organik terlarut yang terkandung pada air limbah dan konsentrasi MLVSS dapat dipertahankan pada 300 mg/L.

4. Bak Pengendap

Air dan lumpur dari FBBR mengalir ke bak pengendap dimana terjadi proses pemisahan air dengan lumpur yang mengendap secara gravitasi. Lumpur dikumpulkan oleh settling sludge scrapper dimasukkan kedalam sludge hoper yang terdapat ditengah-tengah bak. Air over flow melalui weir (pelimpah) dan mengalir ke pengolahan selanjutnya.

5. Bak Air Terolah (Treated Water Basin)

Bak ini berfungsi sebagai penyimpanan sementara. Dilapisi penutup dan memiliki lubang inspeksi. Diffuser agitator dan pompa transfer dipasang didalamnya untuk proses selanjutnya.

6. Up-Flow Filter (Filter Aliran Keatas)

Dalam filtrasi upflow, residu padatan tersuspensi harus bisa dihilangkan dengan metoda absorpsi. Backwash (pencucian balik arah) material yang terabsorpsi menggunakan air yang telah diolah.

7. Disinfectant Basin (Bak Disinfektan)

Fasilitas klorinasi digunakan untuk mensterilkan effluent sebelum dilepaskan keluar ke badan air penerima. Untuk keamanan, waktu detensi proses sterilisasi paling tidak 15 menit. Di jalur akhir effluent terdapat flow meter. Fasilitas pembantu lainnya adalah tangki penampungan kimia, termasuk pompa injeksi pengaduk kimia (NaOCl) dan flow meter parshall flume type.

8. Sludge Storage Basin (Bak Penampung Lumpur)

Lumpur akan ditampung sementara di sludge storage basin sebelum ditransfer ke sistem dewatering. Sludge storage basin diaplikasikan untuk menampung volume 7 hari. Dipasang juga Submixer equalisasi dan pompa transfer.

9. Sludge Dewatering System

Dewatering unit adalah unit operasi yang diterapkan untuk mengurangi kadar air dalam lumpur, dengan pertimbangan :

- Biaya angkut lumpur dapat ditekan.
- Lumpur lebih mudah diolah karena kandungan airnya rendah.
- Setelah diambil airnya, lumpur menjadi tidak bau dan tidak mudah membusuk.

Ada beberapa teknik pengurangan air, dan yang digunakan dalam sistem ini adalah dengan alat saringan bertekanan (Filter Press). Pengurangan air dicapai melalui pemaksaan air keluar dari lumpur dibawah tekanan tinggi. Dari penekanan tersebut akan diperoleh lumpur yang sangat padat dan cairan hasil pemerasan akan terlihat agak jernih. Meski demikian, air hasil pemerasan dikembalikan lagi ke Buffer Basin untuk menghilangkan bahan organik yang masih tersisa dalam larutan tersebut. Lumpur yang telah padat tersebut diangkut ke incinerator untuk dibakar. Lumpur limbah memiliki kandungan air 99%, setelah diflokulasikan (digumpalkan) dengan FeCl_3 dan setelah proses dewatering, kandungan airnya menjadi 75%.

10. City Water Basin

Air perkantoran disediakan untuk menyemprotkan air ke sistem FBBR, pengenceran zat kimia dan untuk laboratorium.

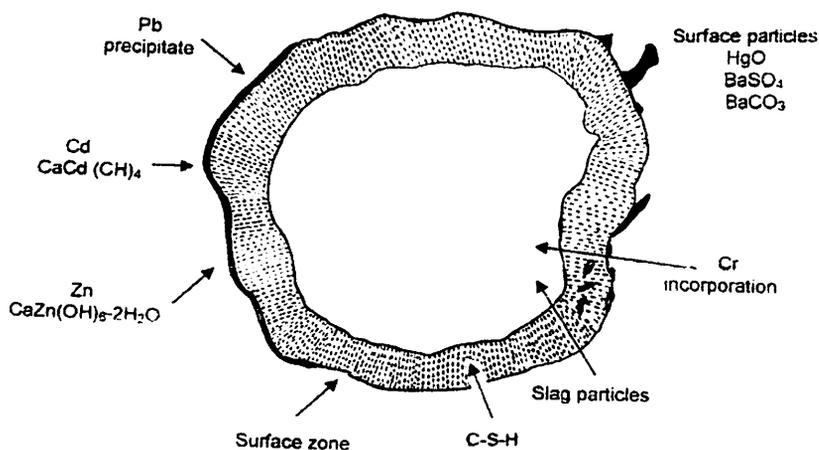
11. Effluent (Keluaran)

Air limbah yang telah diolah telah memenuhi standar buangan air limbah dan selanjutnya akan dibuang ke saluran kota.

(Laporan KP Erwin Rohadi, 2004)

2.7. 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

2.7.1. Timbal (Pb)

2.7.1.1. 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 gr/cm³. Logam ini memiliki titik didih 1740°C. Pb bereaksi jika ada udara dan reaktif terhadap asam, meskipun asam lemah.

2.7.1.2. 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 (Pb²⁺) mampu menggantikan keberadaan ion Ca²⁺ (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.

2.7.1.3. 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)

2.7.2. Chromium (Cr)

2.7.2.1. Umum

Kata chromium berasal dari bahasa Yunani ("chroma") yang berarti warna. Chromium dilambangkan dengan Cr sebagai salah satu logam berat. Cr termasuk unsur dalam golongan IVB tabel periodik, dengan nomor atom 24, nomor masa 51,996. Logam ini memiliki kerapatan 7,14 dan titik didihnya 2200°C.

2.7.2.2. Bahaya dari Cr

Sebagai logam berat, Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun yang tinggi. Daya racun tersebut ditentukan oleh variasi ionnya. Ion Cr^{6+} merupakan bentuk Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya, bila dibandingkan dengan ion Cr^{2+} dan Cr^{3+} . Ion Cr^{6+} ini dalam proses metabolisme tubuh akan menghalangi atau mampu menghambat kerja dari enzim benzopirin hidroksilase yang dapat mengakibatkan perubahan sel, sehingga sel-sel tumbuh liar dan tidak terkontrol atau lebih dikenal dengan istilah kanker, karena itu Cr termasuk dalam logam berat yang bersifat karsinogenik. Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadinya pembengkakan pada hati. Selain itu keracunan Cr juga mengakibatkan gangguan pernafasan dan hiper sensitivitas kulit. (Palar. Drs Heryando, "Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat", Rineka Cipta 1994)

Tingkat daya racun yang dibawa oleh logam Cr tidak sama pada semua makhluk hidup. Daya racun itu lebih ditentukan oleh masing-masing individu untuk menetralsir bahan-bahan beracun yang masuk ke dalam tubuhnya (Darmono, 1995).

2.8. 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 (Soleh A Z, 2005).

2.8.1. 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. Simbul 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

$\sum x$ = 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:

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

dimana:

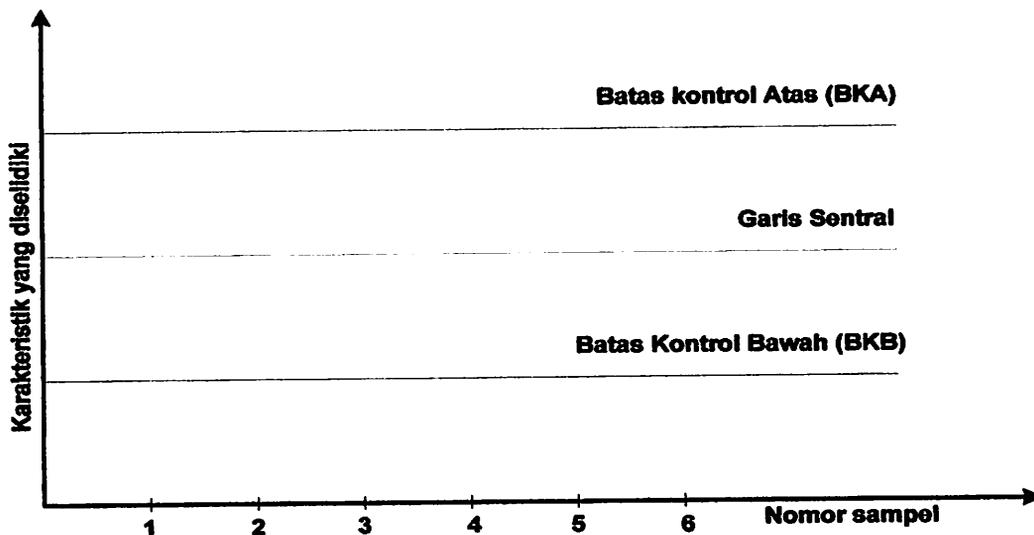
s = standart deviasi yang dicari

$\sum x$ = jumlah semua harga sampel

n = banyaknya sampel

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*

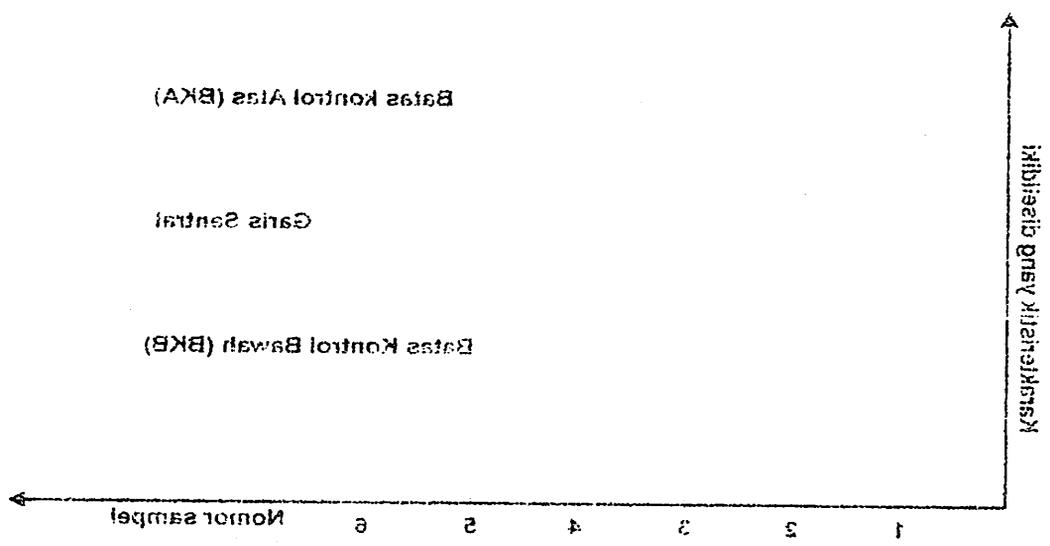
Garis sentral melukiskan “nilai baku” yang akan menjadi pangkal perhitungan terjadinya penyimpangan hasil – hasil pengamatan untuk tiap sampel. Garis bawah yang sejajar dengan garis sentral dinamakan batas kontrol bawah (BKB). Ini merupakan penyimpangan paling rendah yang diijinkan dihitung dari “nilai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

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

dimana:
 s = standar deviasi yang dicari
 $\sum x$ = jumlah semua harga sampel
 n = banyaknya sampel

c. **Keseragaman Data**

Penelitian keseragaman data perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan data. Pada penelitian keseragaman data ini data akan diuji apakah data yang terkumpul seragam dan selanjutnya mengidentifikasi data yang ekstrem. Data ekstrem yang dimaksud adalah data yang terlalu besar atau data yang terlalu kecil dan jauh menyimpang dari trend rata - rata nya. Untuk memudahkan penelitian maka digunakan diagram kontrol Shewart dengan contoh sebagai berikut:



Gambar 2.5. Diagram Kontrol Shewart

tinggi dan "nilai baku" terdapat sejajar di atas sentral dan dinamakan batas tinggi dan "nilai baku". Garis yang menyatakan penyimpangan paling dibawah (BKB). Ini merupakan penyimpangan paling rendah yang diijinkan. Garis bawah yang sejajar dengan garis sentral dinamakan batas kontrol terjadinya penyimpangan hasil - hasil pengamatan untuk tiap sampel. Garis sentral melukiskan "nilai baku" yang akan menjadi pangkal perhitungan

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

(Sudjana,2002)

2.8.2. 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 2.16. 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
- 1	Hubungan kedua peubah sangat kuat dan negatif

Sumber: Soleh A Z, 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 (Soleh A Z, 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 didalam melihat pola atau karakteristik hubungan antara variabel bebas dengan variabel tak bebas/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 dan Waktu Penelitian

Penelitian tentang studi pemanfaatan lumpur IPLC rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako dengan pemanfaatan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan meliputi pembuatan batako dan uji batako. Batako dibuat di Pondok Harapan Indah A/37 Malang dan uji batako dilakukan di laboratorium Beton Teknik Sipil FTSP ITN Malang. Penelitian ini berlangsung pada bulan Maret sampai dengan Mei 2006.

3.2. Variasi Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini digunakan variasi komposisi bahan pembuatan berdasarkan penelitian yang pernah ada untuk pasangan batu dinding. Bahan yang digunakan untuk membuat batako adalah pasir, semen, lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang dan dua jenis pozzolan buatan yaitu fly ash dan abu ampas tebu. Variasi komposisi bahan pembuat batako pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel-tabel berikut dan tiap komposisi dibuat 3 (tiga) benda uji.

Tabel 3.1. Komposisi Bahan Pembuatan Batako tanpa Pozzolan

No	Kode	Perbandingan Campuran		
		Semen	Pasir	Lumpur
1	A	1	3	0
2	B	1	2	1
3	C	1	1	2
4	D	1	0	3

Tabel 3.2. Komposisi Bahan Pembuatan Batako dengan Penambahan Fly ash

No	Kode	Perbandingan Campuran			
		Semen	Fly Ash	Pasir	Lumpur
1	E	0,8	0,2	3	0
2	F	0,8	0,2	2	1
3	G	0,8	0,2	1	2
4	H	0,8	0,2	0	3

Tabel 3.3. Komposisi Bahan Pembuatan Batako dengan Penambahan Abu AmpasTebu

No	Kode	Perbandingan Campuran			
		Semen	Abu Ampas Tebu	Pasir	Lumpur
1	I	0,8	0,2	3	0
2	J	0,8	0,2	2	1
3	K	0,8	0,2	1	2
4	L	0,8	0,2	0	3

3.3. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Dalam prosedur pelaksanaan penelitian ini terdiri dari analisa pendahuluan terhadap lumpur, persiapan penelitian, pembuatan batako dan pengujian batako.

3.3.1. Analisa Pendahuluan

Pada penelitian batako dari lumpur ini, perlu dilakukan analisa pendahuluan untuk mengetahui kualitas lumpur yang akan digunakan sebagai agregat halus. Adapun analisa yang dilakukan adalah :

a. Analisa Kadar Air

Untuk mengetahui kandungan air yang berada dalam lumpur, digunakan analisa zat padat. Analisa ini dilakukan dengan cara menguapkan air yang terkandung dalam sampel yang akan dianalisa. (Standart Methods, 1985)

b. Analisa Kadar Organik

Untuk mengetahui kandungan organik yang ada dalam lumpur, dilakukan dengan cara mengukur berat lumpur pada pemanasan 105° C dikurangi berat lumpur setelah pemanasan 550° C.

c. Analisa Berat Jenis

Untuk mengetahui berat jenis dari lumpur, dilakukan dengan cara menimbang berat lumpur kering kemudian dibandingkan dengan berat lumpur setelah dicampur dengan air.

d. Analisa Saringan

Untuk mengetahui apakah butir-butir lumpur lolos saringan no. 4 (4,8 mm) sebagai agregat halus.

e. Analisa senyawa-senyawa yang menguntungkan pada beton yang terdapat dalam lumpur, antara lain : SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO .

f. Analisa senyawa yang berpengaruh buruk pada beton yang terdapat pada lumpur yaitu garam klorida (MgCl).

g. Analisa konsentrasi logam berat Pb dan Cr yang terkandung dalam lumpur.

3.3.2. Persiapan Penelitian

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

- Persiapan alat dan bahan

Alat-alat yang dibutuhkan adalah :

- ✓ Ember
- ✓ Cetok
- ✓ Kayu
- ✓ Sekop
- ✓ Cetakan batako
- ✓ Palu

Sedangkan bahan yang dibutuhkan meliputi :

- ✓ Semen type I
- ✓ Pasir
- ✓ Lumpur
- ✓ Fly ash
- ✓ Abu ampas tebu
- ✓ Air PDAM

- Perlakuan pendahuluan

Sebelum sampel limbah (lumpur) digunakan sebagai bahan baku batako diperlukan perlakuan pendahuluan untuk mempermudah pembuatan batako. Adapun perlakuan pendahuluan terhadap sampel adalah sebagai berikut :

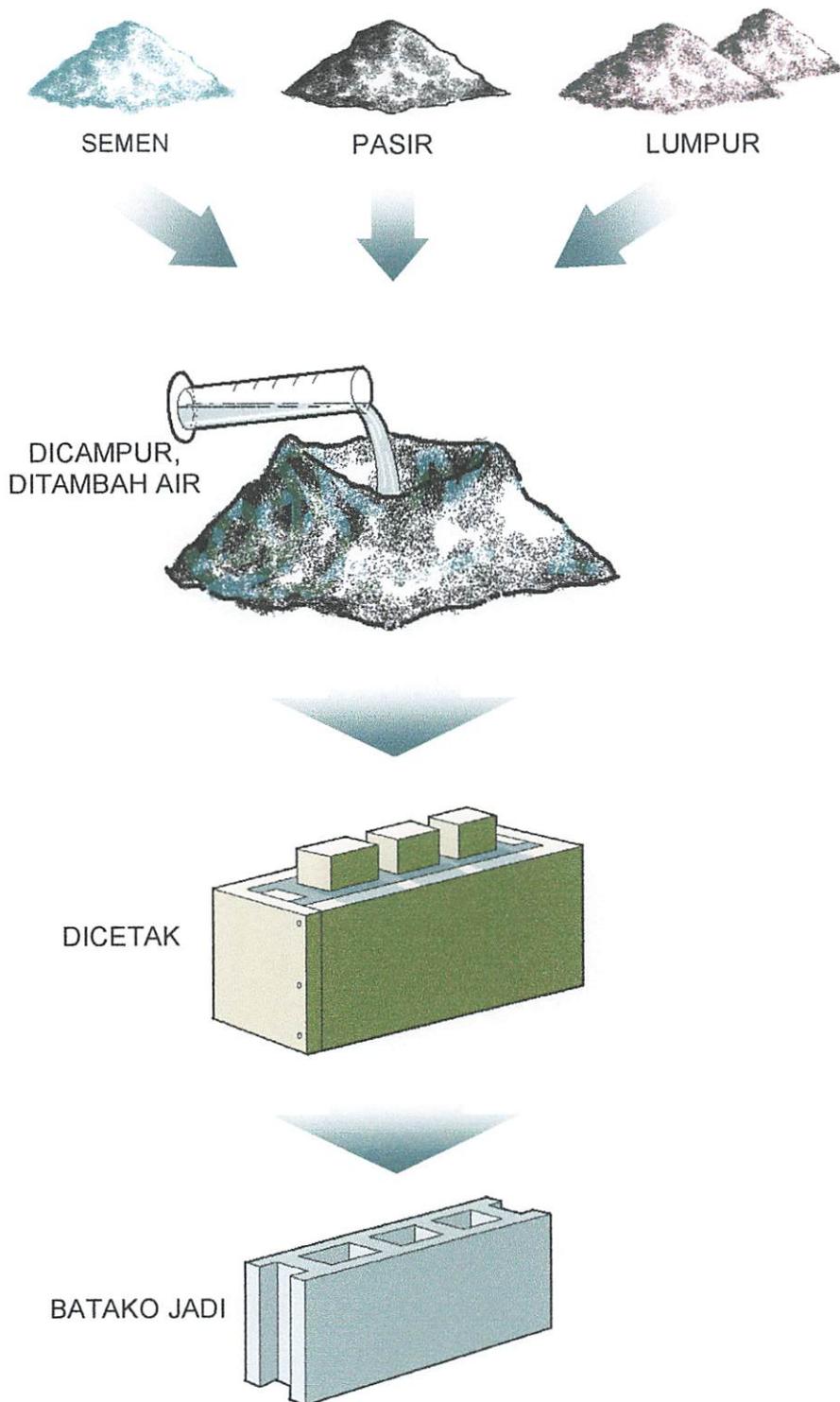
- ✓ Lumpur dikeringkan dengan cahaya matahari untuk mempermudah penghalusan.
- ✓ Lumpur kering dihaluskan untuk mempermudah pencampuran.

3.3.3. Proses Pembuatan Batako

Cara pembuatan batako menurut (Departemen Pekerjaan Umum dan Indocement, 1984 dalam Nurhaida, 1995) adalah sebagai berikut :

- Dilakukan pencampuran bahan pembuatan batako sesuai komposisi yang ditentukan.
- Ditambahkan air sedikit demi sedikit dan dilakukan pengadukan agar campuran merata.

- Untuk mengetahui kadar air yang digunakan terlalu banyak atau terlalu sedikit maka diambil campuran batako satu genggam kemudian ditekan dengan tangan, jika tangan terlalu basah maka air terlalu banyak, dan jika tangan kering maka air yang ditambahkan kurang.
- Kemudian batako siap dicetak pada cetakan batako 40 x 10 x 20 cm. Pembuatan batako dapat dilakukan dengan cara manual atau dengan bantuan mesin. Pada penelitian ini batako dibuat secara manual, dengan mencetak campuran pasir dan semen portland yang lembab memakai cetakan dengan pemampatan secara dipukul-pukul dengan tangan.
- Setelah batako dicetak, dikeringkan tanpa sinar matahari langsung dalam hal ini didalam ruangan terbuka hanya terdiri dari atap dan tidak mempunyai dinding dan dilakukan penyimpanan selama 28 hari. Adapun untuk lebih jelasnya proses pembuatan batako dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Proses Pembuatan Batako

3.3.4. Uji Syarat Mutu Batako

Uji syarat mutu batako yang dilakukuan sesuai dengan SNI 03-0349-1989 adalah sebagai berikut :

- Uji tampak luar
Uji tampak luar adalah pengamatan luar terhadap bentuk batako, dimana bidang permukaannya harus tidak cacat, bentuk permukaan lain yang didesain diperbolehkan, rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain dan sudut rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.
- Uji kuat tekan
Uji kuat tekan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan dari campuran lumpur, pasir dan semen yang dipakai. Uji kuat tekan ini dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Diharapkan dari uji kuat tekan akan memenuhi syarat kuat tekan batako tidak kurang dari 20 kg / cm² sesuai SNI 03-0349.
- Uji penyerapan air
Uji penyerapan air bertujuan untuk mengetahui kemampuan batako dalam menyerap air. Batako bermutu baik jika kemampuan penyerapan airnya kecil. Uji ini dilakukan dengan merendam batako dalam air selama 24 jam kemudian ditimbang. Dari berat kering dan berat basah akan diketahui penyerapan airnya.

Selain uji syarat mutu batako yang sesuai dengan SNI 03-0349-1989 diatas, dilakukan juga uji toksisitas untuk mengetahui konsentrasi logam berat dalam lindi. Uji pelindian dengan TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure / Hasil Ekstraksi Lindi*) terhadap asam dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan asam melepaskan logam berat ke lingkungan dan mengetahui kemampuan semen untuk mengikat logam berat. Logam berat yang diuji adalah logam berat Pb dan Cr dengan pertimbangan kandungan kedua logam berat tersebut paling besar. Untuk penelitian ini digunakan metode ekstraksi leachate dari limbah padat, yang kemudian dilakukan analisa dengan Atomic Absorption Spectrofotometri (AAS).

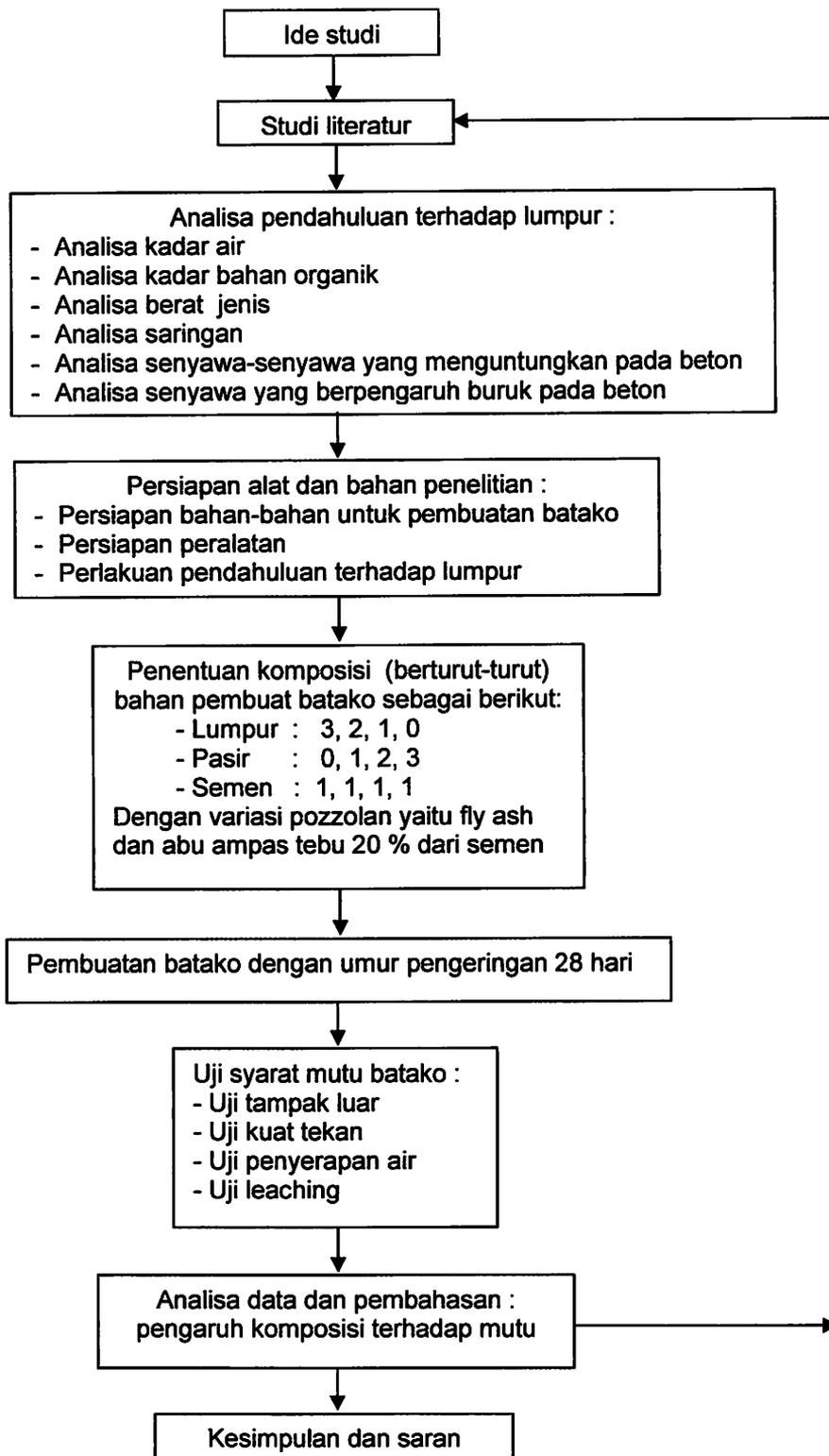
3.4. Analisa Data

Data yang digunakan adalah dengan replikasi $n = 3$. Untuk mengetahui adanya hubungan antara variasi bahan-bahan pembuatan batako dengan uji-uji

yang dilakukan, digunakan uji korelasi. Kemudian untuk mengukur kekuatan hubungan/korelasi data tersebut diperlukan uji analisa regresi. Data – data interval yang diperoleh, diolah dengan analisa varians (ANOVA) untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata – rata hitung yang signifikan antar perlakuan.

3.5. Kerangka Penelitian

Untuk mengetahui dasar pemikiran penelitian, dibuat kerangka penelitian seperti berikut :



Gambar 3.2. Kerangka Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisa Pendahuluan

Sebelum melakukan penelitian ini, untuk mengetahui kualitas awal lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang dilakukan analisa pendahuluan yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Kualitas Awal Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang

Parameter	Hasil Analisa
Kadar air	72,110 %
Kadar bahan organik	60,795 %
Berat jenis	1,703 gr/cm ³
SiO ₂	23,372 ppm
Fe ₂ O ₃	761,063 ppm
Al ₂ O ₃	62,2574 ppm
CaO	16,6524 ppm
MgCl	6,9074 ppm
Pb	0,5794 ppm
Cr ⁶⁺	0,011 ppm

Sumber : Hasil penelitian

4.2. Hasil Penelitian Uji Syarat Mutu Batako

4.2.1. Hasil Penelitian Uji Tampak Luar Batako

Uji tampak luar dari batako ini merupakan salah satu syarat mutu batako sesuai SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk pasangan dinding. Pengamatan tampak luar ini meliputi warna dan karakteristik bentuk dari batako yang dihasilkan. Hasil pengamatan uji tampak luar batako dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.2. Data Tampak Luar Batako Tanpa Pozzolan

Kode	Komposisi	Warna	Karakteristik
A	1 : 3 : 0	Putih keabu-abuan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
B	1 : 2 : 1	Putih keabu-abuan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
C	1 : 1 : 2	Kecoklatan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya agak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Sedikit berjamur pada permukaan batako.
D	1 : 0 : 3	Kecoklatan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Banyak jamur pada permukaan batako.

Keterangan : Komposisi = Semen : Pasir : Lumpur

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4.3. Data Tampak Luar Batako dengan Penambahan Fly Ash

Kode	Komposisi	Warna	Karakteristik
E	0,8 : 0,2 : 3 : 0	Coklat keabu-abuan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
F	0,8 : 0,2 : 2 : 1	Coklat keabu-abuan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
G	0,8 : 0,2 : 1 : 2	Kecoklatan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya agak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Sedikit berjamur pada permukaan batako.
H	0,8 : 0,2 : 0 : 3	Kecoklatan	<ul style="list-style-type: none"> - Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Banyak jamur pada permukaan batako.

Keterangan : Komposisi = Semen : Fly ash : Pasir : Lumpur

Sumber : Hasil Pengamatan

Tabel 4.4. Data Tampak Luar Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Kode	Komposisi	Warna	Karakteristik
I	0,8 : 0,2 : 3 : 0	Hitam Keabu-abuan	- Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
J	0,8 : 0,2 : 2 : 1	Hitam keabu-abuan	- Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan. - Tidak menunjukkan retak-retak.
K	0,8 : 0,2 : 1 : 2	Kecoklatan	- Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya agak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Sedikit berjamur pada permukaan batako.
L	0,8 : 0,2 : 0 : 3	Kecoklatan	- Rusuk siku satu terhadap yang lain. - Rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan - Di beberapa tempat menunjukkan retak-retak. - Banyak jamur pada permukaan batako.

Keterangan : Komposisi = Semen : Abu ampas tebu : Pasir : Lumpur

Sumber : Hasil Pengamatan

4.2.2. Hasil Penelitian Uji Kuat Tekan Batako

Uji kuat tekan batako dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan batako sebelum batako tersebut digunakan. Uji kuat tekan dilakukan setelah batako dikeringkan selama 28 hari. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 4.5, 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.5. Nilai Kuat Tekan Batako Tanpa Pozzolan

Kode	Kuat Tekan Batako (kg/cm ²)			
	1	2	3	Rata-rata
A	62,50	62,17	62,66	62,44
B	20,55	20,55	21,38	20,83
C	13,81	14,06	13,98	13,95
D	6,57	5,75	5,75	6,02

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.6. Nilai Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Fly Ash

Kode	Kuat Tekan Batako (kg/cm ²)			
	1	2	3	Rata-rata
E	69,07	70,72	69,24	69,68
F	22,69	22,20	21,38	22,09
G	16,44	17,26	16,44	16,71
H	10,03	10,69	11,51	10,74

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.7. Nilai Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Kode	Kuat Tekan Batako (kg/cm ²)			
	1	2	3	Rata-rata
I	61,67	62,50	62,50	62,22
J	20,55	20,06	19,73	20,11
K	9,04	9,86	8,22	9,04
L	5,75	4,93	5,75	5,47

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.3. Hasil Penelitian Uji Penyerapan Air Batako

Pada SNI 03-0349-1989, untuk batako dengan tingkat mutu III dan IV tidak terdapat batasan untuk penyerapan airnya, namun pada penelitian ini uji penyerapan air tetap dilakukan untuk mengetahui kemampuan batako dalam menyerap air. Batako yang bermutu baik memiliki penyerapan air yang kecil. Hasil uji penyerapan air batako dapat dilihat pada tabel 4.7, 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8. Nilai Penyerapan Air Batako Tanpa Pozzolan

Kode	Penyerapan Air Batako (%)			
	1	2	3	Rata-rata
A	15,68	16,25	16,61	16,18
B	18,73	18,17	17,76	18,22
C	21,53	21,88	22,90	22,10
D	25,08	25,67	26,11	25,62

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.9. Nilai Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Fly Ash

Kode	Penyerapan Air Batako (%)			
	1	2	3	Rata-rata
E	10,25	10,65	10,69	10,53
F	12,61	12,75	12,26	12,54
G	18,82	19,30	19,75	19,29
H	22,24	23,03	22,54	22,60

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.10. Nilai Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Kode	Penyerapan Air Batako (%)			
	1	2	3	Rata-rata
I	13,97	13,53	13,92	13,81
J	17,59	18,28	17,59	17,82
K	22,05	22,24	21,69	21,99
L	25,58	24,43	24,79	24,93

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.4. Hasil Penelitian Uji Leaching Batako

Untuk uji leaching digunakan metode Static Leaching Test. Uji ini menggunakan larutan asam asetat untuk merendam gerusan batako selama 3 hari, kemudian dilakukan analisa Atomic Absorption Spectrofotometri (AAS). Logam berat yang diuji adalah logam berat Pb dan Cr dengan pertimbangan kandungan kedua logam berat tersebut paling besar. Hasil uji leaching batako dapat dilihat pada tabel 4.10, 4.11 dan 4. 12.

Tabel 4.11. Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako Tanpa Pozzolan

Kode	Logam Berat	Konsentrasi Awal Logam Berat (ppm)	Konsentasi Akhir Logam Berat (ppm)			
			1	2	3	Rata-rata
A	Pb	0,5794	0.00350	0.00320	0.00330	0.00333
	Cr ⁶⁺	0,011	0.00028	0.00028	0.00029	0.00028
B	Pb	0,5794	0.0680	0.0700	0.0690	0.0690
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0040	0.0041	0.0039	0.0040
C	Pb	0,5794	0.1025	0.1026	0.1024	0.1025
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0052	0.0053	0.0052	0.0052
D	Pb	0,5794	0.1439	0.1438	0.1440	0.1439
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0087	0.0089	0.0086	0.0087

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.12. Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako dengan Penambahan Fly Ash

Kode	Logam Berat	Konsentrasi Awal Logam Berat (ppm)	Konsentasi Akhir Logam Berat (ppm)			
			1	2	3	Rata-rata
E	Pb	0,5794	0.00280	0.00260	0.00250	0.00263
	Cr ⁶⁺	0,011	0.00019	0.00021	0.00018	0.00019
F	Pb	0,5794	0.0590	0.0610	0.0580	0.0593
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0028	0.0028	0.0027	0.0028
G	Pb	0,5794	0.0891	0.0899	0.0889	0.0893
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0040	0.0039	0.0043	0.0040
H	Pb	0,5794	0.1175	0.1179	0.1182	0.1178
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0066	0.0069	0.0065	0.0066

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4.13. Konsentrasi Akhir Logam Berat dalam Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Kode	Logam Berat	Konsentrasi Awal Logam Berat (ppm)	Konsentasi Akhir Logam Berat (ppm)			
			1	2	3	Rata-rata
I	Pb	0,5794	0.00400	0.00380	0.00390	0.00390
	Cr ⁶⁺	0,011	0.00024	0.00025	0.00025	0.00025
J	Pb	0,5794	0.0700	0.0690	0.0710	0.0700
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0040	0.0039	0.0040	0.0040
K	Pb	0,5794	0.1030	0.1023	0.1025	0.1026
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0052	0.0053	0.0052	0.0052
L	Pb	0,5794	0.1441	0.1439	0.1442	0.1440
	Cr ⁶⁺	0,011	0.0090	0.0089	0.0089	0.0090

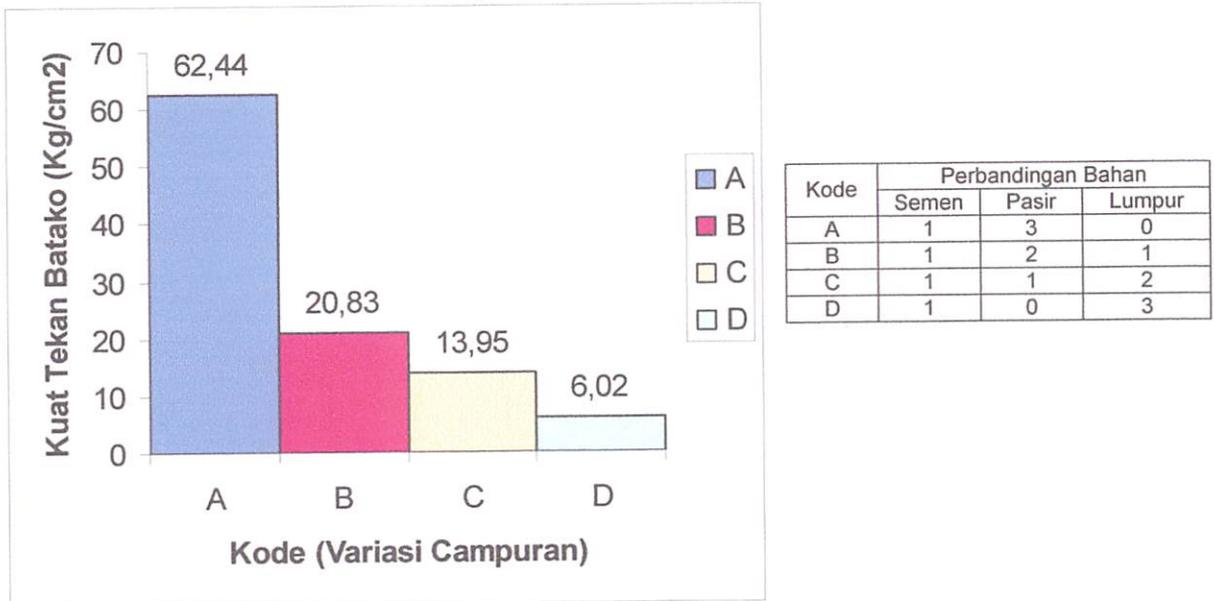
Sumber : Hasil Penelitian

4.3. Analisa Uji Syarat Mutu Batako Tanpa Pozzolan

4.3.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako

4.3.1.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai kuat tekan batako tanpa pozzolan dengan variasi campuran A, B, C dan D cenderung menurun. Hasil penelitian pada tabel 4.5 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik Kuat Tekan Batako Tanpa Pozzolan

Berdasarkan tabel 4.5 dan gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan batako tanpa pozzolan mempunyai kecenderungan menurun seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Penurunan yang ditimbulkan berkisar antara 66,63% - 90,35%.

4.3.1.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Kuat Tekan Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Kuat Tekan Batako and Variasi Campuran = -0,904
P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kuat tekan batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari

koefisien korelasinya adalah -0,904. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel bertolakbelakang, hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka kuat tekan batako akan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka kuat tekan batako akan semakin meningkat. Tingkat signifikan kuat tekan batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 (<0,05) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.1.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan, digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Kuat Tekan Batako versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan Batako} = 60,7 - 42,9 \text{ Lumpur} + 8,42 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	60,654	2,607	23,26	0,000
Lumpur	-42,881	4,187	-10,24	0,000
Lumpur ²	8,423	1,338	6,30	0,000

$$S = 4,63326 \quad R\text{-Sq} = 96,6\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 95,9\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	5504,9	2752,4	128,22	0,000
Residual Error	9	193,2	21,5		
Total	11	5698,1			

Konstanta sebesar 60,7 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka kuat tekan batako yang dihasilkan adalah 60,7 kg/cm², dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 95,9%.

a. Uji Model Regresi Kuadratik

Daerah penolakan :

$F > F_{(\alpha;v1,v2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v1 = 2$ dan $v2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 128,22. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan $p\text{-value}$. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, $p\text{-value}$ bernilai 0. Artinya, model regresi kuadratik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Keputusan :

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah -10,24 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah 6,30. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 95,9%, hal ini berarti penurunan kuat tekan batako dapat dijelaskan oleh 95,9% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 4,1% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.3.1.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan,

dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Kuat Tekan versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	5697,019	1899,006	14264,84	0,000
Error	8	1,065	0,133		
Total	11	5698,084			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai kuat tekan batako tanpa pozzolan diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

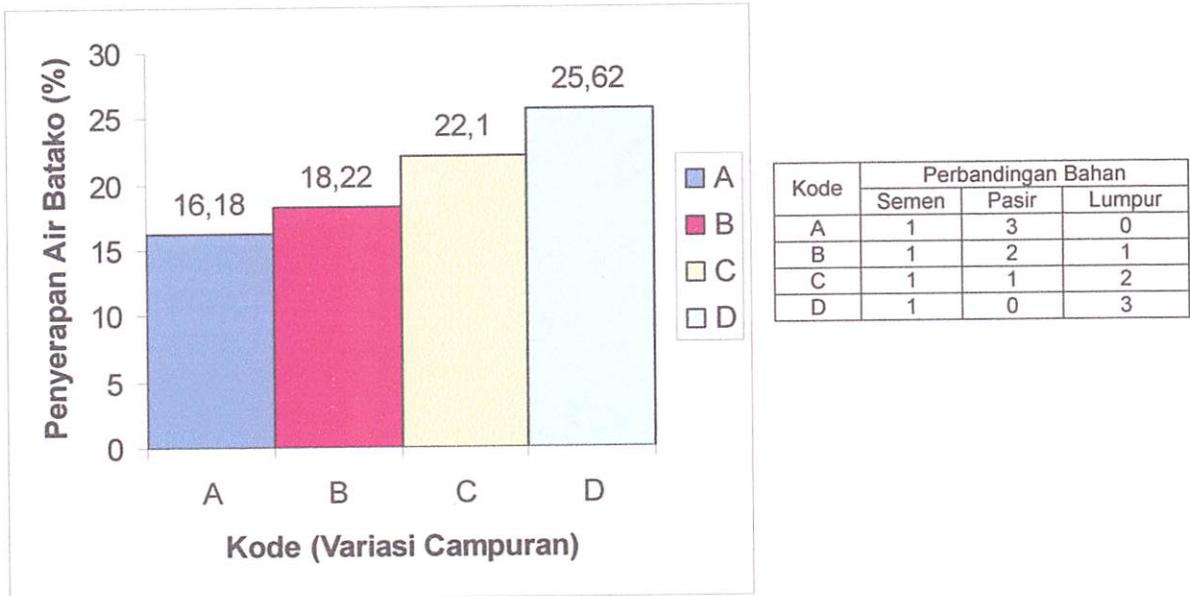
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 14264,84 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.3.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako

4.3.2.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai penyerapan air batako tanpa pozzolan dengan variasi campuran A, B, C dan D cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.8 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Penyerapan Air Batako Tanpa Pozzolan

Berdasarkan tabel 4.8 dan gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai penyerapan air batako tanpa pozzolan mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 12,60% - 58,34%.

4.3.2.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Penyerapan Air Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Penyerapan Air Batako and Variasi Campuran = 0,985
P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,985. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka penyerapan air batako semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan

untuk menggantikan lumpur, maka penyerapan air batako akan semakin menurun. Tingkat signifikan penyerapan air batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.2.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan, digunakan uji regresi sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini, digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Penyerapan Air} = 16,1 + 2,11 \text{ Lumpur} + 0,369 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,0695	0,3352	47,93	0,000
Lumpur	2,1128	0,5384	3,92	0,003
Lumpur ²	0,3692	0,1720	2,15	0,060

$$S = 0,595733 \quad R\text{-Sq} = 98,0\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 97,6\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	157,194	78,597	221,46	0,000
Residual Error	9	3,194	0,355		
Total	11	160,388			

Konstanta sebesar 16,1 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka penyerapan air batako yang dihasilkan adalah 16,1%, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 97,6%.

a. Uji Model Regresi Kuadrat

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha;v1,v2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v1 = 2$ dan $v2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 221,46. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan p -value. Berdasarkan

hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kuadratik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau p-value $< \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 3,92 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah 2,15. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 97,6%, hal ini berarti peningkatan penyerapan air batako dapat dijelaskan oleh 97,6% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 2,4% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.3.2.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Penyerapan Air versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	157,926	52,642	171,09	0,000
Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai penyerapan air batako tanpa pozzolan diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

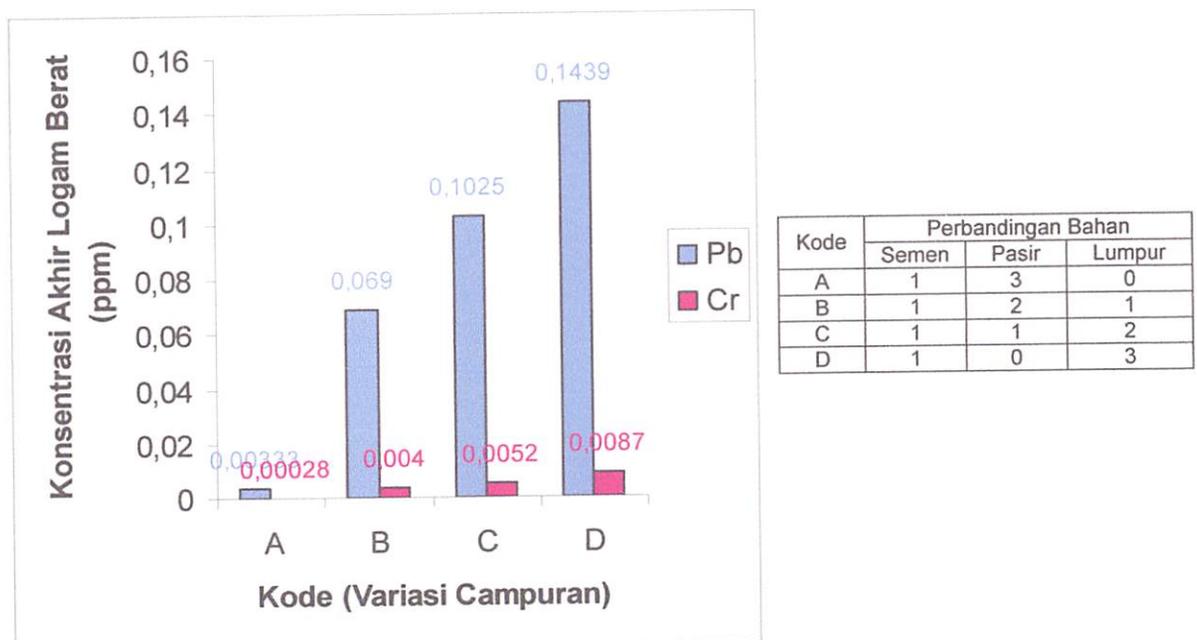
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 171,09 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.3.3. Analisa Uji Leaching Batako

4.3.3.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, konsentrasi logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching dalam batako tanpa pozzolan dengan variasi campuran A, B, C dan D cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.11 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako Tanpa Pozzolan

Berdasarkan tabel 4.11 dan gambar 4.3 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Untuk logam berat Pb, peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 1972,07% - 4221,32%. Sedangkan untuk logam berat Cr, peningkatan yang ditimbulkan bisa mencapai 1328,57% - 3007,14%.

4.3.3.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Konsentrasi Pb; Konsentrasi Cr; Variasi Campuran

	Konsentrasi Pb	Konsentrasi Cr
Variasi Campuran	0,989 0,000	0,984 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,989 dan 0,984. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka konsentrasi akhir logam berat akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka konsentrasi akhir logam berat akan semakin menurun. Tingkat signifikan konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.3.3.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan konsentrasi akhir logam berat, digunakan uji regresi sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini, untuk konsentrasi akhir logam berat Pb digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$,

sedangkan untuk konsentrasi akhir logam berat Cr digunakan metode fungsi kubik sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

▪ **Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur²**

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhir Pb} = 0,00534 + 0,0637 \text{ Lumpur} - 0,00607 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,005337	0,002923	1,83	0,101
Lumpur	0,063720	0,004695	13,57	0,000
Lumpur ²	-0,006067	0,001500	-4,05	0,003

$$S = 0,00519495 \quad R\text{-Sq} = 99,2\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 99,1\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,031523	0,015761	584,02	0,000
Residual Error	9	0,000243	0,000027		
Total	11	0,031766			

Konstanta sebesar 0,00534 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching sebesar 0,00534, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,1%

a. Uji Model Regresi Kuadrat

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha, v_1, v_2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha, v_1, v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 584,02. Selain menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kuadrat yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$$H_0 : \beta_1 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_1 \neq 0$$

Untuk parameter β_2

$$H_0 : \beta_2 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_2 \neq 0$$

Daerah penolakan :

$$T > |t_{(\alpha,n)}| \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 13,57 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -4,05. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,1%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 99,1% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,9% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

• **Regression Analysis: Konsentrasi akhir Cr versus Lumpur; Lumpur²; Lumpur³**

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhir Cr} = 0,000283 + 0,00654 \text{ Lumpur} - 0,00362 \text{ Lumpur}^2 + 0,000792 \text{ Lumpur}^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00028333	0,00005530	5,12	0,001
Lumpur	0,0065417	0,0002122	30,83	0,000
Lumpur ²	-0,0036167	0,0001875	-19,28	0,000
Lumpur ³	0,00079167	0,00004122	19,21	0,000

$$S = 0,0000957862 \quad R\text{-Sq} = 99,9\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 99,9\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000109421	0,000036474	3975,32	0,000
Residual Error	8	0,000000073	0,000000009		
Total	11	0,000109494			

Konstanta sebesar 0,000283 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching sebesar 0,00283, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,9%.

a. Uji Model Regresi Kubik

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha;v1,v2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha;v_1,v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 3975,32. Selain menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan hasil uji regresi di atas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kubik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Untuk parameter β_3

$H_0 : \beta_3 = 0$ vs $H_a = \beta_3 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau p-value $< \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi di atas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 30,83, nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -19,28 dan nilai t untuk parameter lumpur³ (β_3) adalah 19,21. Hasil uji t untuk ketiga parameter sama-sama berada di atas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, ketiga parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,9%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 99,9% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,1% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.3.3.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan konsentrasi akhir logam berat, dapat

dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi Campuran

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0317635	0,0105878	40592,35	0,000
Error	8	0,0000021	0,0000003		
Total	11	0,0317656			

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Cr versus Variasi Campuran

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0001094	0,0000365	3975,32	0,000
Error	8	0,0000001	0,0000000		
Total	11	0,0001095			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara konsentrasi akhir logam berat diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

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

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 40592,35 untuk logam berat Pb dan 3975,32 untuk logam berat Cr, jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.4. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako Tanpa Pozzolan

4.4.1. Uji Tampak Luar Batako

Berdasarkan tabel 4.2 terlihat bahwa warna dan karakteristik batako pada tiap variasi campuran berbeda. Pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) dan 1 : 2 : 1 (B), batako yang dihasilkan berwarna putih keabu-abuan. Hal ini disebabkan karena pada variasi A, bahan yang dipakai hanya semen dan pasir yang berwarna putih keabu-abuan, sedangkan pada variasi B, warna batako tetap putih keabu-abuan karena semen dan pasir yang dipakai lebih banyak daripada lumpur, sehingga warna semen dan pasir lebih dominan dibanding warna lumpur yang kecoklatan. Pada komposisi 1 : 1 : 2 (C) dan 1 : 0 : 3 (D), batako yang dihasilkan berwarna kecoklatan. Hal ini disebabkan karena pada variasi C dan D lumpur yang dipakai lebih banyak, sehingga warna lumpur yang kecoklatan lebih dominan dibanding warna pasir dan semen.

Karakteristik batako pada tiap variasi campuran juga berbeda. Pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) dan 1 : 2 : 1 (B), batako yang dihasilkan memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989 yaitu rusuknya siku satu terhadap yang lain, tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan dan tidak menunjukkan retak-retak. Sedangkan pada komposisi 1 : 1 : 2 (C) dan 1 : 0 : 3 (D) batako yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989, karena rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan, di beberapa tempat menunjukkan retak-retak dan berjamur pada permukaan batako. Hal ini disebabkan karena lumpur yang dipakai bersifat lemah, lunak dan mengandung bahan organik yang tinggi (60,795%) sehingga pada saat terjadi proses hidrasi dengan pasta semen, lumpur tidak dapat berikatan atau melekat dengan sempurna (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Selain itu, lumpur dengan kandungan organik yang tinggi mengalami proses pembusukkan pada saat bercampur dengan air dan pada saat perawatan batako di udara lembab, sehingga muncul jamur pada permukaan batako.

Garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur bersifat sangat agresif terhadap semen, yang reaksinya dengan semen akan menghasilkan senyawa-senyawa yang volumenya mengembang, lalu sedikit demi sedikit merusak beton sehingga mengakibatkan retak-retak di beberapa tempat (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001).

4.4.2. Uji Kuat Tekan Batako

Berdasarkan gambar 4.1, kuat tekan batako yang paling tinggi adalah $62,44 \text{ kg/cm}^2$ pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) dan kuat tekan batako yang paling rendah adalah $6,02 \text{ kg/cm}^2$ pada komposisi 1 : 0 : 3 (D). Kuat tekan batako pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) yaitu $62,44 \text{ kg/cm}^2$ memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat II (SNI 03-0349-1989). Untuk kuat tekan batako pada komposisi 1 : 2 : 1 (B) yaitu $20,83 \text{ kg/cm}^2$, memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat IV (SNI 03-0349-1989). Sedangkan kuat tekan batako pada komposisi 1 : 1 : 2 (C) sebesar $13,95 \text{ kg/cm}^2$ dan kuat tekan batako pada komposisi 1 : 0 : 3 (D) sebesar $6,02 \text{ kg/cm}^2$ tidak memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang (SNI 03-0349-1989).

Variasi campuran bahan-bahan pembuat batako mempunyai pengaruh besar terhadap kuat tekan batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.1.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar $-0,904$ 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka kuat tekan batako yang dihasilkan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka kuat tekan batako akan semakin meningkat.

Di dalam beton, agregat menempati 70% - 75% 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 (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001).

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 batako dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda. Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dipakai sebagai bahan campuran bersifat lebih lunak dari pasir. Lumpur tersebut

mengandung senyawa SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 dan CaO yang dapat membantu proses pengikatan dengan semen, namun dengan adanya kandungan bahan organik yang tinggi (60,795%), 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 agregrat maupun rongga udara, tetapi lebih berpengaruh atau hanya terjadi di dalam pasta semen yang terdiri dari butiran-bitiran semen dan air. Ketika terjadi proses hidrasi, kandungan organik dalam lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang akan ikut bereaksi, sehingga berpengaruh jelek terhadap beton. Bahan organik ini memperlambat pengikatan (setting) semen, dan juga dapat memperlambat kekuatan beton sehingga pasta semen tidak dapat mengikat/melekatkan butir-butir lumpur dengan sempurna. Karena lekatan ini sangat penting dalam aduk beton, maka pengaruhnya terhadap kekuatan dan daya tahan beton yang semakin menurun dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Bila dilihat pada tabel spesifikasi mutu agregrat, agregrat yang baik tidak boleh mengandung bahan organik/lumpur lebih dari 5%. Dengan kandungan bahan organik sebesar 60,795% menyebabkan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang tidak layak digunakan sebagai agregrat dalam beton.

Dari hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan kuat tekan batako. Dimana 95,9% variabel lumpur dapat mempengaruhi penurunan kuat tekan batako. Sedangkan sisanya 4,1% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi kuat tekan batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi kuat tekan batako dengan menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan kuat tekan batako.

4.4.3. Uji Penyerapan Air Batako

Berdasarkan gambar 4.2, penyerapan air batako yang paling tinggi adalah 25,62% pada komposisi 1 : 0 : 3 (D) dan penyerapan air batako yang paling rendah adalah 16,1% pada komposisi 1 : 3 : 0 (A). Penyerapan air batako pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) sebesar 16,1%, komposisi 1 : 2 : 1 (B) sebesar 18,22% dan komposisi 1 : 1 : 2 (C) sebesar 22,1%, memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat I (SNI 03-0349-1989) yaitu maksimal 25%. Sedangkan untuk penyerapan air batako pada komposisi 1 : 0 : 3 (D) sebesar 25,62%, memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat II (SNI 03-0349-1989) yaitu maksimal 35%.

Variasi campuran bahan-bahan pembuatan batako mempunyai pengaruh besar terhadap penyerapan air batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.2.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar 0,985 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka penyerapan air batako akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka penyerapan air batako akan semakin menurun. Kuatnya hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda. Karena agregrat menempati sampai 75% volume betonnya, maka porositas agregrat memberikan kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996).

Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang memiliki daya serap air yang tinggi dibandingkan pasir. Dengan berat jenis lumpur sebesar 1,703 gr/cm³ bila dijadikan agregrat, termasuk dalam kategori agregrat ringan. Agregrat ringan umumnya mempunyai daya serap air yang tinggi (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996). Sifat fisik pasir yang keras, menyebabkan porinya kedap air, sehingga sulit baginya untuk menyerap air. Sedangkan lumpur bersifat lemah dan lunak sehingga masih memungkinkan pori-porinya terisi oleh air. Apalagi jika setelah ikatan semen mengeras, lumpur akan menyusut volumenya. Adanya garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur dapat menyerap air dari udara, sehingga mengakibatkan lumpur selalu dalam keadaan basah, dan juga dapat mengakibatkan pengembangan setelah beton selesai dibuat.

Besarnya kadar bahan organik yang ada dalam lumpur yang ikut bereaksi pada saat hidrasi semen, menyebabkan pengikatan semen tidak optimal sehingga batako menjadi tidak padat dan rongga-rongga antar agregat yang terbentuk semakin banyak. Rongga-rongga ini menjadi reservoir air sehingga menyebabkan penyerapan air batako meningkat seiring dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai.

Dari hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan penyerapan air batako. Dimana 97,6% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan penyerapan air batako. Sedangkan sisanya 2,4% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti gradasi agregat, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi penyerapan air batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi penyerapan air batako dengan menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan penyerapan air batako.

Dari penelitian uji penyerapan air, timbul efek samping dari proses perendaman batako yaitu bau busuk pada air rendaman batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D). Hal ini mungkin disebabkan oleh kontak antara air dengan kandungan organik yang tinggi dalam lumpur sehingga terjadi proses pembusukkan dan penguraian oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut dalam air. Dari peristiwa ini, batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D) tidak layak dipakai karena dapat mencemari lingkungan apabila batako kontak dengan air hujan. Air hujan yang sudah terkontaminasi dengan batako akan mengalir ke selokan, sungai dan badan air lainnya mengakibatkan terganggunya ekosistem air karena bau busuk tersebut. Begitu juga air yang meresap ke dalam tanah, akan mencemari tanah dan air tanah (Sugiharto, 1987).

4.4.4. Uji Leaching Batako

Berdasarkan gambar 4.3, konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling tinggi adalah 1,439 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling tinggi adalah 0,0087 ppm pada komposisi 1 : 0 : 3 (D), sedangkan konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling rendah adalah 0,00333 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling rendah adalah 0,00028 ppm pada komposisi 1 : 3 : 0 (A). Konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching pada semua komposisi yaitu 1 : 3 : 0 (A) sebesar 0,00333 ppm (Pb) dan 0,00028 ppm (Cr), komposisi 1 : 2 : 1 (B) sebesar 0,0690 ppm (Pb) dan 0,0040 ppm (Cr), komposisi 1 : 1 : 2 (C) sebesar 0,1025 ppm (Pb) dan 0,0052 ppm (Cr), dan komposisi 1 : 0 : 3 (D) sebesar 0,1439 ppm (Pb) dan 0,0087 ppm (Cr) masih berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang diijinkan yaitu 5,0 ppm untuk logam berat Pb dan Cr.

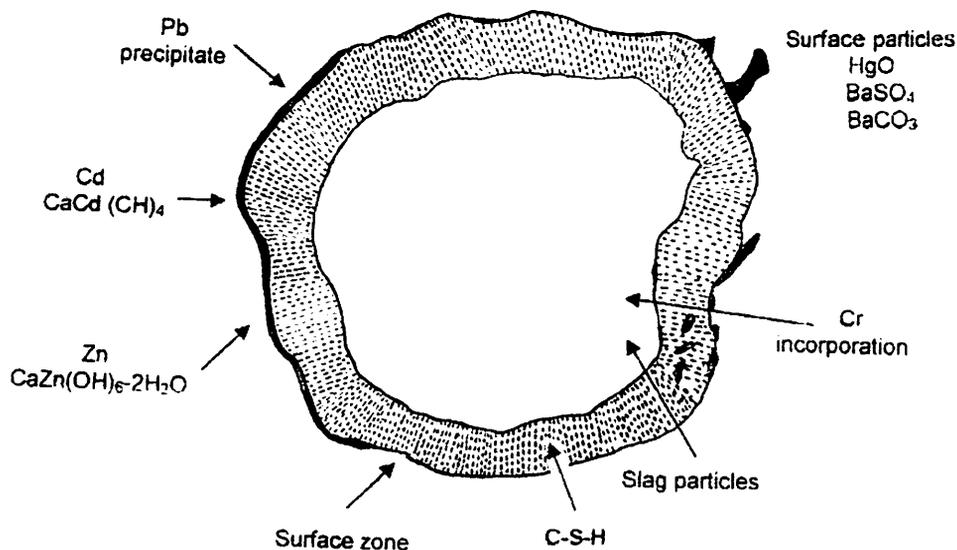
Variasi campuran bahan-bahan pembuatan batako mempunyai pengaruh besar terhadap konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.3.3.2, dimana nilai koefisien korelasi antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr dalam batako dengan variasi campuran sebesar 0,989 (untuk Pb) dan 0,984 (untuk Cr) 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin menurun. Kuatnya hubungan antara konsentrasi akhir logam berat dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan yang dipakai yaitu lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang memiliki kandungan logam berat Pb sebesar 0,5794 ppm dan Cr sebesar 0,011 ppm. Oleh sebab itu lumpur memberikan kontribusi pada konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching batako.

Dari penelitian ini terlihat bahwa semen dapat mengikat logam berat Pb dan Cr dengan baik. Lindi yang dihasilkan mengandung logam berat Pb dan Cr dengan konsentrasi kecil sehingga dapat mengurangi potensi bahaya dari logam berat Pb dan Cr.

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 batako, 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 batako semakin banyak, karena senyawa semen yang terbentuk (hasil samping = Ca(OH)_2) bermuatan negatif (-) dan logam berat bermuatan positif (+). Pb dan Cr 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 dan Cr dalam campuran semen adalah sebagaimana terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen
Sumber : (Ure, 1995 dalam Evitasari, 2000)

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa pada komposisi 1 : 3 : 0 (A) konsentrasi akhir logam berat Pb menunjukkan nilai 0,00333 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr menunjukkan nilai 0,00028 ppm. Padahal komposisi ini merupakan kontrol yang harusnya konsentrasi logam berat Pb dan Cr adalah 0.

Hal ini bertentangan dengan kenyataan yang ada, kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh agregat pasir yang didalamnya terkandung Pb dan Cr. Hal lain yang mungkin terjadi adalah pengaruh kontak dengan sekop dan alat penjemur lumpur yang digunakan juga untuk mengaduk mix desain yang mengandung lumpur atau juga mungkin karena pengaruh cat yang mengandung Cr yang dipakai untuk memberikan kode pada batako.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Dimana 99,1% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam berat Pb dan 99,9% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan logam berat Cr. Sedangkan sisanya 0,9% (untuk Pb) dan 0,1% (untuk Cr) dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor agregat pasir yang mengandung Pb dan Cr, cara pemadatan, dan cara perawatan.

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

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

- Tercemarnya tanah dan air tanah akibat peresapan lindi yang mengandung logam berat Pb dan Cr sehingga terjadi absorpsi Pb dan Cr 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 dan Cr akan mempengaruhi ekosistem yang ada didalamnya. 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. Selain itu logam berat Cr dapat menghambat daya reproduksi ikan dan

organisme air lainnya dan akhirnya terjadi kemusnahan suatu spesies tertentu. (<http://www.pikiran rakyat.com/cetak/0804/12/cakrawala/eureka.htm>).

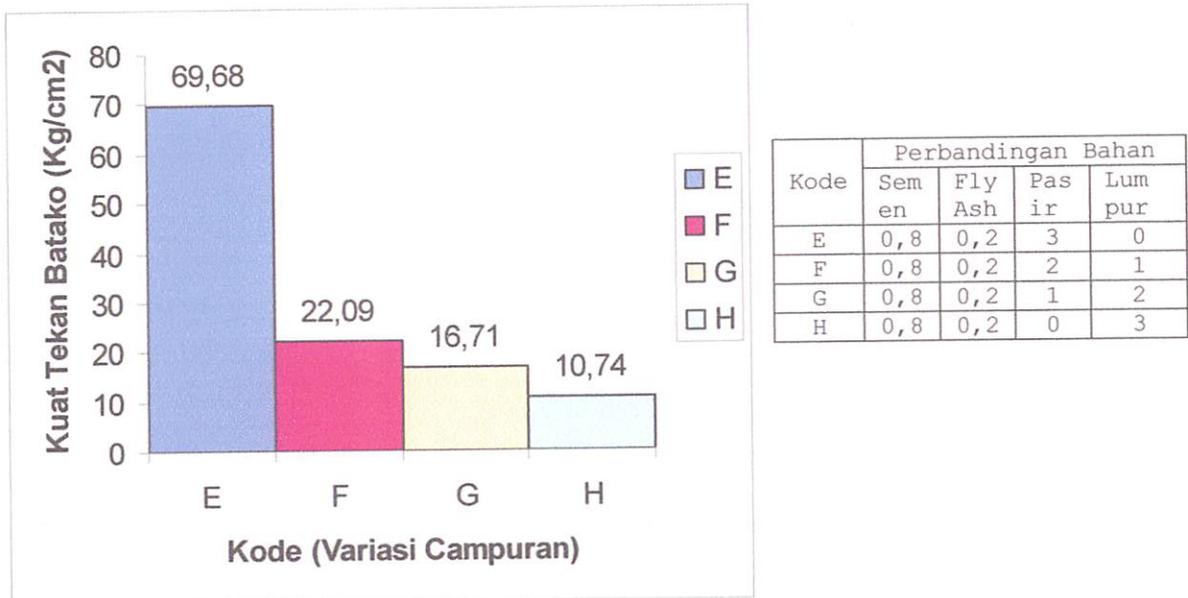
Kemungkinan terjadinya pencemaran logam berat Pb dan Cr di udara melalui pemakaian batako sebagai bahan konstruksi adalah kecil. Dilihat dari sifat fisik, Pb memiliki titik didih 1740°C dan Cr memiliki titik didih 2200°C sehingga ketika suhu udara sangat tinggi, logam berat Pb dan Cr dalam batako akan menguap dan terlepas ke udara. Senyawa-senyawa Pb dan Cr 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. Analisa Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Fly Ash

4.5.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako

4.5.1.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai kuat tekan batako dengan penambahan fly ash, dengan variasi campuran E, F, G dan H cenderung menurun. Hasil penelitian pada tabel 4.6 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Fly Ash

Berdasarkan tabel 4.6 dan gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan batako dengan penambahan fly ash mempunyai kecenderungan menurun seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Penurunan yang ditimbulkan berkisar antara 68,29% - 84,58%.

4.5.1.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Kuat Tekan Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Kuat Tekan Batako and Variasi Campuran = -0,871
 P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kuat tekan batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah -0,871. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel bertolakbelakang, hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka kuat tekan batako akan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka kuat tekan batako akan semakin meningkat. Tingkat signifikan kuat tekan batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.5.1.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan, digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Kuat Tekan Batako versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan Batako} = 67,5 - 49,4 \text{ Lumpur} + 10,4 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,537	3,133	21,56	0,000
Lumpur	-49,430	5,031	-9,83	0,000
Lumpur2	10,404	1,607	6,47	0,000

$$S = 5,56667 \quad R\text{-Sq} = 95,7\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 94,8\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6277,2	3138,6	101,29	0,000
Residual Error	9	278,9	31,0		
Total	11	6556,1			

Konstanta sebesar 67,5 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka kuat tekan batako yang dihasilkan adalah 67,5 kg/cm², dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 94,8%.

a. Uji Model Regresi Kuadratik

Daerah penolakan :

$F > F_{(\alpha;v1,v2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v1 = 2$ dan $v2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 101,29. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan $p\text{-value}$. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, $p\text{-value}$ bernilai 0. Artinya, model regresi kuadratik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah -9,83 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah 6,47. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 94,8%, hal ini berarti penurunan kuat tekan batako dapat dijelaskan oleh 94,8% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 5,2% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.5.1.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan,

dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Kuat Tekan versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	6552,030	2184,010	4291,63	0,000
Error	8	4,071	0,509		
Total	11	6556,101			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai kuat tekan batako dengan penambahan fly ash diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

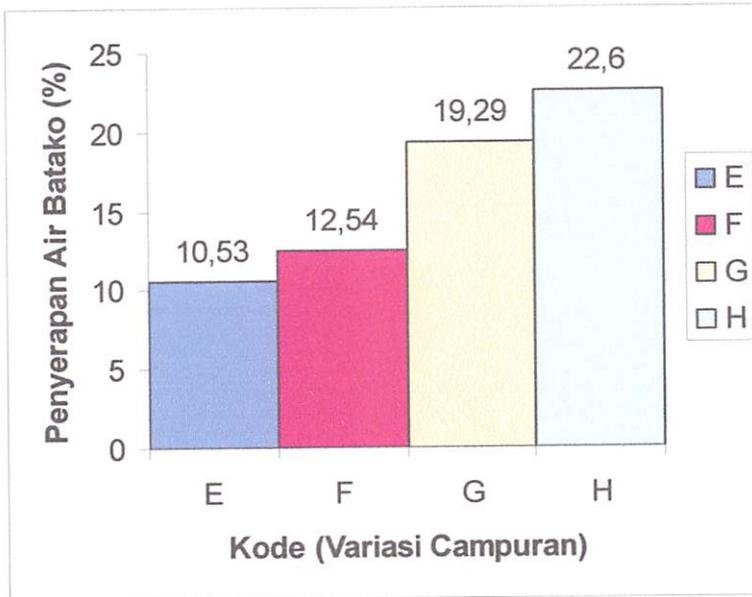
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 4291,63 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.5.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako

4.5.2.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai penyerapan air batako dengan penambahan fly ash dengan variasi campuran E, F, G dan H cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.9 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.6.



Kode	Perbandingan Bahan			
	Semen	Fly Ash	Pasir	Lumpur
E	0,8	0,2	3	0
F	0,8	0,2	2	1
G	0,8	0,2	1	2
H	0,8	0,2	0	3

Gambar 4.6. Grafik Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Fly Ash

Berdasarkan tabel 4.9 dan gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai penyerapan air batako dengan penambahan fly ash mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 19,08% - 114,62%.

4.5.2.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Penyerapan Air Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Penyerapan Air Batako and Variasi Campuran = 0,979
P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,979. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka penyerapan air batako semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan

untuk menggantikan lumpur, maka penyerapan air batako akan semakin menurun. Tingkat signifikan penyerapan air batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.5.2.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini digunakan metode fungsi kubik sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Penyerapan Air Batako versus Lumpur; Lumpur²; Lumpur³

The regression equation is

$$\text{Penyerapan Air Batako} = 10,5 - 3,09 \text{ Lumpur} + 6,46 \text{ Lumpur}^2 - 1,36 \text{ Lumpur}^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	10,5300	0,2038	51,68	0,000
Lumpur	-3,0856	0,7818	-3,95	0,004
Lumpur2	6,4583	0,6910	9,35	0,000
Lumpur3	-1,3628	0,1519	-8,97	0,000

S = 0,352928 R-Sq = 99,7% R-Sq(adj) = 99,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	288,266	96,089	771,43	0,000
Residual Error	8	0,996	0,125		
Total	11	289,262			

Konstanta sebesar 10,5 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka penyerapan air batako yang dihasilkan adalah 10,5%, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,5%.

a. Uji Model Regresi Kubik

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha;v1,v2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v1 = 2$ dan $v2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 771,43. Selain

menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kubik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Untuk parameter β_3

$H_0 : \beta_3 = 0$ vs $H_a = \beta_3 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau p-value $< \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah -3,95, nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah 9,35 dan nilai t untuk parameter lumpur³ (β_3) adalah -8,97. Hasil uji t untuk ketiga parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, ketiga parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,5%, hal ini berarti peningkatan penyerapan air batako dapat dijelaskan oleh 99,5% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,5% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.5.2.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Penyerapan Air versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	288,266	96,089	771,43	0,000
Error	8	0,996	0,125		
Total	11	289,262			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai penyerapan air batako dengan penambahan fly ash diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

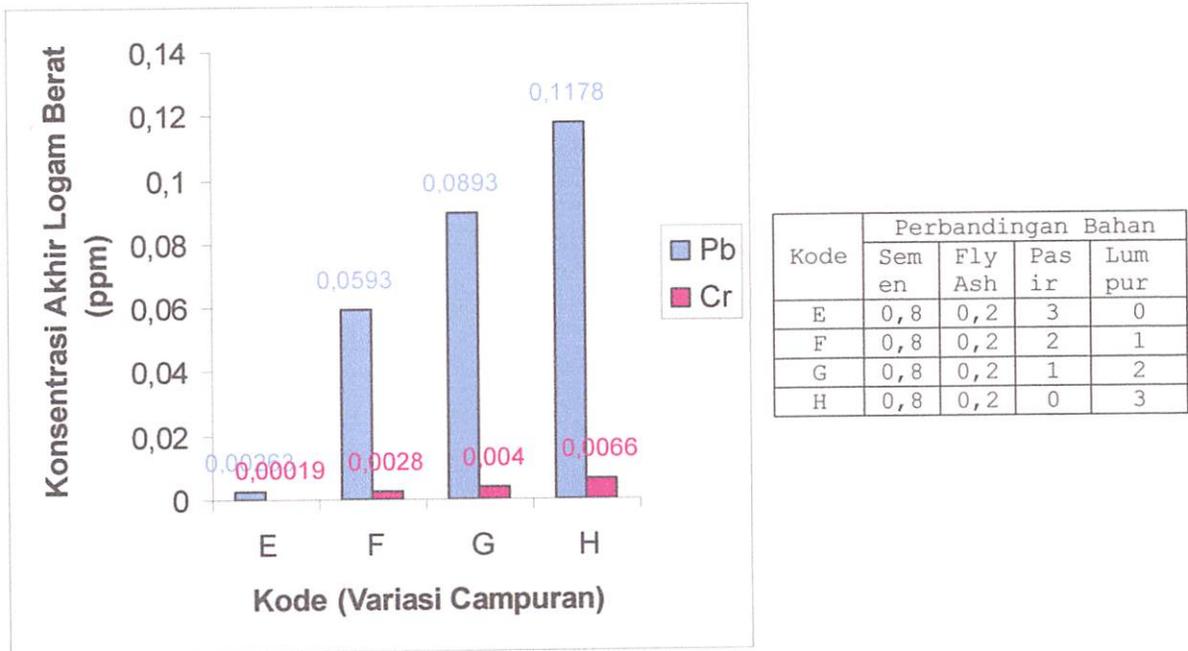
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 771,43 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.5.3. Analisa Uji Leaching Batako

4.5.3.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, konsentrasi logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching dalam batako dengan penambahan fly ash dengan perbandingan campuran E, F, G dan H cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.12 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako dengan Penambahan Fly Ash

Berdasarkan tabel 4.12 dan gambar 4.7 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Untuk logam berat Pb, peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 2154,75% - 4379,08%. Sedangkan untuk logam berat Cr, peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 1373,68% - 3373,68%.

4.5.3.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: % Penyisihan Pb; % Penyisihan Cr; Variasi Campuran

	%Penyisihan Pb	%Penyisihan Cr
Variasi Campuran	0,984	0,991
	0,000	0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,984 dan 0,991. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada

diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka konsentrasi akhir logam berat akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka konsentrasi akhir logam berat akan semakin menurun. Tingkat signifikan konsentrasi akhir logam berat dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 (<0,05) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.5.3.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan konsentrasi akhir logam berat, digunakan uji regresi sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini, untuk konsentrasi akhir logam berat Pb digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$, sedangkan untuk konsentrasi akhir logam berat Cr digunakan metode fungsi kubik sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

▪ Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhir Pb} = 0,00390 + 0,0587 \text{ Lumpur} - 0,00703 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,003900	0,001892	2,06	0,069
Lumpur	0,058667	0,003039	19,30	0,000
Lumpur ²	-0,0070333	0,0009708	-7,24	0,000

$$S = 0,00336298 \quad R\text{-Sq} = 99,5\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 99,4\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,021762	0,010881	962,12	0,000
Residual Error	9	0,000102	0,000011		
Total	11	0,021864			

Konstanta sebesar 0,00390 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Pb sebesar 0,00390, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,4%

a. Uji Model Regresi Kuadrat

Daerah penolakan :

$F > F_{(\alpha;v_1,v_2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha;v_1,v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 962,12. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan $p\text{-value}$. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, $p\text{-value}$ bernilai 0. Artinya, model regresi kuadrat yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 19,30 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -7,24. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,4%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 99,4% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,6% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

• **Regression Analysis: Konsentrasi akhir Cr versus Lumpur; Lumpur²; Lumpur³**

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhirCr} = 0,000193 + 0,00407 \text{ Lumpur} - 0,00192 \text{ Lumpur}^2 + 0,000429 \text{ Lumpur}^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00019333	0,00008671	2,23	0,056
Lumpur	0,0040678	0,0003327	12,23	0,000
Lumpur ²	-0,0019233	0,0002941	-6,54	0,000
Lumpur ³	0,00042889	0,00006463	6,64	0,000

S = 0,000150194 R-Sq = 99,7% R-Sq(adj) = 99,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000065392	0,000021797	966,26	0,000
Residual Error	8	0,000000180	0,000000023		
Total	11	0,000065572			

Konstanta sebesar 0,000193 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching sebesar 0,000193 dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,6%.

a. Uji Model Regresi Kubik

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha;v_1,v_2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha;v_1,v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 966,26. Selain menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kubik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$$H_0 : \beta_1 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_1 \neq 0$$

Untuk parameter β_2

$$H_0 : \beta_2 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_2 \neq 0$$

Untuk parameter β_3

$$H_0 : \beta_3 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_3 \neq 0$$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha, n)}|$ atau p-value $< \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 12,23, nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -6,54 dan nilai t untuk parameter lumpur³ (β_3) adalah 6,64. Hasil uji t untuk ketiga parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, ketiga parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,6%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 99,6% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,4% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.5.3.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan konsentrasi akhir logam berat, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0218587	0,0072862	10559,76	0,000
Error	8	0,0000055	0,0000007		
Total	11	0,0218642			

One-way ANOVA: Konsentrasi akhirCr versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0000654	0,0000218	966,26	0,000
Error	8	0,0000002	0,0000000		
Total	11	0,0000656			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara konsentrasi akhir logam berat diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

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

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 10559,76 untuk logam berat Pb dan 966,26 untuk logam berat Cr, jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.6. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Fly Ash

4.6.1. Uji Tampak Luar Batako

Berdasarkan tabel 4.3 terlihat bahwa warna dan karakteristik batako pada tiap variasi campuran berbeda. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) dan 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (F), batako yang dihasilkan coklat keabu-abuan. Hal ini disebabkan karena warna fly ash yang coklat bercampur dengan semen dan pasir yang berwarna abu-abu. Meskipun fly ash hanya 20% dari semen, namun memberikan pengaruh warna kecoklatan. Hal ini sesuai dengan karakteristik warna fly ash Paiton, yaitu abu-abu sampai coklat (Didik Wahyudi, 2005) sehingga memberikan warna kecoklatan pada batako dengan penambahan fly ash. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (G) dan 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H), batako yang dihasilkan berwarna kecoklatan. Hal ini disebabkan karena pada variasi G dan H, lumpur yang dipakai lebih banyak sehingga warna lumpur yang kecoklatan dan fly ash yang coklat lebih dominan dibanding warna pasir dan semen.

Karakteristik batako pada tiap variasi campuran juga berbeda. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) dan 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (F), batako yang dihasilkan memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989 yaitu rusuknya siku satu terhadap yang lain, tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan, dan tidak menunjukkan retak-retak. Sedangkan pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (G) dan 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H) batako yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989, karena rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan, di beberapa tempat menunjukkan retak-retak dan berjamur pada permukaan batako. Hal ini disebabkan karena lumpur yang dipakai bersifat lemah, lunak dan

mengandung bahan organik yang tinggi (60,795%) sehingga pada saat terjadi proses hidrasi dengan pasta semen, lumpur tidak dapat berikatan atau melekat dengan sempurna. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996) Selain itu, lumpur dengan kandungan organik yang tinggi mengalami proses pembusukkan pada saat bercampur dengan air dan pada saat perawatan batako di udara lembab, sehingga muncul jamur pada permukaan batako.

Garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur bersifat sangat agresif terhadap semen, yang reaksinya dengan semen akan menghasilkan senyawa-senyawa yang volumenya mengembang, lalu sedikit demi sedikit merusak beton sehingga mengakibatkan retak-retak di beberapa tempat (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001).

4.6.2. Uji Kuat Tekan Batako

Berdasarkan gambar 4.5, kuat tekan batako yang paling tinggi adalah 69,68 kg/cm² pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) dan kuat tekan batako yang paling rendah adalah 10,74 kg/cm² pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H). Kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat II (SNI 03-0349-1989). Untuk kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (F) yaitu 22,09 kg/cm², memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat IV (SNI 03-0349-1989). Sedangkan kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (G) sebesar 16,71 kg/cm² dan kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H) sebesar 10,74 kg/cm² tidak memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang (SNI 03-0349-1989).

Variasi campuran bahan-bahan pembuat batako mempunyai pengaruh besar terhadap kuat tekan batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.5.1.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar -0,871 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka kuat tekan batako yang dihasilkan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka kuat tekan batako akan semakin meningkat.

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 agregrat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001). Agregrat 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 batako dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda. Lumpur dari IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dipakai sebagai bahan campuran bersifat lebih lunak dari pasir. Lumpur 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 (60,795%), 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 agregrat 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 lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang akan ikut bereaksi, sehingga berpengaruh jelek terhadap beton. Bahan organik ini memperlambat pengikatan (setting) semen, dan juga dapat memperlambat kekuatan beton sehingga pasta semen tidak dapat mengikat/melekatkan butir-butir lumpur dengan sempurna. Karena lekatan ini sangat penting dalam aduk beton, maka pengaruhnya terhadap kekuatan dan daya tahan beton yang semakin menurun dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Bila dilihat pada tabel spesifikasi mutu agregrat, agregrat yang baik tidak boleh mengandung bahan organik/lumpur lebih dari 5%. Dengan kandungan bahan organik sebesar 60,795% menyebabkan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang tidak layak digunakan sebagai agregrat dalam beton.

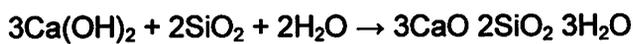
Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan fly ash sebesar 20% dari semen memberikan hasil kuat tekan yang lebih besar

dibanding dengan batako tanpa pozzolan dan abu ampas tebu. Hal ini disebabkan fly ash dari PLTU Paiton memiliki unsur-unsur pozzolan yaitu SiO_2 (53,76%) dan Al_2O_3 (36,91%) yang tinggi sehingga reaktifitasnya juga tinggi. Selain itu 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. Kandungan silika aktif dalam fly ash ini mempunyai sifat memperlambat setting time mengimbangi unsur C_3A dalam semen sehingga dihasilkan kekuatan yang baik (Summarin dkk, 1983). Kandungan senyawa silika reaktif (SiO_2) pada fly ash bereaksi dengan kalsium hidroksida (ikatan kapur) pada semen dan menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (reaksi Puzzolonik). Seperti kita ketahui bahwa hidrasi semen menghasilkan komponen utama kekuatan beton $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ atau kalsium silikat hidrat dan senyawa kalsium hidroksida atau $3\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang bisa berakibat buruk bagi beton (korosi dan pengembangan volume beton).

Reaksi kimia hidrasi semen :



Reaksi kimia Puzzolanik (semen dan Fly ash) :



Dengan reaksi itu, unsur kelemahan beton diubah menjadi unsur kekuatan beton, sehingga akan menambah kepadatan struktur dan perkembangan kekuatan beton.

Peningkatan kuat tekan beton terjadi pada penambahan fly ash 10 - 20 % dalam semen portland (Triwulan,1994). Penambahan fly ash 20% mampu memberikan kenaikan kuat tekan kurang lebih 50% dibanding yang tidak menggunakan pozzolan (Lane dan Best, 1982 dalam Susilo 1996). Hal yang sama diungkapkan Susilo (1996) bahwa fly ash akan menjadikan campuran beton kohesif karena fly ash dapat menggantikan sebagian kehalusan agregat. Sehingga penelitian ini sangat sesuai dengan yang diungkapkan (Berk dan Malhotra, 1989 dalam Susilo, 1996) bahwa fly ash juga dapat meningkatkan kekuatan. Namun karena tingginya kandungan bahan organik dalam lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang (60,795%), maka kenaikan kuat tekan batako tidak dapat mencapai 50% karena semen dan fly ash tidak dapat melekatkan butir-butir lumpur dengan sempurna.

Penggunaan agregat pasir sangat membantu dalam pengikatan lumpur (pembuatan mix desain). Lumpur yang halus sulit diikat oleh semen jika tanpa

pasir, hal ini terlihat dari hasil uji kuat tekan batako tanpa pasir memiliki kuat tekan yang sangat rendah. Sehingga peran agregrat sangat penting dalam memberikan sumbangan kuat tekan.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan kuat tekan batako. Dimana 94,8% variabel lumpur dapat mempengaruhi penurunan kuat tekan batako. Sedangkan sisanya 5,2% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi kuat tekan batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi kuat tekan batako dengan menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan kuat tekan batako.

4.6.3. Uji Penyerapan Air Batako

Berdasarkan gambar 4.6, penyerapan air batako yang paling tinggi adalah 22,60% pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H) dan penyerapan air batako yang paling rendah adalah 10,53% pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E). Penyerapan air batako pada semua komposisi yaitu 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) sebesar 10,53%, komposisi 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (F) sebesar 12,54%, komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (G) sebesar 19,29%, dan komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H) sebesar 22,60% memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat I (SNI 03-0349-1989) yaitu maksimal 25%.

Variasi campuran bahan-bahan pembuatan batako mempunyai pengaruh besar terhadap penyerapan air batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.5.2.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar 0,979 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka penyerapan air batako akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka penyerapan air batako akan semakin menurun. Kuatnya hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan

lumpur yang berbeda. Karena agregrat menempati sampai 80% dari volume betonnya, maka porositas agregrat memberikan kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan.

Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang memiliki daya serap air yang tinggi dibandingkan pasir. Dengan berat jenis lumpur sebesar $1,703 \text{ gr/cm}^3$ bila dijadikan agregrat, termasuk dalam kategori agregrat ringan. Agregrat ringan umumnya mempunyai daya serap air yang tinggi (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996). Sifat fisik pasir yang keras, menyebabkan porinya kedap air, sehingga sulit baginya untuk menyerap air. Sedangkan lumpur bersifat lunak sehingga masih memungkinkan pori-porinya terisi oleh air. Apalagi jika setelah ikatan semen mengeras, lumpur akan menyusut volumenya. Adanya garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur dapat menyerap air dari udara, sehingga mengakibatkan lumpur selalu dalam keadaan basah, dan juga dapat mengakibatkan pengembangan setelah beton selesai dibuat.

Besarnya kadar bahan organik yang ada dalam lumpur yang ikut bereaksi pada saat hidrasi semen, menyebabkan pengikatan semen tidak optimal sehingga batako menjadi tidak padat dan rongga-rongga antar agregrat yang terbentuk semakin banyak. Rongga-rongga ini menjadi reservoir air sehingga menyebabkan penyerapan air batako meningkat seiring dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai.

Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan fly ash memberikan hasil penyerapan air yang lebih kecil dibanding dengan batako tanpa pozzolan dan abu ampas tebu. Hal ini disebabkan fly ash akan membentuk ikatan yang padat seperti semen dari reaksi SiO_2 dan Ca(OH)_2 yang menghasilkan silikat hidrat (Mindes & Young, 1981 dalam Evita Sari 2000). Dari hasil penelitian juga diketahui fly ash dari PLTU Paiton memiliki berat jenis yang besar yaitu $2,843 \text{ gr/cm}^2$, 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. Hal ini sesuai juga dengan yang diungkapkan Karman Somawijaya, 1991 bahwa salah satu keuntungan memakai fly ash sebagai bahan campuran semen adalah meningkatkan kerapatan beton sehingga beton akan lebih kedap air.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan penyerapan air batako. Dimana 99,5% variabel lumpur

dapat mempengaruhi peningkatan penyerapan air batako. Sedangkan sisanya 0,5% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi penyerapan air batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi penyerapan air batako dengan menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan penyerapan air batako.

Dari penelitian uji penyerapan air, timbul efek samping dari proses perendaman batako yaitu bau busuk pada air rendaman batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D). Hal ini mungkin disebabkan oleh kontak antara air dengan kandungan organik yang tinggi dalam lumpur sehingga terjadi proses pembusukkan dan penguraian oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut dalam air. Dari peristiwa ini, batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D) tidak layak dipakai karena dapat mencemari lingkungan apabila batako kontak dengan air hujan. Air hujan yang sudah terkontaminasi dengan batako akan mengalir ke selokan, sungai dan badan air lainnya mengakibatkan terganggunya ekosistem air karena bau busuk tersebut. Begitu juga air yang meresap kedalam tanah, akan mencemari tanah dan air tanah (Sugiharto, 1987)

4.6.4. Uji Leaching Batako

Berdasarkan gambar 4.7, konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling tinggi adalah 0,1178 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling tinggi adalah 0,0066 ppm pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (H), sedangkan konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling rendah adalah 0,00263 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling rendah adalah 0,00019 ppm pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E). Konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching pada semua variasi campuran masih berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang diijinkan yaitu 5,0 ppm.

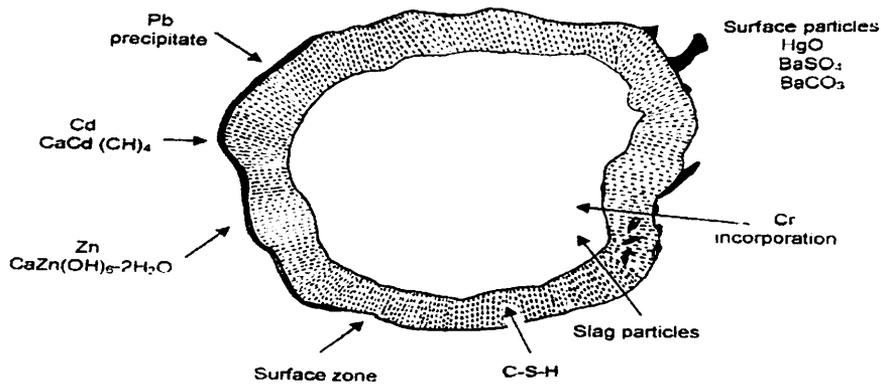
Variasi campuran bahan-bahan pembuatan batako mempunyai pengaruh besar terhadap konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Hal ini dapat dilihat

pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.5.3.2, dimana nilai koefisien korelasi antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr dalam batako dengan variasi campuran sebesar 0,984 (untuk Pb) dan 0,991 (untuk Cr) 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin menurun. Kuatnya hubungan antara konsentrasi akhir logam berat dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda, dimana lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang memiliki kandungan logam berat Pb sebesar 0,5794 ppm dan Cr sebesar 0,011 ppm. Oleh sebab itu lumpur memberikan kontribusi pada konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching batako.

Dari penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan fly ash menghasilkan lindi yang mengandung logam berat Pb dan Cr dengan konsentrasi lebih kecil dibanding dengan batako tanpa pozzolan dan abu ampas tebu, sehingga dapat mengurangi potensi bahaya dari logam berat Pb dan Cr. 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 : $\text{C}_2\text{S}, \text{C}_3\text{S}, \text{C}_3\text{A}, \text{C}_4\text{AF} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O (CSH)} + \text{Ca(OH)}_2$ (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996). Kandungan senyawa silika reaktif (SiO_2) pada fly ash bereaksi dengan hasil sampingan dari reaksi semen dengan air Ca(OH)_2 menghasilkan senyawa CSH (reaksi Puzzolonik) $3\text{Ca(OH)}_2 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ sehingga beton menjadi lebih padat dan logam berat yang terperangkap dalam batako semakin banyak, karena senyawa semen yang terbentuk (hasil samping = Ca(OH)_2) bermuatan negatif (-) dan logam berat bermuatan positif (+). Pb dan Cr terikat dalam bentuk garam-garam hidroksida. Endapan tersebut terperangkap dalam struktur kristal yang kaku dan keras. (Ure, 1995 dalam Evita Sari, 2000). Hal ini sesuai juga dengan yang diungkapkan Karman Somawijaya, 1991 bahwa salah satu keuntungan memakai fly ash

sebagai bahan campuran semen adalah menambah daya tahan beton terhadap senyawa-senyawa agresif.

Adapun mekanisme terperangkapnya Pb dan Cr dalam campuran semen dan fly ash adalah sebagaimana terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen
Sumber : Ure, 1995 dalam Evitasari, 2000

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (E) konsentrasi akhir logam berat Pb menunjukkan nilai 0,00263 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr menunjukkan nilai 0,00019 ppm. Padahal komposisi ini merupakan kontrol yang harusnya konsentrasi logam berat Pb dan Cr adalah 0. Hal ini bertentangan dengan kenyataan yang ada, kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh agregat pasir yang didalamnya terkandung Pb dan Cr. Hal lain yang mungkin terjadi adalah pengaruh kontak dengan sekop dan alat penjemur lumpur yang digunakan juga untuk mengaduk mix desain yang mengandung lumpur atau juga mungkin karena pengaruh cat yang mengandung Cr yang dipakai untuk memberikan kode pada batako.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Dimana 99,4% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam berat Pb dan 99,6% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan logam berat Cr. Sedangkan sisanya 0,6% (untuk Pb) dan 0,4% (untuk Cr) dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching batako yang menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya

menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr.

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

- Tercemarnya tanah dan air tanah akibat peresapan lindi yang mengandung logam berat Pb dan Cr sehingga terjadi absorpsi Pb dan Cr 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 dan Cr akan mempengaruhi ekosistem yang ada didalamnya. 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. Selain itu logam berat Cr dapat menghambat daya reproduksi ikan dan organisme air lainnya dan akhirnya terjadi kemusnahan suatu spesies tertentu. (<http://www.pikiran rakyat.com/cetak/0804/12/cakrawala/eureka.htm>).

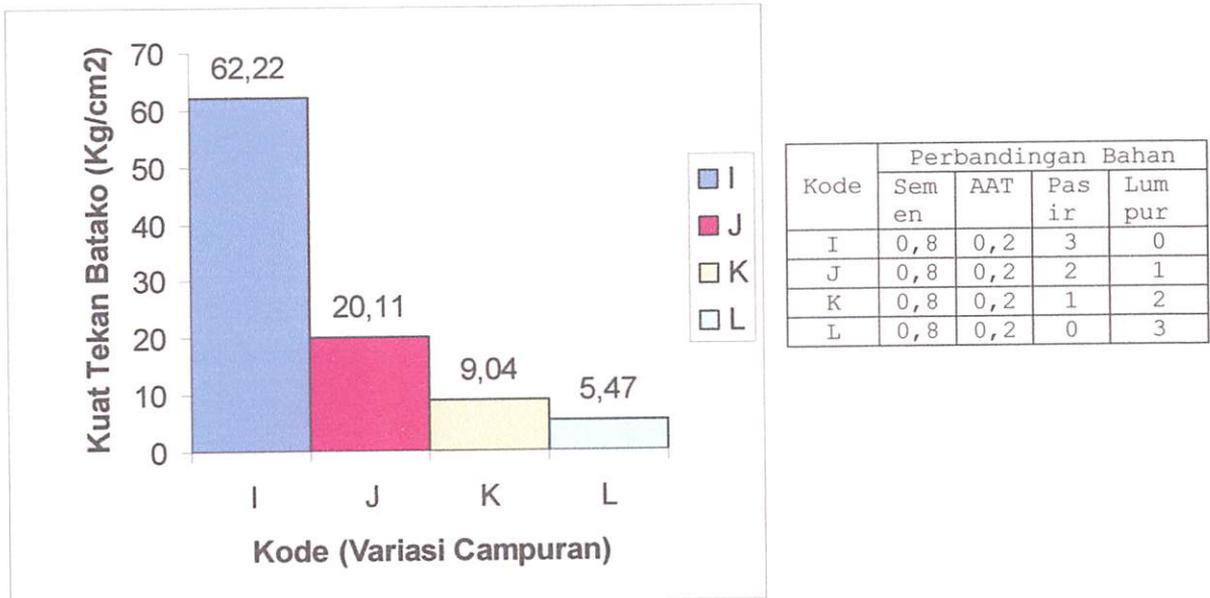
Kemungkinan terjadinya pencemaran logam berat Pb dan Cr di udara melalui pemakaian batako sebagai bahan konstruksi adalah kecil. Dilihat dari sifat fisik, Pb memiliki titik didih 1740°C dan Cr memiliki titik didih 2200°C sehingga ketika suhu udara sangat tinggi, logam berat Pb dan Cr dalam batako akan menguap dan terlepas ke udara. Senyawa-senyawa Pb dan Cr 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).

4.7. Analisa Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

4.7.1. Analisa Uji Kuat Tekan Batako

4.7.1.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai kuat tekan batako dengan penambahan abu ampas tebu dengan variasi campuran I, J, K dan L cenderung menurun. Hasil penelitian pada tabel 4.7 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik Kuat Tekan Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Berdasarkan tabel 4.7 dan gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan batako dengan penambahan abu ampas tebu mempunyai kecenderungan menurun seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Penurunan yang ditimbulkan berkisar antara 67,67% - 91,20%.

4.7.1.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Kuat Tekan Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Kuat Tekan Batako and Variasi Campuran = -0,897
P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara kuat tekan batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah -0,897. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel kuat karena berada diantara 0,7 dengan 0,9 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel bertolakbelakang, hal ini ditunjukkan dengan adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka kuat tekan batako akan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka kuat tekan batako akan semakin meningkat. Tingkat signifikan kuat tekan batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 (<0,05) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.7.1.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan} = 61,0 - 47,0 \text{ Lumpur} + 9,64 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	61,047	1,736	35,17	0,000
Lumpur	-47,041	2,787	-16,88	0,000
Lumpur2	9,6367	0,8904	10,82	0,000

$$S = 3,08434 \quad R\text{-Sq} = 98,6\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 98,3\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6045,6	3022,8	317,75	0,000
Residual Error	9	85,6	9,5		
Total	11	6131,2			

Konstanta sebesar 61,0 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka kuat tekan batako yang dihasilkan adalah 61,0 kg/cm², dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 98,3%.

a. Uji Model Regresi Kuadrat

Daerah penolakan :

$F > F_{(\alpha;v1,v2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v1 = 2$ dan $v2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 317,75. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan $p\text{-value}$. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, $p\text{-value}$ bernilai 0. Artinya, model regresi kuadrat yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau $p\text{-value} < \alpha$

Keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah -16,88 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah 10,82. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 98,3%, hal ini berarti penurunan kuat tekan batako dapat dijelaskan oleh 98,3% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 1,7% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.7.1.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai kuat tekan batako yang dihasilkan,

dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Kuat Tekan Batako versus Variasi Campuran

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	6128,588	2042,863	6303,19	0,000
Error	8	2,593	0,324		
Total	11	6131,181			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai kuat tekan batako dengan penambahan abu ampas tebu diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

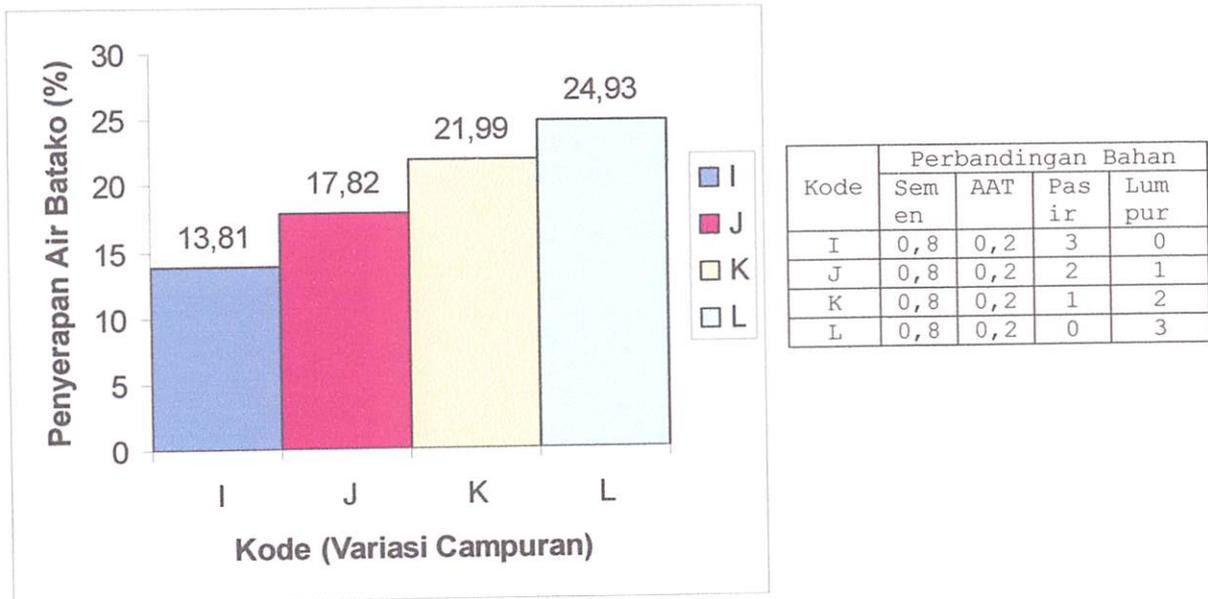
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 6303,19 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.7.2. Analisa Uji Penyerapan Air Batako

4.7.2.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, nilai penyerapan air batako dengan penambahan abu ampas tebu dengan variasi campuran I, J, K dan L cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.10 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik Penyerapan Air Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Berdasarkan tabel 4.10 dan gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai penyerapan air batako dengan penambahan abu ampas tebu mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Peningkatan yang ditimbulkan bisa mencapai 29,03% - 80,52%.

4.7.2.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: Penyerapan Air Batako; Variasi Campuran

Pearson correlation of Penyerapan Air Batako and Variasi Campuran = 0,994
P-Value = 0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,994. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka penyerapan air batako

semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka penyerapan air batako akan semakin menurun. Tingkat signifikan penyerapan air batako dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.7.2.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan digunakan uji regresi, sehingga diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini digunakan metode fungsi kuadrat sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

Regression Analysis: Penyerapan Air Batako versus Lumpur; Lumpur²

The regression equation is

$$\text{Penyerapan Air Batako} = 13,7 + 4,56 \text{ Lumpur} - 0,268 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,7370	0,2352	58,39	0,000
Lumpur	4,5603	0,3778	12,07	0,000
Lumpur2	-0,2683	0,1207	-2,22	0,053

$$S = 0,418039 \quad R\text{-Sq} = 99,3\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 99,1\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	212,40	106,20	607,71	0,000
Residual Error	9	1,57	0,17		
Total	11	213,97			

Konstanta sebesar 13,7 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka penyerapan air batako yang dihasilkan adalah 13,7%, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,1%.

a. Uji Model Regresi Kuadrat

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha, v_1, v_2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(0,05;2,9)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 607,71. Selain menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan

hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kuadratik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$H_0 : \beta_1 = 0$ vs $H_a = \beta_1 \neq 0$

Untuk parameter β_2

$H_0 : \beta_2 = 0$ vs $H_a = \beta_2 \neq 0$

Daerah penolakan :

$T > |t_{(\alpha,n)}|$ atau p-value $< \alpha$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 12,07 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -2,22. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,1%, hal ini berarti peningkatan penyerapan air batako dapat dijelaskan oleh 99,1% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 0,9% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.7.2.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan nilai penyerapan air batako yang dihasilkan, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Penyerapan Air Batako versus Variasi Campuran

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	212,693	70,898	442,56	0,000
Error	8	1,282	0,160		
Total	11	213,975			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara nilai penyerapan air batako dengan penambahan abu ampas tebu diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

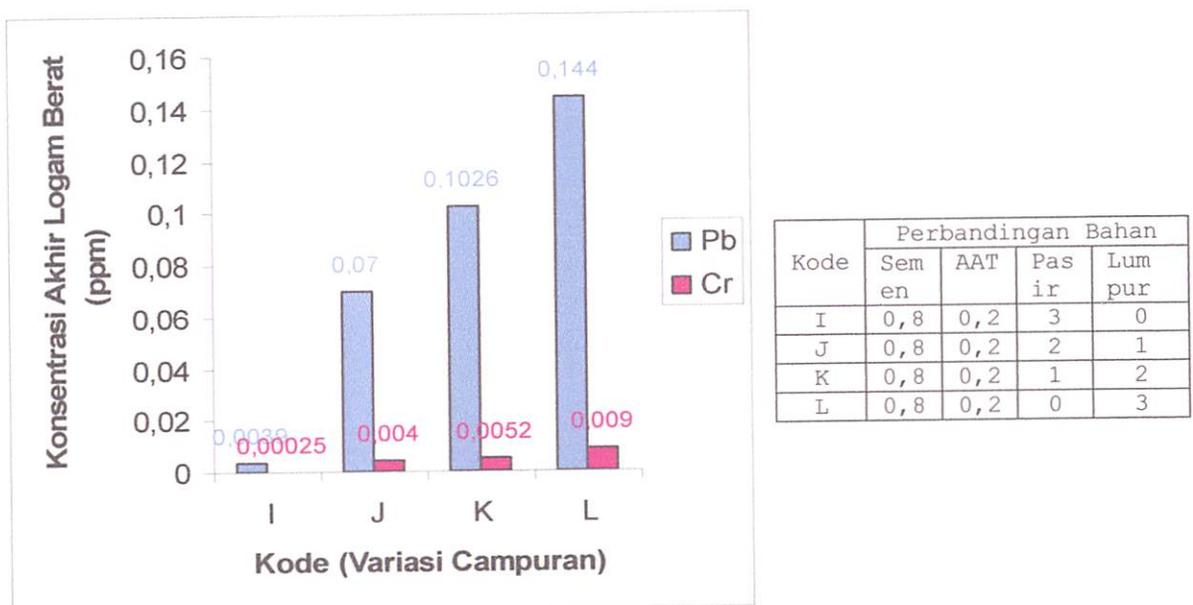
- Jika probabilitas $> 0,05$, H_0 diterima.
- Jika probabilitas $< 0,05$, H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 442,56 dan jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.7.3. Analisa Uji Leaching Batako

4.7.3.1. Analisa Deskriptif

Dari data hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa, konsentrasi logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching dalam batako dengan penambahan abu ampas tebu dengan perbandingan campuran I, J, K dan L cenderung meningkat. Hasil penelitian pada tabel 4.13 diplotkan ke grafik seperti pada gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik Konsentrasi Akhir Logam Berat Pb dan Cr dalam Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

Berdasarkan tabel 4.13 dan gambar 4.11 menunjukkan bahwa konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching mempunyai kecenderungan meningkat seiring dengan semakin banyaknya bagian lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir. Untuk logam berat Pb, peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 1694,87% - 3592,30%. Sedangkan untuk logam berat Cr, peningkatan yang ditimbulkan berkisar antara 1500% - 3500%.

4.7.3.2. Analisa Korelasi

Untuk mengetahui ada atau tidaknya dan kuat lemahnya hubungan antara variabel yang diamati, maka digunakan analisa korelasi. Hasil analisa korelasi tersaji sebagai berikut :

Correlations: % Penyisihan Pb; % Penyisihan Cr; Variasi Campuran

	%Penyisihan Pb	%Penyisihan Cr
Variasi Campuran	0,988	0,984
	0,000	0,000

Berdasarkan hasil uji diatas, menunjukkan bahwa tingkat hubungan antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr yang tercuci melalui proses leaching dengan variasi campuran yang dapat diketahui dari koefisien korelasinya adalah 0,988 dan 0,984. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel sangat kuat karena berada diantara 0,9 dengan 1 (Achmad Z. S, 2005). Hubungan kedua variabel searah, hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya tanda negatif pada nilai koefisien korelasi, yang berarti semakin banyak bagian lumpur yang digunakan untuk menggantikan pasir, maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang digunakan untuk menggantikan lumpur, maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin menurun. Tingkat signifikan konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching dan variasi campuran yang ditunjukkan dengan nilai 0,000 ($<0,05$) maka korelasinya nyata (signifikan).

4.7.3.3. Analisa Regresi

Untuk mengetahui besarnya hubungan antara variasi bagian lumpur yang dipakai dengan konsentrasi akhir logam berat, digunakan uji regresi sehingga

diketahui ketepatan dan atau signifikansi prediksi dari hubungan/korelasi data. Pada analisa ini, untuk konsentrasi akhir logam berat Pb digunakan metode fungsi kuadratik sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2$, sedangkan untuk konsentrasi akhir logam berat Cr digunakan metode fungsi kubik sebagai regresi, dengan bentuk persamaan $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$. Hasil analisa regresi tersaji sebagai berikut :

▪ **Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur²**

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhir Pb} = 0,00602 + 0,0638 \text{ Lumpur} - 0,00616 \text{ Lumpur}^2$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,006018	0,003091	1,95	0,083
Lumpur	0,063785	0,004964	12,85	0,000
Lumpur ²	-0,006158	0,001586	-3,88	0,004

$$S = 0,00549309 \quad R\text{-Sq} = 99,1\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 98,9\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,031250	0,015625	517,83	0,000
Residual Error	9	0,000272	0,000030		
Total	11	0,031522			

Konstanta sebesar 0,00602 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching sebesar 0,00602, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 98,9%.

a. Uji Model Regresi Kuadratik

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha, v_1, v_2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha, v_1, v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 517,83. Selain menggunakan statistik F , dapat pula menggunakan p -value. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, p -value bernilai 0. Artinya, model regresi kubik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$$H_0 : \beta_1 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_1 \neq 0$$

Untuk parameter β_2

$$H_0 : \beta_2 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_2 \neq 0$$

Daerah penolakan :

$$T > |t_{(\alpha, n)}| \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 12,85 dan nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -3,88. Hasil uji t untuk kedua parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kedua parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, kedua parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 98,9%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Pb yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 98,9% variabel lumpur. Sedangkan sisanya 1,1% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

• Regression Analysis: Konsentrasi akhir Cr versus Lumpur; Lumpur²; Lumpur³

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhir Cr} = 0,000247 + 0,00658 \text{ Lumpur} - 0,00367 \text{ Lumpur}^2 + 0,000814 \text{ Lumpur}^3$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00024667	0,00002892	8,53	0,000
Lumpur	0,0065756	0,0001109	59,27	0,000
Lumpur ²	-0,00367000	0,00009806	-37,43	0,000
Lumpur ³	0,00081444	0,00002155	37,79	0,000

$$S = 0,0000500833 \quad R\text{-Sq} = 99,6\% \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 99,5\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000115594	0,000038531	15361,36	0,000
Residual Error	8	0,000000020	0,000000003		
Total	11	0,000115614			

Konstanta sebesar 0,000247 menyatakan bahwa jika variasi bagian lumpur = 0 maka konsentrasi akhir logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching sebesar 0,00247, dengan ukuran kecukupan model regresi sebesar 99,5%.

a. Uji Model Regresi Kubik

Daerah penolakan :

$$F > F_{(\alpha;v_1,v_2)} \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $v_1 = 2$ dan $v_2 = 9$, maka nilai F tabel untuk $F_{(\alpha;v_1,v_2)} = 4,26$. Nilai statistik F tabel kurang dari nilai statistik F yang diperoleh dari pengujian, yaitu 15361,36. Selain menggunakan statistik F, dapat pula menggunakan p-value. Berdasarkan hasil uji regresi diatas, p-value bernilai 0. Artinya, model regresi kubik yang telah dibuat bisa digunakan.

b. Memeriksa Parameter Model

Hipotesis :

Untuk parameter β_1

$$H_0 : \beta_1 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_1 \neq 0$$

Untuk parameter β_2

$$H_0 : \beta_2 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_2 \neq 0$$

Untuk parameter β_3

$$H_0 : \beta_3 = 0 \text{ vs } H_a = \beta_3 \neq 0$$

Daerah penolakan :

$$T > |t_{(\alpha,n)}| \text{ atau } p\text{-value} < \alpha$$

Pengambilan keputusan:

Level toleransi (α) yang digunakan adalah 5%. Dalam hal ini, $n = 12$ maka nilai t tabel untuk $t_{(0,05;12)} = 1,782$. Dari hasil uji regresi diatas, nilai t untuk parameter lumpur (β_1) adalah 59,27, nilai t untuk parameter lumpur² (β_2) adalah -37,43 dan nilai t untuk parameter lumpur³ (β_3) adalah 37,79. Hasil uji t untuk ketiga parameter sama-sama berada diatas nilai $t_{(0,05;12)}$. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa ketiga parameter dalam model tidak sama dengan 0. Artinya, ketiga parameter secara statistik harus ada dalam model.

Dari hasil analisa regresi juga didapatkan nilai R square adjust sebesar 99,5%, hal ini berarti peningkatan konsentrasi logam berat Cr yang tercuci melalui proses leaching dapat dijelaskan oleh 99,5% variabel lumpur. Sedangkan

sisanya 0,5% dijelaskan oleh sebab-sebab lain yang tidak masuk ke dalam model.

4.7.3.4. Analisa ANOVA

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh berbagai variasi campuran bahan dalam pembuatan batako dengan konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching, dapat dilakukan pengujian hipotesis dengan menggunakan metode statistik analisis varian satu faktor (ANOVA). Hasil uji tersebut tersaji sebagai berikut :

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0315193	0,0105064	36125,25	0,000
Error	8	0,0000023	0,0000003		
Total	11	0,0315216			

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Cr versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0001156	0,0000385	15361,36	0,000
Error	8	0,0000000	0,0000000		
Total	11	0,0001156			

Dari hasil uji diatas dapat dilihat apakah terdapat perbedaan yang nyata antara konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching diantara kelompok variasi campuran yang dipakai. Hipotesis yang diberikan adalah :

H_0 : keempat variasi campuran yang dipakai adalah identik

H_a : keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik

Pengambilan keputusan berdasarkan:

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

Berdasarkan hasil uji ANOVA diatas, nilai F hitung sebesar 36125,25 untuk logam berat Pb dan 15361,36 untuk logam berat Cr, jika dilihat pada tabel distribusi F, nilai F tabel adalah 4,07. Karena nilai F hitung lebih besar daripada F tabel maka keputusannya adalah menolak hipotesis awal (H_0). Dengan nilai probabilitas 0,000, maka H_0 ditolak. Artinya keempat variasi campuran yang dipakai adalah tidak identik/berbeda nyata.

4.8. Pembahasan Uji Syarat Mutu Batako dengan Penambahan Abu Ampas Tebu

4.8.1. Uji Tampak Luar Batako

Berdasarkan tabel 4.4 terlihat bahwa warna dan karakteristik batako pada tiap variasi campuran berbeda. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) dan 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (J) , batako yang dihasilkan hitam keabu-abuan. Hal ini disebabkan karena warna abu ampas tebu yang hitam bercampur dengan semen dan pasir yang berwarna abu-abu. Meskipun abu ampas tebu hanya 20% dari semen, namun memberikan pengaruh warna kehitaman. Hal ini sesuai dengan karakteristik warna abu ampas tebu PG. Kebon Agung Malang, yaitu abu-abu sampai kehitaman sehingga memberikan warna kehitaman pada batako dengan penambahan abu ampas tebu. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (K) dan 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L), batako yang dihasilkan berwarna kecoklatan. Hal ini disebabkan karena pada variasi K dan L, lumpur yang dipakai lebih banyak sehingga warna lumpur yang kecoklatan lebih dominan dibanding warna pasir, semen dan abu ampas tebu.

Karakteristik batako pada tiap variasi campuran juga berbeda. Pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) dan 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (J), batako yang dihasilkan memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989 yaitu rusuknya siku satu terhadap yang lain, tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan, dan tidak menunjukkan retak-retak. Sedangkan pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (K) dan 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L) batako yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan SNI 03-0349-1989, karena rusuk-rusuknya mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan, di beberapa tempat menunjukkan retak-retak dan berjamur pada permukaan batako. Hal ini disebabkan karena lumpur yang dipakai bersifat lemah, lunak dan mengandung bahan organik yang tinggi (60,743%) sehingga pada saat terjadi proses hidrasi dengan pasta semen, lumpur tidak dapat berikatan atau melekat dengan sempurna. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996) Selain itu, lumpur dengan kandungan organik yang tinggi mengalami proses pembusukkan pada saat bercampur dengan air dan pada saat perawatan batako di udara lembab, sehingga muncul jamur pada permukaan batako.

Garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur bersifat sangat agresif terhadap semen, yang reaksinya dengan semen akan menghasilkan senyawa-senyawa yang volumenya mengembang, lalu sedikit

demi sedikit merusak beton sehingga mengakibatkan retak-retak di beberapa tempat (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001).

4.8.2. Uji Kuat Tekan Batako

Berdasarkan gambar 4.9, kuat tekan batako yang paling tinggi adalah $62,22 \text{ kg/cm}^2$ pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) dan kuat tekan batako yang paling rendah adalah $5,47 \text{ kg/cm}^2$ pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L). Kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat II (SNI 03-0349-1989). Untuk kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (J) yaitu $20,11 \text{ kg/cm}^2$, memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat IV (SNI 03-0349-1989). Sedangkan kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (K) sebesar $9,04 \text{ kg/cm}^2$ dan kuat tekan batako pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L) sebesar $5,47 \text{ kg/cm}^2$ tidak memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang (SNI 03-0349-1989).

Variasi campuran bahan-bahan pembuat batako mempunyai pengaruh besar terhadap kuat tekan batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.7.1.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar $-0,897$ 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka kuat tekan batako yang dihasilkan semakin menurun. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka kuat tekan batako akan semakin meningkat.

Di dalam beton, agregrat 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 agregrat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton (Wuryati Samekto, Candra Rahmadiyanto, 2001). Agregrat 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 batako dengan variasi campuran

disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda. Lumpur dari IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dipakai sebagai bahan campuran bersifat lebih lunak dari pasir. Lumpur 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 (60,743%), 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 lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang akan ikut bereaksi, sehingga berpengaruh jelek terhadap beton. Bahan organik ini memperlambat pengikatan (setting) semen, dan juga dapat memperlambat kekuatan beton sehingga pasta semen tidak dapat mengikat/melekatkan butir-butir lumpur dengan sempurna. Karena lekatan ini sangat penting dalam aduk beton, maka pengaruhnya terhadap kekuatan dan daya tahan beton yang semakin menurun dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai untuk menggantikan 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 60,743% menyebabkan lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang tidak layak digunakan sebagai agregat dalam beton.

Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan abu ampas tebu sebesar 20% dari semen tidak memberikan pengaruh yang berarti pada hasil kuat tekan. Hal ini disebabkan abu ampas tebu memiliki unsur-unsur pozzolan yaitu SiO_2 (30% – 40%) dan Al_2O_3 (6,74%) yang lebih rendah dibandingkan dengan fly ash sehingga reaktivitasnya juga rendah dan tidak terjadi reaksi Puzzolanik seperti yang terjadi pada batako dengan penambahan fly ash. Selain itu abu ampas tebu dari PG. Kebon Agung Malang memiliki bentuk seperti serat (batang-batang) sehingga belum mengalami proses pengikatan yang mencukupi karena ikatan antar campuran bahan tidak sempurna atau dapat dikatakan masih ada ruang antar butiran yang belum terisi sepenuhnya dan akhirnya beton menjadi tidak padat.

Penggunaan agregrat pasir sangat membantu dalam pengikatan lumpur (pembuatan mix desain). Lumpur yang halus sulit diikat oleh semen jika tanpa pasir, hal ini terlihat dari hasil uji kuat tekan batako tanpa pasir memiliki kuat tekan yang sangat rendah. Sehingga peran agregrat sangat penting dalam memberikan sumbangan kuat tekan.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan kuat tekan batako. Dimana 98,6% variabel lumpur dapat mempengaruhi penurunan kuat tekan batako. Sedangkan sisanya 1,4% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi kuat tekan batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi. Dimana untuk memprediksi kuat tekan batako dengan menggunakan lumpur sebagai salah satu bahan dasarnya sebaiknya menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan kuat tekan batako.

4.8.3. Uji Penyerapan Air Batako

Berdasarkan gambar 4.10, penyerapan air batako yang paling tinggi adalah 24,93% pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L) dan penyerapan air batako yang paling rendah adalah 13,81% pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I). Penyerapan air batako pada semua komposisi yaitu 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) sebesar 13,81%, komposisi 0,8 : 0,2 : 2 : 1 (J) sebesar 17,82%, komposisi 0,8 : 0,2 : 1 : 2 (K) sebesar 21,99%, dan komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L) sebesar 24,93% memenuhi persyaratan fisik mutu bata beton berlubang tingkat I (SNI 03-0349-1989) yaitu maksimal 25%.

Variasi campuran bahan-bahan pembuatan batako mempunyai pengaruh besar terhadap penyerapan air batako. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.7.2.2, dimana nilai koefisien korelasi antara kuat tekan batako dengan variasi campuran sebesar 0,994 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka penyerapan air batako akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka penyerapan air batako akan semakin menurun.

Kuatnya hubungan antara penyerapan air batako dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda. Karena agregrat menempati sampai 80% dari volume betonnya, maka porositas agregrat memberikan kontribusi pada porositas beton secara keseluruhan.

Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang memiliki daya serap air yang tinggi dibandingkan pasir. Dengan berat jenis lumpur sebesar $1,703 \text{ gr/cm}^3$ bila dijadikan agregrat, termasuk dalam kategori agregrat ringan. Agregrat 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 lumpur bersifat lunak sehingga masih memungkinkan pori-porinya terisi oleh air. Apalagi jika setelah ikatan semen mengeras, lumpur akan menyusut volumenya. Adanya garam MgCl (6,9074 ppm) yang terkandung dalam lumpur dapat menyerap air dari udara, sehingga mengakibatkan lumpur selalu dalam keadaan basah, dan juga dapat mengakibatkan pengembangan setelah beton selesai dibuat.

Besarnya kadar bahan organik yang ada dalam lumpur yang ikut bereaksi pada saat hidrasi semen, menyebabkan pengikatan semen tidak optimal sehingga batako menjadi tidak padat dan rongga-rongga antar agregrat yang terbentuk semakin banyak. Rongga-rongga ini menjadi reservoir air sehingga menyebabkan penyerapan air batako meningkat seiring dengan semakin banyaknya lumpur yang dipakai.

Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan abu ampas tebu sebesar 20% dari semen tidak memberikan pengaruh yang berarti pada hasil penyerapan air. Hal ini disebabkan penambahan abu ampas tebu tidak membentuk ikatan yang padat seperti semen karena bentuknya seperti serat (batang-batang) sehingga meninggalkan rongga yang cukup besar untuk tempat air pada proses penyerapan air. Dari hasil penelitian juga diketahui abu ampas tebu dari PG. Kebon Agung Malang memiliki berat jenis yang kecil yaitu $1,509 \text{ gr/cm}^2$, sehingga mempunyai daya serap air yang tinggi (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996).

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan penyerapan air batako. Dimana 99,1% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan penyerapan air batako. Sedangkan sisanya

0,9% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

Untuk memprediksi penyerapan air batako selanjutnya dapat digunakan persamaan regresi yang menitikberatkan pada besar bagian lumpur yang dipakai dalam campuran bahan pembuatan batako, karena variabel lumpur mempunyai pengaruh yang besar dan mempunyai korelasi yang kuat dalam memprediksikan penyerapan air.

Dari penelitian uji penyerapan air, timbul efek samping dari proses perendaman batako yaitu bau busuk pada air rendaman batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D). Hal ini mungkin disebabkan oleh kontak antara air dengan kandungan organik yang tinggi dalam lumpur sehingga terjadi proses pembusukkan dan penguraian oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut dalam air. Dari peristiwa ini, batako dengan pemakaian lumpur 2 dan 3 bagian (C dan D) tidak layak dipakai karena dapat mencemari lingkungan apabila batako kontak dengan air hujan. Air hujan yang sudah terkontaminasi dengan batako akan mengalir ke selokan, sungai dan badan air lainnya mengakibatkan terganggunya ekosistem air karena bau busuk tersebut. Begitu juga air yang meresap ke dalam tanah, akan mencemari tanah dan air tanah (Sugiharto, 1987)

4.8.4. Uji Leaching Batako

Berdasarkan gambar 4.11, konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling tinggi adalah 0,1440 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling tinggi adalah 0,0090 ppm pada komposisi 0,8 : 0,2 : 0 : 3 (L), sedangkan konsentrasi akhir logam berat Pb yang paling rendah adalah 0,00390 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr yang paling rendah adalah 0,00025 ppm pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I). Konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr 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 batako mempunyai pengaruh besar terhadap konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Hal ini dapat dilihat pada hasil analisa korelasi pada sub bab 4.7.3.2, dimana nilai koefisien korelasi antara konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr dalam batako dengan variasi campuran sebesar 0,988 (untuk Pb) dan 0,984 (untuk Cr) 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 lumpur yang dipakai untuk menggantikan pasir maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin meningkat. Sebaliknya semakin banyak bagian pasir yang dipakai untuk menggantikan lumpur maka konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching akan semakin menurun. Kuatnya hubungan antara konsentrasi akhir logam berat dengan variasi campuran disebabkan karena kualitas dari bahan-bahan yang dipakai yaitu pasir dan lumpur yang berbeda, dimana lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang memiliki kandungan logam berat Pb sebesar 0,5794 ppm dan Cr sebesar 0,011 ppm. Oleh sebab itu lumpur memberikan kontribusi pada konsentrasi akhir logam berat yang tercuci melalui proses leaching batako.

Pada hasil penelitian ini, terlihat bahwa batako dengan penambahan abu ampas tebu sebesar 20% dari semen tidak memberikan pengaruh yang berarti pada hasil uji leaching logam berat Pb dan Cr. Hal ini disebabkan pada penambahan abu ampas tebu tidak terjadi reaksi Puzzolonik seperti yang terjadi pada batako dengan penambahan fly ash.

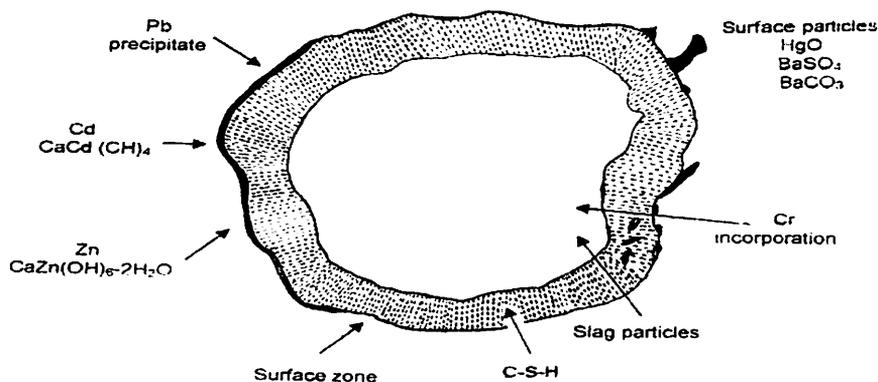
Reaksi kimia yang terjadi dalam beton antara semen dan air (hidrasi) akan menghasilkan Kalsium Silikat Hidrat (CSH) yang berperan dalam perkembangan kuat tekan beton dan hasil sampingan yaitu Ca(OH)_2 . Proses hidrasi semen portland sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus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

Reaksi kimia yang terjadi dalam beton antara semen dan air (hidrasi) akan menghasilkan CSH yang berperan dalam perkembangan kuat tekan terhadap beton dan hasil sampingan yaitu Ca(OH)_2 .



Seiring dengan bertambahnya umur pengeringan batako, maka bertambah juga jumlah gel-gel CSH yang terbentuk, maka jumlah pori-pori yang terbentuk juga semakin banyak. Hal ini mengakibatkan logam berat yang terperangkap dalam batako juga semakin banyak, karena senyawa semen yang terbentuk (hasil samping = Ca(OH)_2) bermuatan negatif (-) dan logam berat bermuatan positif (+).

Adapun mekanisme terperangkapnya Pb dan Cr dalam campuran semen dan abu ampas tebu adalah sebagaimana terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mekanisme Proses Pengikatan Logam Berat dalam Pasta Semen
Sumber : (Ure, 1995 dalam Evitasari, 2000)

Dari gambar 4.11 terlihat bahwa pada komposisi 0,8 : 0,2 : 3 : 0 (I) konsentrasi akhir logam berat Pb menunjukkan nilai 0,00390 ppm dan konsentrasi akhir logam berat Cr menunjukkan nilai 0,00025 ppm. Padahal komposisi ini merupakan kontrol yang harusnya konsentrasi logam berat Pb dan Cr adalah 0. Hal ini bertentangan dengan kenyataan yang ada, kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh agregrat pasir yang didalamnya terkandung Pb dan Cr. Hal lain yang mungkin terjadi adalah pengaruh kontak dengan sekop dan alat penjemur lumpur yang digunakan juga untuk mengaduk mix desain yang mengandung lumpur atau juga mungkin karena pengaruh cat yang mengandung Cr yang dipakai untuk memberikan kode pada batako.

Dalam hasil analisa regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara variabel lumpur dengan konsentrasi akhir logam berat Pb dan Cr. Dimana 98,9% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi logam berat Pb dan 99,5% variabel lumpur dapat mempengaruhi peningkatan logam berat Cr. Sedangkan sisanya 1,1% (untuk Pb) dan 0,5% (untuk Cr) dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti faktor air semen, cara pemadatan, dan cara perawatan.

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

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

- Tercemarnya tanah dan air tanah akibat peresapan lindi yang mengandung logam berat Pb dan Cr sehingga terjadi absorpsi Pb dan Cr 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 dan Cr akan mempengaruhi ekosistem yang ada didalamnya. 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. Selain itu logam berat Cr dapat menghambat daya reproduksi ikan dan organisme air lainnya dan akhirnya terjadi kemusnahan suatu spesies tertentu. (<http://www.pikiran rakyat.com/cetak/0804/12/cakrawala/eureka.htm>).

Kemungkinan terjadinya pencemaran logam berat Pb dan Cr di udara melalui pemakaian batako sebagai bahan konstruksi adalah kecil. Dilihat dari sifat fisik, Pb memiliki titik didih 1740°C dan Cr memiliki titik didih 2200°C sehingga ketika suhu udara sangat tinggi, logam berat Pb dan Cr dalam batako akan menguap dan terlepas ke udara. Senyawa-senyawa Pb dan Cr 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).

4.9. Menentukan Komposisi Terbaik

Berdasarkan tabel 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13 terlihat bahwa variasi campuran F (0,8 semen : 0,2 fly ash : 2 pasir : 1 lumpur) merupakan komposisi terbaik dari batako dengan pemakaian lumpur dibandingkan dengan komposisi-komposisi dengan pemakaian lumpur lainnya. Batako pada komposisi ini memenuhi syarat fisik tampak luar yang disyaratkan SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk Pasangan Dinding yaitu : rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain, sudut rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan dan tidak menunjukkan retak-retak. Kuat tekan batako pada komposisi ini (22,09 kg/cm²) memenuhi syarat fisik yang disyaratkan SNI 03-0349-1989 Bata Beton Berlubang tingkat IV yaitu minimum 20 kg/cm². Untuk

penyerapan air batako pada komposisi ini (12,54 %) memenuhi syarat fisik yang disyaratkan SNI 03-0349-1989 Bata Beton Berlubang tingkat I yaitu maksimum 25%. Sedangkan untuk konsentrasi akhir logam berat Pb (0,0593 ppm) dan Cr (0,0028 ppm) dalam batako pada komposisi ini memenuhi baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yaitu maksimum 5,0 ppm.

4.10. Analisa Kelayakan Lingkungan

Untuk hasil uji leaching logam berat Pb dan Cr pada semua variasi komposisi bahan pembuatan batako memenuhi baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Prosedure) yaitu 5,0 ppm, sehingga keberadaan logam berat Pb dan Cr dari hasil lindi batako dapat dikatakan aman dan tidak berpotensi mencemari lingkungan. Selanjutnya untuk mengetahui persentase jumlah lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan batako dapat dilihat dari perhitungan berikut :

Perhitungan Kebutuhan Bahan Pembuatan Batako

Untuk batako berlubang 3

- Volume 1 batako utuh tanpa lubang = $P \times L \times T$
 $= (0,4 \times 0,1 \times 0,2) \text{ m}$
 $= 0,008 \text{ m}^3$
- Volume 1 lubang batako = $P \times L \times T$
 $= (0,9 \times 0,03 \times 0,2) \text{ m}$
 $= 0,00054 \text{ m}^3$
- Volume 3 lubang batako = $3 \times 0,00054 \text{ m}^3$
 $= 0,00162 \text{ m}^3$
- Jadi volume untuk 1 buah batako berlubang 3 = $0,008 \text{ m}^3 - 0,00162 \text{ m}^3$
 $= 0,00638 \text{ m}^3$

Batako dengan pemakaian lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang memenuhi persyaratan SNI adalah batako dengan pemakaian 1 bagian lumpur. (1 semen : 2 Pasir : 1 lumpur)

Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dihasilkan = $\pm 0,5 \text{ m}^3/\text{hari}$

Lumpur yang diperlukan untuk 1 buah batako = $0,00638 \text{ m}^3 \times \frac{1}{4}$

$$= 0,001595 \text{ m}^3$$

Maka jumlah batako dengan pemakaian lumpur yang dapat dihasilkan setiap hari

$$= \frac{0,5}{0,001595} = 313,47$$

$$\approx 314 \text{ buah}$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dihasilkan setiap harinya ($0,5 \text{ m}^3$) dapat 100% dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan batako dengan jumlah batako yang dihasilkan 314 buah per hari. Hal ini dapat dipakai sebagai pertimbangan pengelolaan lingkungan dengan cara *reuse* (penggunaan kembali) lumpur hasil pengolahan air limbah, sehingga potensi pencemaran akibat lumpur dapat diminimalkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan lumpur sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako dengan penggunaan fly ash dan abu ampas tebu sebagai pozzolan berpengaruh buruk terhadap uji syarat mutu batako dan uji leaching yang dihasilkan.
2. Ditinjau dari uji syarat mutu batako yang meliputi tampak luar, kuat tekan dan penyerapan air, batako dengan pemakaian lumpur yang memiliki kualitas terbaik dan memenuhi syarat mutu SNI 03-0349-1989 adalah pada variasi komposisi lumpur sebesar 1 bagian yang menghasilkan kuat tekan minimum untuk tipe IV yakni sebesar 20,83 kg/cm², batako dengan penambahan fly ash pada semen memiliki kuat tekan 22,09 kg/cm² dan batako dengan penambahan abu ampas tebu pada semen memiliki kuat tekan 20,11 kg/cm². Fly ash merupakan pozzolan buatan yang terbaik dibanding abu ampas tebu.
3. Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang yang dihasilkan setiap harinya dapat 100% dimanfaatkan sebagai salah satu bahan dasar pembuatan batako dengan jumlah batako yang dihasilkan 314 buah. Hasil uji leaching logam berat pada semua batako yang dihasilkan dalam penelitian ini masih berada dibawah baku mutu uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure / Hasil Ekstraksi Lindi) yang diijinkan.

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, peneliti menyarankan hal-hal berikut :

1. Penggunaan fly ash dan abu ampas tebu perlu dicoba dengan variasi yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini hanya digunakan fly ash dan abu ampas tebu sebesar 20% dari bagian semen. Sebaiknya dicoba untuk berbagai variasi 20%, 25%, 30% dan 35 % agar perilaku batako yang dihasilkan lebih bisa diamati dan dapat berguna pada penentuan jumlah penambahan fly ash dan abu ampas tebu yang optimum.

2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut :

- Logam berat yang mungkin mempunyai kualitas yang lebih besar dari logam berat Pb dan Cr.
 - Dampak negatif terhadap tanah, air, udara, tanaman, hewan dan manusia yang ditimbulkan dari pemakaian batako dengan pemakaian lumpur IPLC
- RS Dr. Saiful Anwar Malang.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmono (1995), **Logam dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup**. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Elvira Yuniarti (1998), **Uji Kelayakan Hasil Solidifikasi Logam Berat Cu⁺⁺ sebagai Paving Blok**. TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITS Surabaya.
- Erwin Rohadi (2004), **Studi Evaluasi Sistem Pengolahan Limbah Cair di Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang**. Laporan KP 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.
- 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.
- Heinz Frick (1980), **Ilmu Konstruksi Bangunan I**. Kanisius. Yogyakarta.
- Heryando Palar (1994), **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Rineka Cipta. Jakarta.
- Iriawan, N dan Astuti, S.P (2006), **Mengolah Data Statistik Dengan Mudah Menggunakan Minitab 14**. Andi. Yogyakarta.
- Lili Suryanti (2006), **Pengaruh Fly Ash sebagai Stabilisasi Tanah Ekspansi terhadap Sebaran Sulfat dan Perubahan pH pada Air Tanah**. Proposal TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITN Malang.
- 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.
- Mark Fintel (1987), **Buku Pegangan Tentang Teknik Beton**. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Metcalf & Edy (1991), **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse third edition**. McGraw – Hill, Inc. California.

- Nurhaida E (1995), **Studi Pemanfaatan Lumpur Instalasi Penjernihan Air Minum Karangpilar I Sebagai Bahan Baku Batu Bata melalui Proses Dewatering Lumpur Dengan Filter Press**. TA Jurusan T. Lingkungan FTSP – ITS Surabaya.
- Oktavianus Gonanza (1997), **Studi Penelitian Pengaruh Penambahan Bubuk Bata Merah terhadap Kuat Tekan Batako**. TA Jurusan T. Sipil FTSP – ITN Malang.
- Priyo Pratomo, M.T (2001), **Penggunaan Limbah Abu (Marmer, Terbang, Sawit) Sebagai Bahan Pengisi Pada Campuran Lataston**. Jurnal Simposium ke-4 FST PT. Udayana Bali.
- 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.
- Sutresna Made, Hapsono Suryo (2001), **Kajian Laboratorium Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Abu Ampas Tebu untuk Tanah Dasar pada Lapis Keras Lentur**. Jurnal Simposium ke-4 FST PT. Udayana Bali.
- 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.
- [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).

LAMPIRAN

LAMPIRAN I
CARA KERJA UJI SYARAT MUTU BATAKO

PROSEDUR UJI KUAT TEKAN

1. Peralatan

- Mesin tes kuat tekan
- Penggaris
- Timbangan

2. Cara melakukan

- Timbang dan catatlah berat benda uji
- Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris
- Jalankan mesin uji tekan. Tekanan harus dinaikkan berangsur-angsur dengan kenaikan berkisar antara 4 kg/cm² s/d 6 kg/cm² per detik.
- Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur dan catatlah beban maksimum hancur yang terjadi selama pemeriksaan benda uji. Arah penekanan pada contoh uji disesuaikan dengan arah tekanan beban di dalam pemakaiannya.
- Lakukan langkah-langkah di atas sesuai dengan jumlah benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekan karakteristiknya.

3. Perhitungan

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

P = beban hancur (kg)

A = luas bidang tekan (m³)

PROSEDUR UJI PENYERAPAN AIR (ABSORBSI)

1. Peralatan

- Bak Perendam
- Oven
- Timbangan

2. Cara Melakukan

- Rendam batako dalam air hingga jenuh (24 jam).
- Setelah 24 jam, timbang batako dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD = *Saturated Surface Dry*).
- Masukkan batako ke dalam oven pada suhu 100-105 °C selama 24 jam.

3. Perhitungan

$$\text{Absorpsi} = \frac{A - B}{B} \times 100 \%$$

Dimana :

A = Berat batako basah SSD (kg)

B = Berat batako kering oven (kg)

PROSEDUR UJI LEACHING

1. Peralatan

- Alat penumbuk
- Ayakan berukuran 9,5 mm dari stainless / plastik
- Botol sampel dari bahan-bahan polyethylene 250 ml
- Vacuum filter dengan membran filter
- Asam asetat 0,5 N

2. Cara Melakukan

- Batako dihancurkan dan ditumbuk agar lolos ayakan yang berukuran 9,5 mm
- Masukkan serpihan batako yang lolos ayak tersebut kedalam botol sampel.
- Kemudian diekstraksi dengan cara merendamnya dengan larutan asam asetat 0,5 N pada pH 5 selama 3 x 24 jam. Perbandingan antara larutan dan padatan adalah 16 : 1.
- Selanjutnya disaring dengan vacuum filter untuk memisahkan padatan dari larutan dan buang 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 Atomic Absorption Spectrofotometri (AAS).

Hasil Pemeriksaan Kadar Organik Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang

No.	Berat cawan (gram)	Berat awal lumpur (gram)	Berat akhir cawan + lumpur (gram)	Kadar organik (gram)
1.	28,400	20	36,322	60,39
2.	28,170	20	36,010	60,8
3.	28,340	20	36,101	61,195

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kadar organik lumpur} &= \frac{60,39 + 60,8 + 61,195}{3} \\ &= 60,795 \% \end{aligned}$$

Menghitung kadar organik lumpur :

$$\frac{[(\text{Berat cawan} + \text{lumpur awal}) - (\text{Berat akhir cawan} + \text{lumpur})]}{\text{Berat lumpur awal}} \times 100\%$$

Hasil Pemeriksaan Kadar Air Lumpur IPLC RS Dr. Saiful Anwar Malang

No.	Berat cawan (gram)	Berat lumpur basah (gram)	Berat cawan + lumpur basah (gram)	Berat cawan + lumpur kering (gram)	Berat lumpur kering (gram)	Kadar air (%)
1.	163,2	150	313,2	188,9	41,1	72,6
2.	179,5	150	329,5	205,1	41,9	72,067
3.	170,6	150	319,7	197,4	42,5	71,67

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata kadar air} &= \frac{72,6 + 72,067 + 71,67}{3} \\ &= 72,110 \% \end{aligned}$$

$$\text{Menghitung kadar air} = \frac{\text{Berat lumpur basah} - \text{Berat lumpur kering}}{\text{Berat lumpur basah}} \times 100\%$$

LAMPIRAN II
DATA HASIL UJI SYARAT MUTU BATAKO



LABORATORIUM KUALITAS AIR

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

SERTIFIKAT ANALISA ANALYSIS CERTIFICATE

Nomor : 200 S / LKA MLG / V / 06

Halaman 1 dari 2
Page 1 of 2

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : Dwiyana ITN Malang
Name
Alamat : Jl. Sigura-gura III/ No. 11 Malang
Address

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : Ext. 92/AJ/V/2006/129
Sample Code
Jenis Contoh Uji : Sampel Limbah RSU Malang
Type of Sample
Lokasi Pengambilan Contoh Uji : RSU Saiful Anwar Malang
Sampling Location
Petugas Pengambil Contoh Uji : -
Sampling Done By
Tgl/ Jam Pengambilan Contoh Uji : -
Date/ Time of Sampling
Tgl/ Jam Penerimaan Contoh Uji : 10 Mei 2006 Jam 10:10 WIB
Date/ Time of Sample Receiving in Laboratory
Kondisi Contoh Uji : Normal
Sample Condition(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir : Diterbitkan Di/ Tanggal : Malang, 24 Mei 2006
Enclosed : Place/ Date of Issue

Laboratorium Kualitas Air
Perum Jasa Tirta I

Inni Dian Rohani, ST

Kepala Laboratorium
Head of Laboratory

...tas dibuat oleh Dwiyana ITN Malang
11 Mei 2006

...kat 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 publicated without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

...sah bila dibubuhi cap oleh Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I Public Corporation



LABORATORIUM KUALITAS AIR

Jl. Surabaya 2A Malang, Telp.(0341) 551971, Fax.(0341) 551976, E-mail:laboratorium@jasatirta1.go.id
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar - Mojokerto, Telp.(0321) 331860, Fax (0321) 395134, E-mail : lka_pjt-mjk@yahoo.com

Nomor : 200 S / LKA MLG / V / 06

Halaman 2 dari 2
Page 2 of 2

Kode Contoh Uji : Ext. 92/AJ/V/2006/129
Sample Code

Metode Pengambilan Contoh Uji : -
Sampling Method

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

Tanggal Analisa : 30 Mei 2006
Testing Date(s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Parameter	Satuan	Hasil	Metode Analisa	Keterangan
Mg Cl	ppm	6,9047	, APHA Ed. 20,3500-Mg-2000	Keterangan : specifi gravity (sp. gr.) = 1,703
Si O ₂	ppm	23,372	SNI 06 -2177- 1991	
Fe ₂ O ₃	ppm	761,063	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
AL ₂ O ₃	ppm	62,2574	APHA. Ed. 20. 3111 D, 1998	-
CaO	ppm	16,6524	APHA Ed. 20,3500-Ca-2000	-
Pb	ppm	0,5794	APHA. Ed. 20. 3111 B, 1998	-
Cr +6	ppm	0,011	APHA. Ed. 20.3500 - Cr B, 1998	-



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

LAPORAN HASIL ANALISA

NO: H.005/RT.5/T.1/R.0/TT.150803/06

1. Data Konsumen:

Nama : Dwiana Novita P
Instansi : FTSP Jurusan Teknik Lingkungan ITN
Alamat : Jl. Bendungan Sigura-gura III/11
Telepon : (0341) 577681
Status : Mahasiswi
Keperluan : Penelitian

2. Sampling dilakukan : Oleh konsumen

3. Identifikasi sample:

Wujud : Cair
Warna : Bening
Bau : Asam

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

5. Penyampaian laporan hasil analisa : diambil sendiri

6. Tanggal terima sample : 31 Mei 2006

7. Hasil analisa:

Kode Sampel	Parameter	Hasil Analisa			Satuan	Metode Analisa	
		I	II	III		Pereaksi	Metode
A	Pb	0.00350	0.00320	0.00330	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.00028	0.00028	0.00029	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
B	Pb	0.0680	0.0700	0.0690	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0040	0.0041	0.0039	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
C	Pb	0.1025	0.1026	0.1024	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0052	0.0053	0.0052	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
D	Pb	0.1439	0.1438	0.1440	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0087	0.0089	0.0086	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
E	Pb	0.00280	0.00260	0.00250	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.00019	0.00021	0.00018	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
F	Pb	0.0590	0.0610	0.0580	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0028	0.0028	0.0027	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
G	Pb	0.0891	0.0899	0.0889	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0040	0.0039	0.0043	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
H	Pb	0.1175	0.1179	0.1182	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0066	0.0069	0.0065	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
I	Pb	0.00400	0.00380	0.00390	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.00024	0.00025	0.00025	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
J	Pb	0.0700	0.0690	0.0710	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0040	0.0039	0.0040	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
K	Pb	0.1030	0.1023	0.1025	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0052	0.0053	0.0052	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer
L	Pb	0.1441	0.1439	0.1442	ppm	HNO ₃	AAS
	Cr ⁶⁺	0.0090	0.0089	0.0089	ppm	Dipenilcarbазid	Spektophotometer

Catatan:

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





Farid Bahman, S. Si, M. Si.

NIP. 132.158.726

Malang, 5 Juni 2006

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. 551951 - 551431 Pes. 256 Malang

or : 02.30.04/LBK/2006
 rjaan : Penelitian

Dihitung
 Diperiksa

: Dwiana Novita Purba
 : Lab. Bahan Konstruksi

UJI KUAT TEKAN BATAKO

Kode	Berat Batako (Kg)	Luas Bidang Tekan (cm ²)	Tekanan (Kg)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Kuat tekan rata-rata (Kg/cm ²)
A1	14,47	304	19000	62,50	62,44
A2	14,68	304	18900	62,17	
A3	13,62	304	19050	62,66	
B1	13,01	304	6250	20,55	20,83
B2	13,30	304	6250	20,55	
B3	13,15	304	6500	21,38	
C1	12,24	304	4200	13,81	13,95
C2	12,43	304	4275	14,06	
C3	12,21	304	4250	13,98	
D1	10,07	304	2000	6,57	6,02
D2	9,58	304	1750	5,75	
D3	9,72	304	1750	5,75	
E1	16,27	304	21000	69,07	69,68
E2	16,97	304	21500	70,72	
E3	16,41	304	21050	69,24	
F1	13,41	304	6900	22,69	22,09
F2	14,21	304	6750	22,20	
F3	13,73	304	6500	21,38	
G1	11,99	304	5000	16,44	16,71
G2	12,40	304	5250	17,26	
G3	12,33	304	5000	16,44	
H1	11,23	304	3050	10,03	10,74
H2	10,99	304	3250	10,69	
H3	11,17	304	3500	11,51	
I1	15,21	304	18750	61,67	62,22
I2	14,41	304	19000	62,50	
I3	15,17	304	19000	62,50	
J1	14,30	304	6250	20,55	20,11
J2	13,90	304	6100	20,06	
J3	14,23	304	6000	19,73	
K1	12,94	304	2750	9,04	9,04
K2	11,98	304	3000	9,86	
K3	12,74	304	2500	8,22	
L1	10,24	304	1750	5,75	5,47
L2	9,81	304	1500	4,93	
L3	10,27	304	1750	5,75	

Malang, 30 April 2006

Kepala

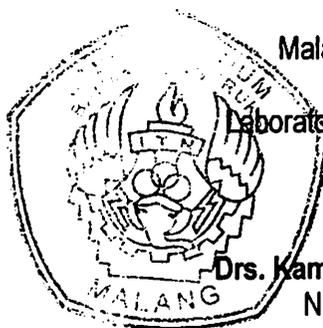
Laboratorium Bahan Konstruksi

(Handwritten signature)

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

Laboran,

(Handwritten signature)
Mahfud





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. 551951 - 551431 Pes. 256 Malang

nomor : 01.30.04/LBK/2006
 pekerjaan : Penelitian

Dihitung
 Diperiksa

: Dwiana Novita Purba
 : Lab. Bahan Konstruksi

UJI PENYERAPAN AIR BATAKO

Kode	Berat Basah Batako (Kg)	Berat Kering Batako (Kg)	Penyerapan Air (%)	Rata-rata Penyerapan Air (%)
A1	15,71	13,58	15,68	16,18
A2	15,52	13,35	16,25	
A3	15,93	13,66	16,61	
B1	14,45	12,17	18,73	18,22
B2	14,50	12,27	18,17	
B3	14,32	12,16	17,76	
C1	12,98	10,68	21,53	22,10
C2	12,70	10,42	21,88	
C3	12,34	10,04	22,90	
D1	11,58	9,26	25,08	25,62
D2	11,65	9,27	25,67	
D3	11,26	8,93	26,11	
E1	17,53	15,90	10,25	10,53
E2	17,96	16,23	10,65	
E3	17,28	15,61	10,69	
F1	14,91	13,24	12,61	12,54
F2	15,25	13,54	12,75	
F3	15,47	13,78	12,26	
G1	13,32	11,21	18,82	19,29
G2	13,35	11,19	19,30	
G3	12,79	10,68	19,75	
H1	12,09	9,89	22,24	22,60
H2	12,02	9,77	23,03	
H3	12,23	9,98	22,54	
I1	16,07	14,10	13,97	13,81
I2	16,03	14,12	13,53	
I3	15,79	13,86	13,92	
J1	15,91	13,53	17,59	17,82
J2	15,72	13,29	18,28	
J3	15,57	13,24	17,59	
K1	13,17	10,79	22,05	21,99
K2	12,86	10,52	22,24	
K3	13,21	10,86	21,69	
L1	11,24	8,95	25,58	24,93
L2	11,61	9,33	24,43	
L3	10,57	8,47	24,79	

Laboran

 Mahfud

Malang, 30 April 2006
 Kepala
 Laboratorium Bahan Konstruksi

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





**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS

NOMOR : 01.01.03/LBK/2006
PEKERJAAN : Penelitian
DIKERJAKAN : Dwiana Novita Purba
JENIS CONTOH : LUMPUR

Kode				
Nomor Botol				
Berat Botol + Tanah (W_2)	gr	249,10	253,90	251,70
Berat Botol (W_1)	gr	168,90	174,00	169,40
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	80,20	79,90	82,30
Suhu (T)	°C	25	25	25
Berat Botol + Air pada T (W_4)	gr	666,00	671,20	666,50
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	746,20	751,10	748,80
Berat Botol + Air + Tanah (W_3)	gr	699,10	704,20	700,50
Faktor Koreksi Suhu		1	1	1
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	47,10	46,90	48,30
Berat Jenis Tanah		1,703	1,704	1,704
Rata-rata		1,703		

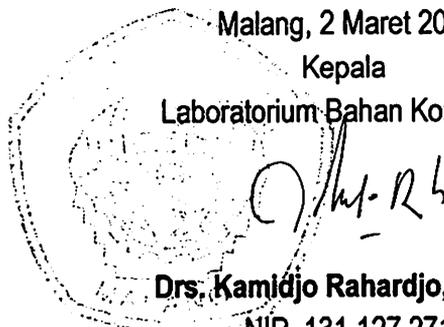
Laboran


Mahfud

Malang, 2 Maret 2006

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

Temp. Surat / Lap. N: 04.01.03/LBK/2006
Pekerjaan : Penelitian

Dihitung : Dwiana Novita Purba
Dikerjakan : Dwiana Novita Purba
Tanggal : 1 Maret 2006

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven	Bk	488,80	490,00	489,40
Berat contoh kering permukaan jenuh	Bj	500,00	500,00	500,00
Berat piknometer diisi air pada 25°C	B	665,61	676,40	671,01
Berat piknometer + contoh + air (25°C)	Bt	986,70	997,50	992,10
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{(B + Bj - Bt)}$	2,73	2,74	2,74
Berat jenis kering permukaan jenuh	$\frac{Bj}{(B + Bj - Bt)}$	2,79	2,79	2,79
Berat jenis semu (apparent)	$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)}$	2,91	2,90	2,91
Penyerapan (absorpsi)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,29	2,04	2,17

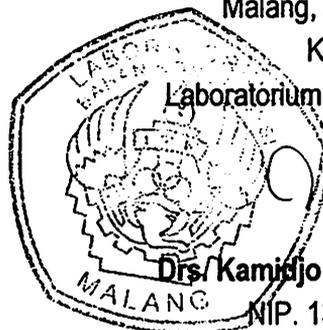
Laboran,

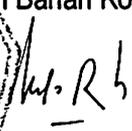

Mahfud

Malang, 2 Maret 2006

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi




Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271



**LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS

NOMOR : 02.01.03/LBK/2006
PEKERJAAN : Penelitian
DIKERJAKAN : Dwiana Novita Purba
JENIS CONTOH : FLY ASH

Kode				
Nomor Botol				
Berat Botol + Tanah (W_2)	gr	540,40	533,10	540,70
Berat Botol (W_1)	gr	180,10	178,10	181,70
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	360,30	355,00	359,00
Suhu (T)	°C	25	25	25
Berat Botol + Air pada T (W_4)	gr	676,80	674,70	678,00
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	1037,10	1029,70	1037,00
Berat Botol + Air + Tanah (W_3)	gr	910,30	905,20	910,40
Faktor Koreksi Suhu		1	1	1
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	126,80	124,50	126,60
Berat Jenis Tanah		2,841	2,851	2,836
Rata-rata		2,843		

Malang, 2 Maret 2006

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi

Laboran,

Manfud

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



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS

NOMOR : 03.01.03/LBK/2006
PEKERJAAN : Penelitian
DIKERJAKAN : Dwiana Novita Purba
JENIS CONTOH : ABU AMPAS TEBU

Kode				
Nomor Botol				
Berat Botol + Tanah (W_2)	gr	220,60	233,80	226,40
Berat Botol (W_1)	gr	168,90	180,10	172,40
Berat Tanah ($W_2 - W_1$)	gr	51,70	53,70	54,00
Suhu (T)	°C	25	25	25
Berat Botol + Air pada T (W_4)	gr	666,00	676,80	669,10
$W_2 - W_1 + W_4$	gr	717,70	730,50	723,10
Berat Botol + Air + Tanah (W_3)	gr	683,10	695,30	687,30
Faktor Koreksi Suhu		1	1	1
Isi Tanah ($W_2 - W_1$) + ($W_4 - W_3$)	cm ³	34,60	35,20	35,80
Berat Jenis Tanah		1,494	1,526	1,508
Rata-rata		1,509		

Malang, 2 Maret 2006

Kepala

Laboratorium Bahan Konstruksi

Laboran

Mahfud



Drs. Kamidjo Rahardjo, ST, MT

NIP. 131 127 271

LAMPIRAN III
SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk
Pasangan Dinding & Baku Mutu Uji TCLP
(Toxicity Characteristic Leaching
Prosedure / Hasil Ekstraksi Lindi)

SNI

STANDAR NASIONAL INDONESIA

SNI 03-0349-1980



BATA BETON UNTUK PASANGAN DINDING



BATA BETON UNTUK PASANGAN DINDING

1. RUANG LINGKUP

Standar ini meliputi definisi, klasifikasi, syarat mutu, cara pengambilan contoh, cara uji dan syarat lulus uji bata beton untuk pasangan dinding.

2. DEFINISI

Bata beton adalah suatu jenis unsur bangunan berbentuk bata yang dibuat dari bahan utama : semen portland, air dan agregat; yang dipergunakan untuk pasangan dinding. Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton berlobang.

2.1. Bata Beton Pejal

Bata beton pejal adalah bata yang memiliki penampang pejal 75 % atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75 % volume bata seluruhnya.

2.2. Bata Beton Berlobang

Bata beton berlobang adalah bata yang memiliki luas penampang lobang lebih dari 25 % luas penampang batanya dan volume lobang lebih dari 25 % volume bata seluruhnya.

3. KLASIFIKASI

Bata beton pejal maupun berlobang dibedakan menurut tingkat mutunya, yaitu :

Tingkat mutu I

Tingkat mutu II

Tingkat mutu III

Tingkat mutu IV

4. SYARAT MUTU

4.1. Pandangan Luar

Bidang permukaannya harus tidak cacat.

Bentuk permukaan lain yang didesain, diperbolehkan. Rusuk-rusuknya siku satu terhadap yang lain, dan sudut rusuknya tidak mudah direpihkan dengan kekuatan jari tangan.

4.2. Ukuran dan Toleransi

Ukuran bata beton harus sesuai dengan tabel I.

Tabel I.
Ukuran bata beton

satuan : mm

Jenis	Ukuran			Tebal dinding se- katan lobang, mi- nimum	
	Panjang	Lebar	Tebal	Luar	Dalam
1. Pejal	390 + 3 - 5	90 ± 2	100 ± 2	—	—
2. Berlo- bang.					
a. Kecil	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	100 ± 2	20	15
b. Besar	390 + 3 - 5	190 + 3 - 5	200 ± 3	25	20

4.3. Syarat Fisis

Bata beton harus memenuhi syarat-syarat fisis sesuai dengan tabel II.

Tabel II
Syarat-syarat Fisis Bata Beton

Syarat fisis	Sa- tu- an.	Tingkat mutu bata beton pejal				Tingkat mutu bata beton berlobang			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
1. Kuat tekan bruto* <u>ra- ta-rata min.</u>	kg/ cm ²	100	70	40	25	70	50	35	20
2. Kuat-tekan bruto <u>masing- masing benda uji min.</u>	kg/ cm ²	90	65	35	21	65	45	30	17
3. Penyerapan air rata-rata, maks.	%	25	35	—	—	25	35	—	—

NETTO

* Kuat tekan bruto adalah beban tekan keseluruhan pada waktu benda coba pecah, dibagi dengan luas ukuran nyata dari bata, termasuk luas lobang serta cekungan tepi.

5. CARA PENGAMBILAN CONTOH

- 5.1. Contoh uji yang diambil harus terdiri dari satuan yang utuh.
- 5.2. Contoh uji diambil secara acak dari suatu kelompok/tanding yang sama, dengan jumlah contoh uji seperti tercantum dalam tabel III.

Tabel III
Jumlah contoh

Jumlah kelompok/tanding bata	Jumlah contoh
< 10.000	10 buah
10.001 – 100.000.	20 buah
> 100.000	10 buah untuk tiap kelompok dari 50.000.

5.3. Penyerahan contoh untuk diuji harus memenuhi keadaan sebagai berikut :

- 5.3.1. Contoh harus dalam keadaan seperti pada saat pengambilan contoh (tidak boleh rusak).
- 5.3.2. Disertai risalah pengambilan contoh, yang mencakup : cara pengambilan contoh, jumlah kelompok/tanding, jumlah contoh, nama petugas pengambilan contoh dan keterangan lain yang dianggap perlu.

6. CARA UJI

6.1. Pengukuran Benda Uji

Untuk mengetahui ukuran contoh, dipakai 5 (lima) buah benda uji yang utuh. Sebagai alat pengukur dipakai kaliper/mistar sorong yang dapat mengukur teliti sampai 1 mm, setiap pengukuran panjang, lebar, tebal bata atau tebal dinding bata berlobang, dilakukan paling sedikit 3 kali pada tempat yang berbeda-beda, kemudian dihitung harga rata-rata dari ketiga pengukuran tersebut.

Harga pengukuran dari 5 (lima) buah benda uji, dilaporkan mengenai ukuran rata-rata dan penyimpangannya.

6.2. Pengujian Kuat Tekan

Untuk pengujian kuat tekan dipakai 5 (lima) buah benda uji tersebut dalam 6.1.

6.2.1. Meratakan/menerap bidang tekan

Bahan penerapan dibuat dari adukan 1 (satu) bagian semen portland ditambah 1 atau 2 (satu atau dua) bagian pasir halus tembus ayakan 0,3 mm. Pemakaian bahan penerap lain, diperbolehkan asalkan kekuatannya sama atau lebih tinggi dari kuat tekan batanya.

Bidang tekan benda uji (2 bagian) diterap dengan aduk semen sedemikian

rupa sehingga terdapat bidang yang rata dan sejajar satu dengan lainnya. Tebal lapisan perata/penerap kurang lebih 3 mm. Benda coba ditentukan kuat tekannya apabila pengerasan lapisan penerap sedikitnya telah berumur 3 hari.

6.2.2. Penentuan Kuat Tekan.

Arah tekanan pada bidang tekan benda uji disesuaikan dengan arah tekanan beban didalam pemakaian. Benda uji yang telah siap, ditentukan kuat tekannya dengan mesin tekan yang dapat diatur kecepatan penekanannya. Kecepatan penekanan dari mulai pemberian badan sampai benda uji hancur diatur sehingga tidak kurang dari 1 menit dan tidak lebih dari 2 menit. Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum pada waktu benda uji hancur, dengan luas bidang tekan bruto, dinyatakan dalam kg/cm^2 . Kuat tekan tadi dilaporkan masing-masing untuk setiap benda uji dan juga nilai rata-rata dari 5 (lima) benda uji.

6.3. Pengukuran Lobang

6.3.1. Pengukuran luas lobang

Untuk lobang atau cekungan tepi yang berbentuk segi empat atau segi banyak dan atau lingkaran beraturan, pengukuran penampang lobang pada permukaan bata dapat dilakukan dengan alat pengukur, kaliper/ mistar sorong, jangka kaki atau mistar, sampai ketelitian 1 mm. Apabila bentuk lobangnya tidak beraturan, pengukuran dapat dilakukan dengan membuat gambaran bentuk lobang itu pada kertas, kemudian pengukuran luas dilakukan dengan alat pengukur luas planimeter. Jumlah luas dari seluruh lobang dihitung dalam prosen terhadap luas bruto dari bidang bata yang berlobang itu.

6.3.2. Pengukuran volume lobang

Bahan bantu :

Pasir bersih dengan susunan butir tertentu (dapat dibuat sekehendak asal susunan butirnya tetap) yang kering pada suhu 105°C .

Tekanan berat volume dari pasir ini dengan cara pengisian gembur (tidak dikocok/dipadatkan).

Caranya :

Pergunakan bejana yang berisi pasir kering untuk mengisikan pasir itu ke dalam lobang bata yang akan diukur.

Isi lobang-lobang bata itu dengan pasir secara hati-hati, dengan menuangkan pasir dari bejana, seperti menuangkan air ke dalam lobang itu, sampai penuh. Setelah penuh, ratakan permukaan pasir itu, serata permukaan bata.

Kemudian bersihkan dengan sikat halus, bila kemungkinan ada butiran pasir yang tertinggal atau melekat pada permukaan bata di luar garis batas lobangnya. Tumpahkan pasir yang ada di dalam lobang itu, dengan menampungkannya di atas wadah, dan jangan sampai ada pasir yang tercecer. Timbang berat yang mengisi lobang tadi.

Lakukan cara ini 3 kali berturut-turut dan hitung berat rata-rata pengukuran sehingga dapat diketahui berat pasir yang mengisi lobang (A).

Kemudian tentukan terpisah berat 1 (satu) dm^3 pasir tumbuk gembur (B).

Volume lobang $\frac{A}{B}$ (dm^3).

Hitung volume ini terhadap volume bruto batanya, dalam % (prosen)
Lakukanlah penentuan ini terhadap paling sedikit 3 (tiga) benda uji.

6.4. Penyerapan Air.

Untuk pengujian penyerapan air, dipakai 5 (lima) buah benda uji dalam keadaan utuh dengan peralatan sebagai berikut :

6.4.1. Timbangan yang dapat menimbang teliti sampai 0,5 % dari berat contoh uji.

6.4.2. Dapur pengering yang dapat mencapai suhu 105 ± 5 °C.

Benda uji seutuhnya direndam dalam air bersih yang bersuhu ruangan, selama 24 (dua puluh empat) jam. Kemudian benda uji diangkat dari rendaman, dan air sisanya dibiarkan meniris kurang lebih 1 (satu) menit, lalu permukaan bidang benda uji diseka dengan kain lembab, agar air yang berkelebihan yang masih melekat dibidang permukaan benda uji terserap kain lembab itu. Benda uji kemudian ditimbang (A). Setelah itu benda uji dikeringkan di dalam dapur pengering pada suhu 105 ± 5 °C, sampai beratnya pada 2 (dua) kali penimbangan tidak berbeda lebih dari 0,2 % dari penimbangannya yang terdahulu (B). Selisih penimbangan dalam keadaan basah (A) dan dalam keadaan kering (B) adalah jumlah penyerapan air, dan harus dihitung berdasarkan persen berat benda uji kering.

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

Laporkan hasil rata-rata dari lima buah benda uji.

7. SYARAT LULUS UJI

7.1. Kelompok dinyatakan lulus uji apabila contoh uji memenuhi persyaratan yang ditentukan di dalam butir 4.

7.2. Apabila salah satu syarat tidak dipenuhi, dapat dilakukan uji ulang terhadap contoh kedua yang diambil dari kelompok/tanding yang sama.

7.3. Apabila hasil uji ulang, contoh memenuhi semua syarat yang ditentukan, kelompok/tanding dinyatakan lulus uji.

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

Parameter	Konsentrasi dalam ekstraksi limbah (mg/L)
Aldrin + Dieldrin	0,07
Arsen	5,0
Barium	100,0
Benzene	0,5
Boron	500
Cadmium	1,0
Carbon tetrachloride	0,5
Chlordane	0,03
Chlorobenzene	100,0
Chloroform	6,0
Chromium	5,0
Copper	10,0
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
Fruorides	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
Nitrioltriacetic 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 1988)

LAMPIRAN IV
DATA ANALISA STATISTIK

**STATISTIK BATAKO
TANPA POZZOLAN**
(dengan MINITAB 14)

KUAT TEKAN

Descriptive Statistics: Kuat Tekan

Variable	Variasi	Total			Percent	CumPct	Mean	SE Mean	StDev
		Count	N	N*					
Kuat Tekan	0	3	3	0	25	25	62,443	0,144	0,250
	1	3	3	0	25	50	20,827	0,277	0,479
	2	3	3	0	25	75	13,950	0,0737	0,128
	3	3	3	0	25	100	6,023	0,273	0,473

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Kuat Tekan	0	62,170	62,170	62,500	62,660	62,660	0,490
	1	20,550	20,550	20,550	21,380	21,380	0,830
	2	13,810	13,810	13,980	14,060	14,060	0,250
	3	5,750	5,750	5,750	6,570	6,570	0,820

Correlations: Kuat Tekan; Variasi

Pearson correlation of Kuat Tekan and Variasi = -0,904
 P-Value = 0,000

Correlations: Kuat Tekan; Semen; Pasir; Lumpur

	Kuat Tekan	Semen	Pasir
Semen	*		
	*		
Pasir	0,904	*	
	0,000	*	
Lumpur	-0,904	*	-1,000
	0,000	*	*

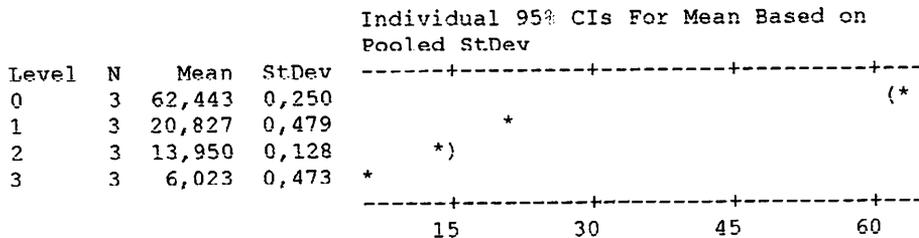
Cell Contents: Pearson correlation
 P-Value

* NOTE * All values in column are identical.

One-way ANOVA: Kuat Tekan versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	5697,019	1899,006	14264,84	0,000
Error	8	1,065	0,133		
Total	11	5698,084			

S = 0,3649 R-Sq = 99,98% R-Sq(adj) = 99,97%



Pooled StDev = 0,365

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
 All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	-42,571	-41,617	-40,662
2	-49,448	-48,493	-47,539
3	-57,374	-56,420	-55,466

Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	-7,831	-6,877	-5,922
3	-15,758	-14,803	-13,849

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	-8,881	-7,927	-6,972

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Variasi

The regression equation is
 Kuat Tekan = 52,2 - 17,6 Variasi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	52,231	4,937	10,58	0,000
Variasi	-17,614	2,639	-6,67	0,000

s = 10,2199 R-Sq = 81,7% R-Sq(adj) = 79,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4653,6	4653,6	44,56	0,000
Residual Error	10	1044,5	104,4		
Lack of Fit	2	1043,4	521,7	3918,88	0,000
Pure Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur

The regression equation is
 Kuat Tekan = 52,2 - 17,6 Lumpur

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	52,231	4,937	10,58	0,000
Lumpur	-17,614	2,639	-6,67	0,000

s = 10,2199 R-Sq = 81,7% R-Sq(adj) = 79,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4653,6	4653,6	44,56	0,000

Residual Error	10	1044,5	104,4		
Lack of Fit	2	1043,4	521,7	3918,88	0,000
Pure Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Pasir

The regression equation is
 Kuat Tekan = - 0,61 + 17,6 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,610	4,937	-0,12	0,904
Pasir	17,614	2,639	6,67	0,000

S = 10,2199 R-Sq = 81,7% R-Sq(adj) = 79,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4653,6	4653,6	44,56	0,000
Residual Error	10	1044,5	104,4		
Lack of Fit	2	1043,4	521,7	3918,88	0,000
Pure Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

* NOTE * All values in column are identical.

* NOTE * All values in column are identical.

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Semen; Pasir; Lumpur

* Semen is (essentially) constant
 * Semen has been removed from the equation.

* Lumpur is highly correlated with other X variables
 * Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
 Kuat Tekan = - 0,61 + 17,6 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-0,610	4,937	-0,12	0,904	
Pasir	17,614	2,639	6,67	0,000	1,0

S = 10,2199 R-Sq = 81,7% R-Sq(adj) = 79,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4653,6	4653,6	44,56	0,000
Residual Error	10	1044,5	104,4		
Total	11	5698,1			

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Pasir; Lumpur

* Lumpur is highly correlated with other X variables
 * Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
 Kuat Tekan = - 0,61 + 17,6 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
-----------	------	---------	---	---	-----

Constant -0,610 4,937 -0,12 0,904
 Pasir 17,614 2,639 6,67 0,000 1,0

S = 10,2199 R-Sq = 81,7% R-Sq(adj) = 79,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	4653,6	4653,6	44,56	0,000
Residual Error	10	1044,5	104,4		
Total	11	5698,1			

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan} = 60,7 - 42,9 \text{ Lumpur} + 8,42 \text{ Lumpur2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	60,654	2,607	23,26	0,000
Lumpur	-42,881	4,187	-10,24	0,000
Lumpur2	8,423	1,338	6,30	0,000

S = 4,63326 R-Sq = 96,6% R-Sq(adj) = 95,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	5504,9	2752,4	128,22	0,000
Residual Error	9	193,2	21,5		
Lack of Fit	1	192,1	192,1	1443,29	0,000
Pure Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	4653,6
Lumpur2	1	851,3

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan} = 62,4 - 70,9 \text{ Lumpur} + 35,3 \text{ Lumpur2} - 5,97 \text{ Lumpur3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	62,4433	0,2107	296,43	0,000
Lumpur	-70,9167	0,8083	-87,74	0,000
Lumpur2	35,2650	0,7144	49,37	0,000
Lumpur3	-5,9650	0,1570	-37,99	0,000

S = 0,364863 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	5697,0	1899,0	14264,84	0,000
Residual Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.

No degrees of freedom for lack of fit.

Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	4653,6
Lumpur2	1	851,3
Lumpur3	1	192,1

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Pasir; Pasir2

The regression equation is
 Kuat Tekan = 7,81 - 7,65 Pasir + 8,42 Pasir2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,813	2,607	3,00	0,015
Pasir	-7,654	4,187	-1,83	0,101
Pasir2	8,422	1,338	6,30	0,000

S = 4,63326 R-Sq = 96,6% R-Sq(adj) = 95,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	5504,9	2752,4	128,22	0,000
Residual Error	9	193,2	21,5		
Lack of Fit	1	192,1	192,1	1443,29	0,000
Pure Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	4653,6
Pasir2	1	851,3

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Pasir; Pasir2; Pasir3

The regression equation is
 Kuat Tekan = 6,02 + 20,4 Pasir - 18,4 Pasir2 + 5,96 Pasir3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6,0233	0,2107	28,59	0,000
Pasir	20,3817	0,8083	25,22	0,000
Pasir2	-18,4200	0,7144	-25,79	0,000
Pasir3	5,9650	0,1570	37,99	0,000

S = 0,364863 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	5697,0	1899,0	14264,84	0,000
Residual Error	8	1,1	0,1		
Total	11	5698,1			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.
 No degrees of freedom for lack of fit.
 Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	4653,6
Pasir2	1	851,3
Pasir3	1	192,1

PENYERAPAN AIR

Descriptive Statistics: Penyerapan Air

Variable	Variasi	Total				Percent	CumPct	Mean	SE Mean	StDev
		Count	N	N*						
Penyerapan Air	0	3	3	0		25	16,180	0,271	0,469	
	1	3	3	0		25	18,220	0,281	0,487	
	2	3	3	0		25	22,103	0,411	0,712	
	3	3	3	0		25	25,620	0,298	0,517	

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Penyerapan Air	0	15,680	15,680	16,250	16,610	16,610	0,930
	1	17,760	17,760	18,170	18,730	18,730	0,970
	2	21,530	21,530	21,880	22,900	22,900	1,370
	3	25,080	25,080	25,670	26,110	26,110	1,030

Correlations: Penyerapan Air; Variasi

Pearson correlation of Penyerapan Air and Variasi = 0,985
P-Value = 0,000

Correlations: Penyerapan Air; Semen; Pasir; Lumpur

	Penyerapan A	Semen	Pasir
Semen	*		
	*		
Pasir	-0,985	*	
	0,000	*	
Lumpur	0,985	*	-1,000
	0,000	*	*

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

* NOTE * All values in column are identical.

One-way ANOVA: Penyerapan Air versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	157,926	52,642	171,09	0,000
Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

S = 0,5547 R-Sq = 98,47% R-Sq(adj) = 97,89%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
0	3	16,180	0,469	(---)
1	3	18,220	0,487	(---)
2	3	22,103	0,712	(---)
3	3	25,620	0,517	(---)

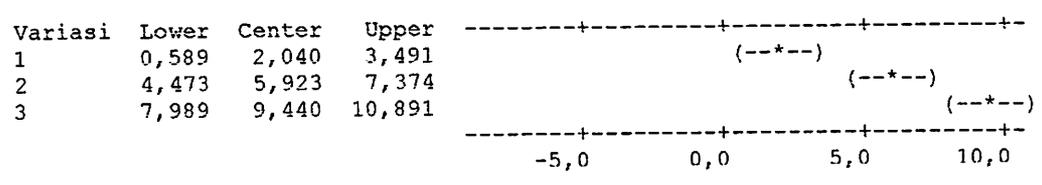
-----+-----+-----+-----+-----+
18,0 21,0 24,0 27,0

Pooled StDev = 0,555

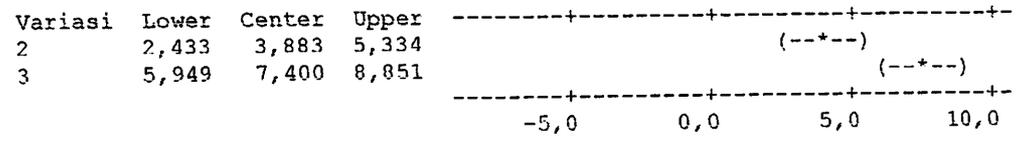
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

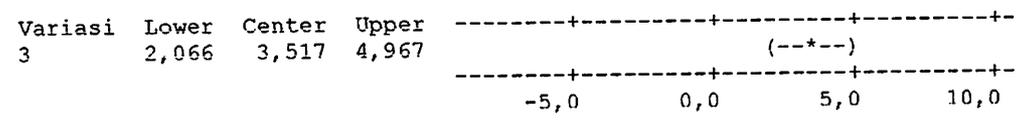
Variasi = 0 subtracted from:



Variasi = 1 subtracted from:



Variasi - 2 subtracted from:



Regression Analysis: Penyerapan Air versus Variasi

The regression equation is
 Penyerapan Air = 15,7 + 3,22 Variasi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15,7003	0,3357	46,77	0,000
Variasi	3,2203	0,1794	17,95	0,000

s = 0,694945 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	155,56	155,56	322,10	0,000
Residual Error	10	4,83	0,48		
Lack of Fit	2	2,37	1,18	3,85	0,067
Pure Error	8	2,46	0,31		
Total	11	160,39			

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur

The regression equation is
 Penyerapan Air = 15,7 + 3,22 Lumpur

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15,7003	0,3357	46,77	0,000
Lumpur	3,2203	0,1794	17,95	0,000

s = 0,694945 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	155,56	155,56	322,10	0,000
Residual Error	10	4,83	0,48		
Lack of Fit	2	2,37	1,18	3,85	0,067
Pure Error	8	2,46	0,31		
Total	11	160,39			

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Pasir

The regression equation is
 Penyerapan Air = 25,4 - 3,22 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25,3613	0,3357	75,55	0,000
Pasir	-3,2203	0,1794	-17,95	0,000

S = 0,694945 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	155,56	155,56	322,10	0,000
Residual Error	10	4,83	0,48		
Lack of Fit	2	2,37	1,18	3,85	0,067
Pure Error	8	2,46	0,31		
Total	11	160,39			

* NOTE * All values in column are identical.

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Semen; Pasir; Lumpur

* Semen is (essentially) constant
 * Semen has been removed from the equation.

* Lumpur is highly correlated with other X variables
 * Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
 Penyerapan Air = 25,4 - 3,22 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	25,3613	0,3357	75,55	0,000	
Pasir	-3,2203	0,1794	-17,95	0,000	1,0

S = 0,694945 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	155,56	155,56	322,10	0,000
Residual Error	10	4,83	0,48		
Total	11	160,39			

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Pasir; Lumpur

* Lumpur is highly correlated with other X variables
 * Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
 Penyerapan Air = 25,4 - 3,22 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	25,3613	0,3357	75,55	0,000	
Pasir	-3,2203	0,1794	-17,95	0,000	1,0

S = 0,694945 R-Sq = 97,0% R-Sq(adj) = 96,7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	155,56	155,56	322,10	0,000
Residual Error	10	4,83	0,48		
Total	11	160,39			

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is
 Penyerapan Air = 16,1 + 2,11 Lumpur + 0,369 Lumpur2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,0695	0,3352	47,93	0,000
Lumpur	2,1128	0,5384	3,92	0,003
Lumpur2	0,3692	0,1720	2,15	0,060

S = 0,595733 R-Sq = 98,0% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	157,194	78,597	221,46	0,000
Residual Error	9	3,194	0,355		
Lack of Fit	1	0,733	0,733	2,38	0,161
Pure Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	155,558
Lumpur2	1	1,635

Unusual Observations

Obs	Lumpur	Penyerapan Air	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	2,00	22,900	21,772	0,255	1,128	2,10R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is
 Penyerapan Air = 16,2 + 0,38 Lumpur + 2,03 Lumpur2 - 0,368 Lumpur3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	16,1800	0,3203	50,52	0,000
Lumpur	0,382	1,229	0,31	0,764
Lumpur2	2,027	1,086	1,87	0,099
Lumpur3	-0,3683	0,2387	-1,54	0,161

S = 0,554692 R-Sq = 98,5% R-Sq(adj) = 97,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	157,926	52,642	171,09	0,000
Residual Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.

No degrees of freedom for lack of fit.

Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	155,558
Lumpur2	1	1,635
Lumpur3	1	0,733

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Pasir; Pasir2

The regression equation is
 Penyerapan Air = 25,7 - 4,33 Pasir + 0,369 Pasir2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25,7305	0,3352	76,75	0,000
Pasir	-4,3278	0,5384	-8,04	0,000
Pasir2	0,3692	0,1720	2,15	0,060

S = 0,595733 R-Sq = 98,0% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	157,194	78,597	221,46	0,000
Residual Error	9	3,194	0,355		
Lack of Fit	1	0,733	0,733	2,38	0,161
Pure Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	155,558
Pasir2	1	1,635

Unusual Observations

Obs	Pasir	Penyerapan Air	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	1,00	22,900	21,772	0,255	1,128	2,10R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Pasir; Pasir2; Pasir3

The regression equation is
 Penyerapan Air = 25,6 - 2,60 Pasir - 1,29 Pasir2 + 0,368 Pasir3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25,6200	0,3203	80,00	0,000
Pasir	-2,597	1,229	-2,11	0,068
Pasir2	-1,288	1,086	-1,19	0,270
Pasir3	0,3683	0,2387	1,54	0,161

S = 0,554692 R-Sq = 98,5% R-Sq(adj) = 97,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	157,926	52,642	171,09	0,000
Residual Error	8	2,461	0,308		
Total	11	160,388			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.
 No degrees of freedom for lack of fit.
 Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	155,558
Pasir2	1	1,635
Pasir3	1	0,733

KONSENTRASI AKHIR Pb
Descriptive Statistics: Konsentrasi akhir Pb

Variable	Variasi	Total			Percent	CumPct	Mean	SE Mean
		Count	N	N*				
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	25	0,003333	0,0000882
	1	3	3	0	25	50	0,069000	0,000577
	2	3	3	0	25	75	0,10250	0,0000577
	3	3	3	0	25	100	0,14390	0,0000577

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,000153	0,003200	0,003200	0,003300	0,003500
	1	0,001000	0,068000	0,068000	0,069000	0,070000
	2	0,000100	0,10240	0,10240	0,10250	0,10260
	3	0,000100	0,14380	0,14380	0,14390	0,14400

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,003500	0,000300
	1	0,070000	0,002000
	2	0,10260	0,000200
	3	0,14400	0,000200

Correlations: Konsentrasi akhir Pb; Variasi

Pearson correlation of Konsentrasi akhir Pb and Variasi = 0,989
P-Value = 0,000

Correlations: Konsentrasi akhir Pb; Semen; Pasir; Lumpur

	Konsentrasi	Semen	Pasir
Semen	*		
	*		
Pasir	-0,989	*	
	0,000	*	
Lumpur	0,989	*	-1,000
	0,000	*	*

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

* NOTE * All values in column are identical.

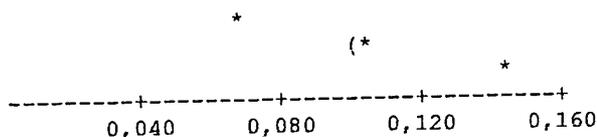
One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0317635	0,0105878	40592,35	0,000
Error	8	0,0000021	0,0000003		
Total	11	0,0317656			

S = 0,0005107 R-Sq = 99,99% R-Sq(adj) = 99,99%
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
0	3	0,003333	0,000153

1	3	0,069000	0,001000
2	3	0,102500	0,000100
3	3	0,143900	0,000100

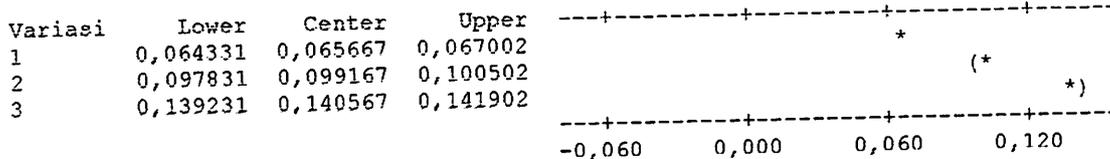


Pooled StDev = 0,000511

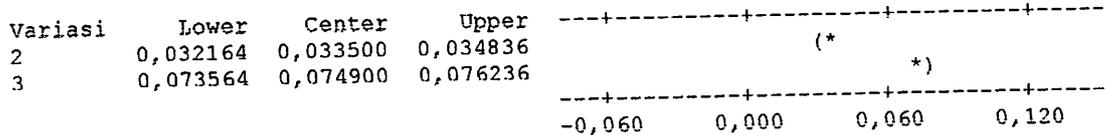
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

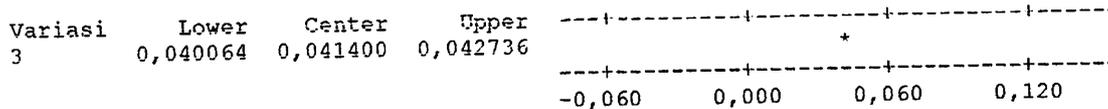
Variasi = 0 subtracted from:



Variasi = 1 subtracted from:



Variasi = 2 subtracted from:



Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

The regression equation is
Konsentrasi akhir Pb = 0,0114 + 0,0455 Variasi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,011403	0,003997	2,85	0,017
Variasi	0,045520	0,002136	21,31	0,000

s = 0,00827370 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,031081	0,031081	454,04	0,000
Residual Error	10	0,000685	0,000068		
Lack of Fit	2	0,000682	0,000341	1308,22	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur

The regression equation is
Konsentrasi akhir Pb = 0,0114 + 0,0455 Lumpur

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,011403	0,003997	2,85	0,017
Lumpur	0,045520	0,002136	21,31	0,000

S = 0,00827370 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,031081	0,031081	454,04	0,000
Residual Error	10	0,000685	0,000068		
Lack of Fit	2	0,000682	0,000341	1308,22	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Pasir

The regression equation is

Konsentrasi akhir Pb = 0,148 - 0,0455 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,147963	0,003997	37,02	0,000
Pasir	-0,045520	0,002136	-21,31	0,000

S = 0,00827370 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,031081	0,031081	454,04	0,000
Residual Error	10	0,000685	0,000068		
Lack of Fit	2	0,000682	0,000341	1308,22	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

* NOTE * All values in column are identical.

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Semen; Pasir; Lumpur

* Semen is (essentially) constant

* Semen has been removed from the equation.

* Lumpur is highly correlated with other X variables

* Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is

Konsentrasi akhir Pb = 0,148 - 0,0455 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,147963	0,003997	37,02	0,000	
Pasir	-0,045520	0,002136	-21,31	0,000	1,0

S = 0,00827370 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,031081	0,031081	454,04	0,000

Residual Error 10 0,000685 0,000068
 Total 11 0,031766

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Pasir; Lumpur

- * Lumpur is highly correlated with other X variables
- * Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
 Konsentrasi akhir Pb = 0,148 - 0,0455 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,147963	0,003997	37,02	0,000	
Pasir	-0,045520	0,002136	-21,31	0,000	1,0

S = 0,00827370 R-Sq = 97,8% R-Sq(adj) = 97,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,031081	0,031081	454,04	0,000
Residual Error	10	0,000685	0,000068		
Total	11	0,031766			

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is
 Konsentrasi akhir Pb = 0,00534 + 0,0637 Lumpur - 0,00607 Lumpur2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,005337	0,002923	1,83	0,101
Lumpur	0,063720	0,004695	13,57	0,000
Lumpur2	-0,006067	0,001500	-4,05	0,003

S = 0,00519495 R-Sq = 99,2% R-Sq(adj) = 99,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,031523	0,015761	584,02	0,000
Residual Error	9	0,000243	0,000027		
Lack of Fit	1	0,000241	0,000241	923,20	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,031081
Lumpur2	1	0,000442

Regression Analysis: Konsentrasi akhi versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is
 Konsentrasi akhir Pb = 0,00333 + 0,0951 Lumpur - 0,0361 Lumpur2
 + 0,00668 Lumpur3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,0033333	0,0002949	11,30	0,000
Lumpur	0,095106	0,001131	84,06	0,000
Lumpur2	-0,0361167	0,0009999	-36,12	0,000
Lumpur3	0,0066778	0,0002198	30,38	0,000

S = 0,000510718 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,031764	0,010588	40592,35	0,000
Residual Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.
 No degrees of freedom for lack of fit.
 Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,031081
Lumpur2	1	0,000442
Lumpur3	1	0,000241

Unusual Observations

Obs	Lumpur	Konsentrasi akhir Pb	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	1,00	0,068000	0,069000	0,000295	-0,001000	-2,40R
5	1,00	0,070000	0,069000	0,000295	0,001000	2,40R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Pasir; Pasir2

The regression equation is
 Konsentrasi akhir Pb = 0,142 - 0,0273 Pasir - 0,00607 Pasir2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,141897	0,002923	48,54	0,000
Pasir	-0,027320	0,004695	-5,82	0,000
Pasir2	-0,006067	0,001500	-4,05	0,003

S = 0,00519495 R-Sq = 99,2% R-Sq(adj) = 99,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,031523	0,015761	584,02	0,000
Residual Error	9	0,000243	0,000027		
Lack of Fit	1	0,000241	0,000241	923,20	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	0,031081
Pasir2	1	0,000442

Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Pasir; Pasir2; Pasir3

The regression equation is
 Konsentrasi akhir Pb = 0,144 - 0,0587 Pasir + 0,0240 Pasir2 - 0,00668 Pasir3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,143900	0,000295	488,02	0,000
Pasir	-0,058706	0,001131	-51,89	0,000
Pasir2	0,0239833	0,0009999	23,98	0,000
Pasir3	-0,0066778	0,0002198	-30,38	0,000

S = 0,000510718 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,031764	0,010588	40592,35	0,000
Residual Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031766			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.
 No degrees of freedom for lack of fit.
 Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	0,031081
Pasir2	1	0,000442
Pasir3	1	0,000241

Unusual Observations

Obs	Pasir	Konsentrasi akhir Pb	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	2,00	0,068000	0,069000	0,000295	-0,001000	-2,40R
5	2,00	0,070000	0,069000	0,000295	0,001000	2,40R

R denotes an observation with a large standardized residual.

KONSENTRASI AKHIR Cr**Descriptive Statistics: Konsentrasi akhirCr**

Variable	Variasi	Total Count	N	N*	Percent	CumPct	Mean	SE Mean
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	25	0,000283	0,00000333
	1	3	3	0	25	50	0,004000	0,0000577
	2	3	3	0	25	75	0,005233	0,0000333
	3	3	3	0	25	100	0,008733	0,0000882

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,00000577	0,000280	0,000280	0,000280	0,000290
	1	0,000100	0,003900	0,003900	0,004000	0,004100
	2	0,0000577	0,005200	0,005200	0,005200	0,005300
	3	0,000153	0,008600	0,008600	0,008700	0,008900

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,000290	0,0000100
	1	0,004100	0,000200
	2	0,005300	0,000100
	3	0,008900	0,000300

Correlations: Konsentrasi akhirCr; Variasi

Pearson correlation of Konsentrasi akhirCr and Variasi = 0,984
 P-Value = 0,000

Correlations: Konsentrasi akhirCr; Semen; Pasir; Lumpur

Konsentrasi	Semen	Pasir
-------------	-------	-------

Semen		*		
		*		
Pasir	-0,984	*		
	0,000	*		
Lumpur	0,984	*	-1,000	
	0,000	*	*	

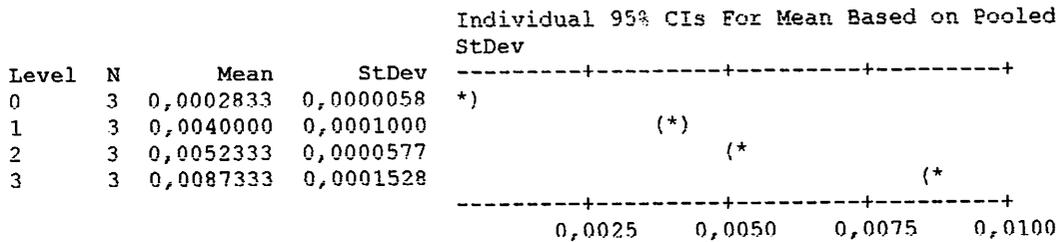
Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

* NOTE * All values in column are identical.

One-way ANOVA: Konsentrasi akhirCr versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0001094	0,0000365	3975,32	0,000
Error	8	0,0000001	0,0000000		
Total	11	0,0001095			

S = 0,00009579 R-Sq = 99,93% R-Sq(adj) = 99,91%



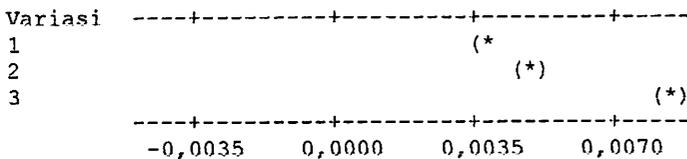
Pooled StDev = 0,0000958

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

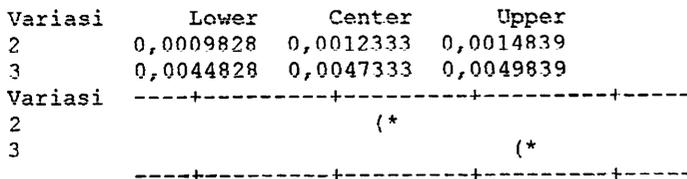
Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	0,0034661	0,0037167	0,0039672
2	0,0046995	0,0049500	0,0052005
3	0,0081995	0,0084500	0,0087005



Variasi = 1 subtracted from:



-0,0035 0,0000 0,0035 0,0070

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	0,0032495	0,0035000	0,0037505

Variasi	-----+-----+-----+-----+-----			
3			(*)	
	-----+-----+-----+-----+-----			
	-0,0035	0,0000	0,0035	0,0070

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Variasi

The regression equation is
 Konsentrasi akhirCr = 0,000575 + 0,00266 Variasi

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,0005750	0,0002855	2,01	0,072
Variasi	0,0026583	0,0001526	17,42	0,000

S = 0,000591015 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00010600	0,00010600	303,47	0,000
Residual Error	10	0,00000349	0,00000035		
Lack of Fit	2	0,00000342	0,00000171	186,35	0,000
Pure Error	8	0,00000007	0,00000001		
Total	11	0,00010949			

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Lumpur

The regression equation is
 Konsentrasi akhirCr = 0,000575 + 0,00266 Lumpur

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,0005750	0,0002855	2,01	0,072
Lumpur	0,0026583	0,0001526	17,42	0,000

S = 0,000591015 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00010600	0,00010600	303,47	0,000
Residual Error	10	0,00000349	0,00000035		
Lack of Fit	2	0,00000342	0,00000171	186,35	0,000
Pure Error	8	0,00000007	0,00000001		
Total	11	0,00010949			

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Pasir

The regression equation is
 Konsentrasi akhirCr = 0,00855 - 0,00266 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,0085500	0,0002855	29,95	0,000
Pasir	-0,0026583	0,0001526	-17,42	0,000

s = 0,000591015 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00010600	0,00010600	303,47	0,000
Residual Error	10	0,00000349	0,00000035		
Lack of Fit	2	0,00000342	0,00000171	186,35	0,000
Pure Error	8	0,00000007	0,00000001		
Total	11	0,00010949			

* NOTE * All values in column are identical.

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Semen; Pasir; Lumpur

* Semen is (essentially) constant
* Semen has been removed from the equation.

* Lumpur is highly correlated with other X variables
* Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
Konsentrasi akhirCr = 0,00855 - 0,00266 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,0085500	0,0002855	29,95	0,000	
Pasir	-0,0026583	0,0001526	-17,42	0,000	1,0

s = 0,000591015 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00010600	0,00010600	303,47	0,000
Residual Error	10	0,00000349	0,00000035		
Total	11	0,00010949			

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Pasir; Lumpur

* Lumpur is highly correlated with other X variables
* Lumpur has been removed from the equation.

The regression equation is
Konsentrasi akhirCr = 0,00855 - 0,00266 Pasir

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,0085500	0,0002855	29,95	0,000	
Pasir	-0,0026583	0,0001526	-17,42	0,000	1,0

s = 0,000591015 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00010600	0,00010600	303,47	0,000
Residual Error	10	0,00000349	0,00000035		
Total	11	0,00010949			

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is
Konsentrasi akhirCr = 0,000521 + 0,00282 Lumpur - 0,000054 Lumpur2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,0005208	0,0003488	1,49	0,170	
Lumpur	0,0028208	0,0005601	5,04	0,001	12,3
Lumpur2	-0,0000542	0,0001789	-0,30	0,769	12,3

S = 0,000619836 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,000106036	0,000053018	138,00	0,000
Residual Error	9	0,000003458	0,000000384		
Total	11	0,000109494			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,000106001
Lumpur2	1	0,000000035

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhirCr} = 0,000283 + 0,00654 \text{ Lumpur} - 0,00362 \text{ Lumpur2} + 0,000792 \text{ Lumpur3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,00028333	0,00005530	5,12	0,001	
Lumpur	0,0065417	0,0002122	30,83	0,000	73,6
Lumpur2	-0,0036167	0,0001875	-19,28	0,000	563,5
Lumpur3	0,00079167	0,00004122	19,21	0,000	261,1

S = 0,0000957862 R-Sq = 99,9% R-Sq(adj) = 99,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000109421	0,000036474	3975,32	0,000
Residual Error	8	0,000000073	0,000000009		
Total	11	0,000109494			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,000106001
Lumpur2	1	0,000000035
Lumpur3	1	0,000003384

Unusual Observations

Obs	Lumpur	Konsentrasi akhirCr	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	3,00	0,008900	0,008733	0,000055	0,000167	2,13R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Pasir; Pasir2

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhirCr} = 0,00850 - 0,00250 \text{ Pasir} - 0,000054 \text{ Pasir2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,0084958	0,0003488	24,36	0,000	
Pasir	-0,0024958	0,0005601	-4,46	0,002	12,3
Pasir2	-0,0000542	0,0001789	-0,30	0,769	12,2

S = 0,000619836 R-Sq = 96,8% R-Sq(adj) = 96,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,000106036	0,000053018	138,00	0,000
Residual Error	9	0,000003458	0,000000384		
Total	11	0,000109494			

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	0,000106001
Pasir2	1	0,000000035

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Pasir; Pasir2; Pasir3

The regression equation is
 Konsentrasi akhirCr = 0,00873 - 0,00622 Pasir + 0,00351 Pasir2 - 0,000792 Pasir3

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	0,00873333	0,00005530	157,92	0,000	73,6
Pasir	-0,0062167	0,0002122	-29,30	0,000	563,5
Pasir2	0,0035083	0,0001875	18,71	0,000	261,1
Pasir3	-0,00079167	0,00004122	-19,21	0,000	

S = 0,0000957862 R-Sq = 99,9% R-Sq(adj) = 99,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000109421	0,000036474	3975,32	0,000
Residual Error	8	0,000000073	0,000000009		
Total	11	0,000109494			

Source	DF	Seq SS
Pasir	1	0,000106001
Pasir2	1	0,000000035
Pasir3	1	0,000003384

Unusual Observations

Obs	Pasir	Konsentrasi akhirCr	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
11	0,00	0,008900	0,008733	0,000055	0,000167	2,13R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**STATISTIK BATAKO
PENAMBAHAN FLY ASH**
(dengan MINITAB 14)

KUAT TEKAN

Descriptive Statistics: Kuat Tekan

Variable	Variasi	Total Count	N	N*	Percent	CumPct	Mean	SE Mean	StDev
Kuat Tekan	0	3	3	0	25	25	69,677	0,524	0,908
	1	3	3	0	25	50	22,090	0,382	0,662
	2	3	3	0	25	75	16,713	0,273	0,473
	3	3	3	0	25	100	10,743	0,428	0,741

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Kuat Tekan	0	69,070	69,070	69,240	70,720	70,720	1,650
	1	21,380	21,380	22,200	22,690	22,690	1,310
	2	16,440	16,440	16,440	17,260	17,260	0,820
	3	10,030	10,030	10,690	11,510	11,510	1,480

Correlations: Kuat Tekan; Variasi

Pearson correlation of Kuat Tekan and Variasi = -0,871
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Kuat Tekan versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	6552,030	2184,010	4291,63	0,000
Error	8	4,071	0,509		
Total	11	6556,101			

S = 0,7134 R-Sq = 99,94% R-Sq(adj) = 99,91%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI Lower	CI Upper
0	3	69,677	0,908	67,857	71,497
1	3	22,090	0,662	20,766	23,414
2	3	16,713	0,473	15,771	17,655
3	3	10,743	0,741	9,261	12,225

Pooled StDev = 0,713

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	-49,452	-47,587	-45,721
2	-54,829	-52,963	-51,098
3	-60,799	-58,933	-57,068

Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	-7,242	-5,377	-3,511
3	-13,212	-11,347	-9,481

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	-7,836	-5,970	-4,104

Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan} = 67,5 - 49,4 \text{ Lumpur} + 10,4 \text{ Lumpur2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	67,537	3,133	21,56	0,000
Lumpur	-49,430	5,031	-9,83	0,000
Lumpur2	10,404	1,607	6,47	0,000

S = 5,56667 R-Sq = 95,7% R-Sq(adj) = 94,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6277,2	3138,6	101,29	0,000
Residual Error	9	278,9	31,0		
Lack of Fit	1	274,8	274,8	540,03	0,000
Pure Error	8	4,1	0,5		
Total	11	6556,1			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	4978,3
Lumpur2	1	1299,0

PENYERAPAN AIR

Descriptive Statistics: Penyerapan Air

Variable	Variasi	Total				Mean	SE Mean	StDev
		Count	N	N*	Percent			
Penyerapan Air	0	3	3	0	25	10,530	0,140	0,243
	1	3	3	0	25	12,540	0,146	0,252
	2	3	3	0	25	19,290	0,269	0,465
	3	3	3	0	25	22,603	0,230	0,399

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Penyerapan Air	0	10,250	10,250	10,650	10,690	10,690	0,440
	1	12,260	12,260	12,610	12,750	12,750	0,490
	2	18,820	18,820	19,300	19,750	19,750	0,930
	3	22,240	22,240	22,540	23,030	23,030	0,790

Correlations: Penyerapan Air; Variasi

Pearson correlation of Penyerapan Air and Variasi = 0,979
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Penyerapan Air versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	288,266	96,089	771,43	0,000
Error	8	0,996	0,125		
Total	11	289,262			

S = 0,3529 R-Sq = 99,66% R-Sq(adj) = 99,53%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
0	3	10,530	0,243	(*)			
1	3	12,540	0,252		(-*)		
2	3	19,290	0,465			(*)	
3	3	22,603	0,399				(-*)
				-----+-----+-----+-----+-----			
				10,5	14,0	17,5	21,0

Pooled StDev = 0,353

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	1,087	2,010	2,933
2	7,837	8,760	9,683
3	11,150	12,073	12,996

Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	5,827	6,750	7,673
3	9,140	10,063	10,986

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	2,390	3,313	4,236

Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is

$$\text{Penyerapan Air} = 10,5 - 3,09 \text{ Lumpur} + 6,46 \text{ Lumpur2} - 1,36 \text{ Lumpur3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	10,5300	0,2038	51,68	0,000
Lumpur	-3,0856	0,7818	-3,95	0,004
Lumpur2	6,4583	0,6910	9,35	0,000
Lumpur3	-1,3628	0,1519	-8,97	0,000

S = 0,352928 R-Sq = 99,7% R-Sq(adj) = 99,5%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	288,266	96,089	771,43	0,000
Residual Error	8	0,996	0,125		
Total	11	289,262			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.

No degrees of freedom for lack of fit.

Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	276,963
Lumpur2	1	1,274
Lumpur3	1	10,029

KONSENTRASI Pb

Descriptive Statistics: Konsentrasi akhir Pb

Variable	Variasi	Total				CumPct	Mean	SE Mean
		Count	N	N*	Percent			
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	25	0,002633	0,0000882
	1	3	3	0	25	50	0,059333	0,0000882
	2	3	3	0	25	75	0,089300	0,000306
	3	3	3	0	25	100	0,11787	0,000203

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,000153	0,002500	0,002500	0,002600	0,002800
	1	0,001528	0,058000	0,058000	0,059000	0,061000
	2	0,000529	0,088900	0,088900	0,089100	0,089900
	3	0,000351	0,11750	0,11750	0,11790	0,11820

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,002800	0,000300
	1	0,061000	0,003000
	2	0,089900	0,001000
	3	0,11820	0,000700

Correlations: Konsentrasi akhir Pb; Variasi

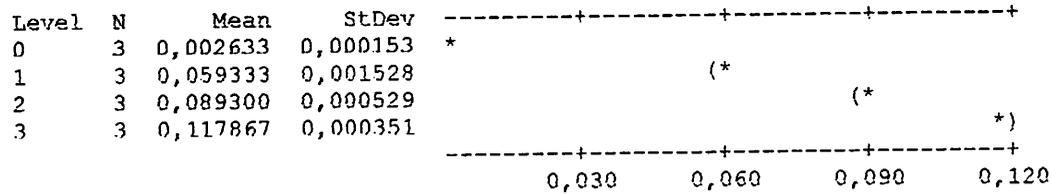
Pearson correlation of Konsentrasi akhir Pb and Variasi = 0,984
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0218587	0,0072862	10559,76	0,000
Error	8	0,0000055	0,0000007		
Total	11	0,0218642			

s = 0,0008307 R-Sq = 99,97% R-Sq(adj) = 99,97%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



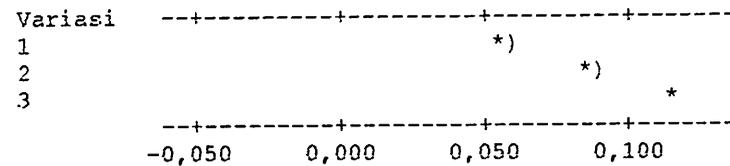
Pooled StDev = 0,000831

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

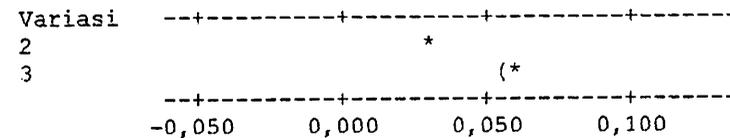
Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	0,054527	0,056700	0,058873
2	0,084494	0,086667	0,088839
3	0,113061	0,115233	0,117406



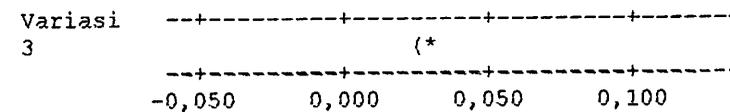
Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	0,027794	0,029967	0,032139
3	0,056361	0,058533	0,060706



Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	0,026394	0,028567	0,030739



Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is
Konsentrasi akhir Pb = 0,00390 + 0,0587 Lumpur - 0,00703 Lumpur2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,003900	0,001892	2,06	0,069
Lumpur	0,058667	0,003039	19,30	0,000
Lumpur2	-0,0070333	0,0009708	-7,24	0,000

S = 0,00336298 R-Sq = 99,5% R-Sq(adj) = 99,4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,021762	0,010881	962,12	0,000
Residual Error	9	0,000102	0,000011		
Total	11	0,021864			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,021169
Lumpur2	1	0,000594

KONSENTRASI Cr

Descriptive Statistics: Konsentrasi akhirCr

Variable	Variasi	Total				CumPct	Mean	SE Mean
		Count	N	N*	Percent			
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	25	0,000193	0,0000882
	1	3	3	0	25	50	0,002767	0,0000333
	2	3	3	0	25	75	0,004067	0,000120
	3	3	3	0	25	100	0,006667	0,000120

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,0000153	0,000180	0,000180	0,000190	0,000210
	1	0,0000577	0,002700	0,002700	0,002800	0,002800
	2	0,000208	0,003900	0,003900	0,004000	0,004300
	3	0,000208	0,006500	0,006500	0,006600	0,006900

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,000210	0,0000300
	1	0,002800	0,000100
	2	0,004300	0,000400
	3	0,006900	0,000400

Correlations: Konsentrasi akhirCr; Variasi

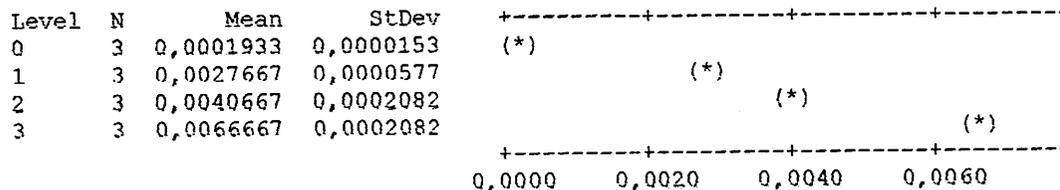
Pearson correlation of Konsentrasi akhirCr and Variasi = 0,991
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Konsentrasi akhirCr versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0000654	0,0000218	966,26	0,000
Error	8	0,0000002	0,0000000		
Total	11	0,0000656			

S = 0,0001502 R-Sq = 99,72% R-Sq(adj) = 99,62%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0,0001502

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	0,0021805	0,0025733	0,0029662
2	0,0034805	0,0038733	0,0042662
3	0,0060805	0,0064733	0,0068662

```

Variasi  -----+-----+-----+-----+-----
1                                     (-*)
2                                     (*)
3                                     (-*)
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0030   0,0000   0,0030   0,0060

```

Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	0,0009072	0,0013000	0,0016928
3	0,0035072	0,0039000	0,0042928

```

Variasi  -----+-----+-----+-----+-----
2                                     (*-)
3                                     (*)
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0030   0,0000   0,0030   0,0060

```

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	0,0022072	0,0026000	0,0029928

```

Variasi  -----+-----+-----+-----+-----
3                                     (-*)
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0030   0,0000   0,0030   0,0060

```

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhirCr} = 0,000193 + 0,00407 \text{ Lumpur} - 0,00192 \text{ Lumpur2} + 0,000429 \text{ Lumpur3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00019333	0,00008671	2,23	0,056
Lumpur	0,0040678	0,0003327	12,23	0,000
Lumpur2	-0,0019233	0,0002941	-6,54	0,000
Lumpur3	0,00042889	0,00006463	6,64	0,000

S = 0,000150194 R-Sq = 99,7% R-Sq(adj) = 99,6%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000065392	0,000021797	966,26	0,000
Residual Error	8	0,000000180	0,000000023		
Total	11	0,000065572			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,000064398
Lumpur2	1	0,000000001
Lumpur3	1	0,000000993

**STATISTIK BATAKO
PENAMBAHAN ABU
AMPAS TEBU (*dengan
MINITAB 14*)**

KUAT TEKAN

Descriptive Statistics: Kuat Tekan

Variable	Variasi	Total			Percent	CumPct	Mean	SE Mean	StDev
		Count	N	N*					
Kuat Tekan	0	3	3	0	25	25	62,223	0,277	0,479
	1	3	3	0	25	50	20,113	0,238	0,413
	2	3	3	0	25	75	9,040	0,473	0,820
	3	3	3	0	25	100	5,477	0,273	0,473

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Kuat Tekan	0	61,670	61,670	62,500	62,500	62,500	0,830
	1	19,730	19,730	20,060	20,550	20,550	0,820
	2	8,220	8,220	9,040	9,860	9,860	1,640
	3	4,930	4,930	5,750	5,750	5,750	0,820

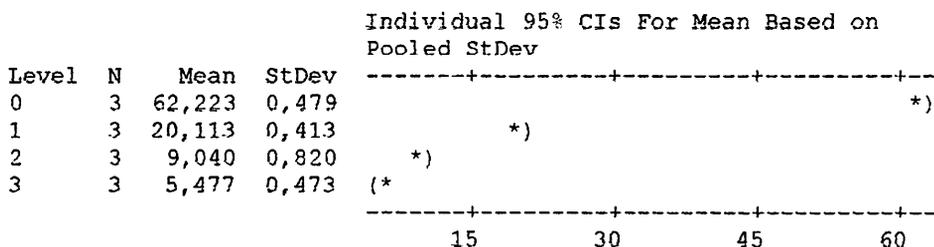
Correlations: Kuat Tekan; Variasi

Pearson correlation of Kuat Tekan and Variasi = -0,897
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Kuat Tekan versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	6128,588	2042,863	6303,19	0,000
Error	8	2,593	0,324		
Total	11	6131,181			

S = 0,5693 R-Sq = 99,96% R-Sq(adj) = 99,94%

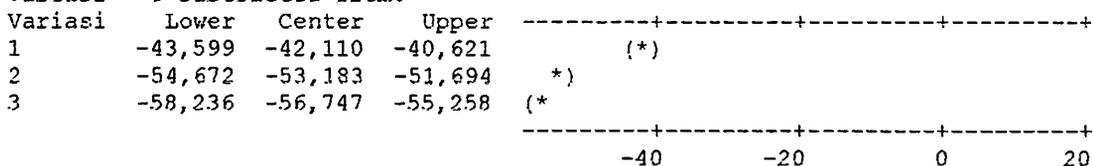


Pooled StDev = 0,569

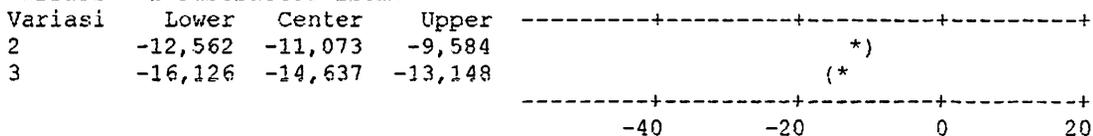
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

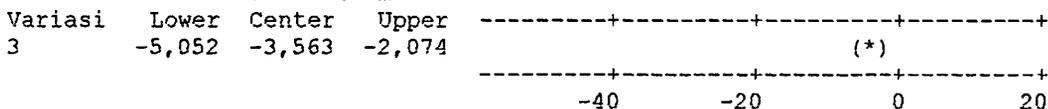
Variasi = 0 subtracted from:



Variasi = 1 subtracted from:



Variasi = 2 subtracted from:



Regression Analysis: Kuat Tekan versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is

$$\text{Kuat Tekan} = 61,0 - 47,0 \text{ Lumpur} + 9,64 \text{ Lumpur2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	61,047	1,736	35,17	0,000
Lumpur	-47,041	2,787	-16,88	0,000
Lumpur2	9,6367	0,8904	10,82	0,000

S = 3,08434 R-Sq = 98,6% R-Sq(adj) = 98,3%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	6045,6	3022,8	317,75	0,000
Residual Error	9	85,6	9,5		
Lack of Fit	1	83,0	83,0	256,17	0,000
Pure Error	8	2,6	0,3		
Total	11	6131,2			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	4931,2
Lumpur2	1	1114,4

PENYERAPAN AIR

Descriptive Statistics: Penyerapan Air

Variable	Variasi	Total			Percent	CumPct	Mean	SE Mean	StDev
		Count	N	N*					
Penyerapan Air	0	3	3	0	25	25	13,807	0,139	0,241
	1	3	3	0	25	50	17,820	0,230	0,398
	2	3	3	0	25	75	21,993	0,161	0,279
	3	3	3	0	25	100	24,933	0,340	0,588

Variable	Variasi	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	IQR
Penyerapan Air	0	13,530	13,530	13,920	13,970	13,970	0,440
	1	17,590	17,590	17,590	18,280	18,280	0,690
	2	21,690	21,690	22,050	22,240	22,240	0,550
	3	24,430	24,430	24,790	25,580	25,580	1,150

Correlations: Penyerapan Air; Variasi

Pearson correlation of Penyerapan Air and Variasi = 0,994

P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Penyerapan Air versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	212,693	70,898	442,56	0,000
Error	8	1,282	0,160		
Total	11	213,975			

S = 0,4002 R-Sq = 99,40% R-Sq(adj) = 99,18%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev				
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----				
0	3	13,807	0,241	(*-)				
1	3	17,820	0,398	(-*)				
2	3	21,993	0,279	(-*)				
3	3	24,933	0,588	(*-)				
				-----+-----+-----+-----+-----				
				14,0	17,5	21,0	24,5	

Pooled StDev = 0,400

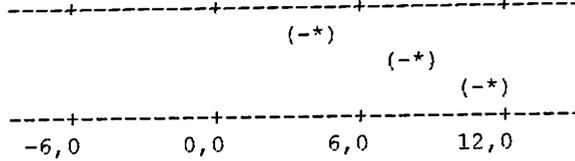
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

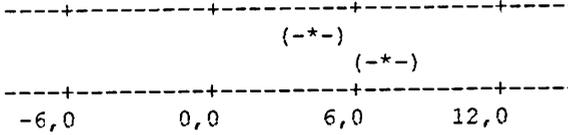
Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	2,967	4,013	5,060
2	7,140	8,187	9,233
3	10,080	11,127	12,173



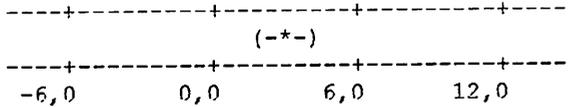
Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	3,127	4,173	5,220
3	6,067	7,113	8,160



Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	1,893	2,940	3,987



Regression Analysis: Penyerapan Air versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is

$$\text{Penyerapan Air} = 13,7 + 4,56 \text{ Lumpur} - 0,268 \text{ Lumpur2}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,7370	0,2352	58,39	0,000
Lumpur	4,5603	0,3778	12,07	0,000
Lumpur2	-0,2683	0,1207	-2,22	0,053

S = 0,418039 R-Sq = 99,3% R-Sq(adj) = 99,1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	212,40	106,20	607,71	0,000
Residual Error	9	1,57	0,17		
Lack of Fit	1	0,29	0,29	1,82	0,215
Pure Error	8	1,28	0,16		
Total	11	213,97			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	211,54
Lumpur2	1	0,86

KONSENTRASI AKHIR Pb

Descriptive Statistics: Konsentrasi akhir Pb

Variable	Variasi	Total				Mean	SE Mean
		Count	N	N*	Percent		
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	0,003900	0,0000577
	1	3	3	0	25	0,070000	0,000577
	2	3	3	0	25	0,10260	0,000208
	3	3	3	0	25	0,14407	0,0000882

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,000100	0,003800	0,003800	0,003900	0,004000
	1	0,001000	0,069000	0,069000	0,070000	0,071000
	2	0,000361	0,10230	0,10230	0,10250	0,10300
	3	0,000153	0,14390	0,14390	0,14410	0,14420

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,004000	0,000200
	1	0,071000	0,002000
	2	0,10300	0,000700
	3	0,14420	0,000300

Correlations: Konsentrasi akhir Pb; Variasi

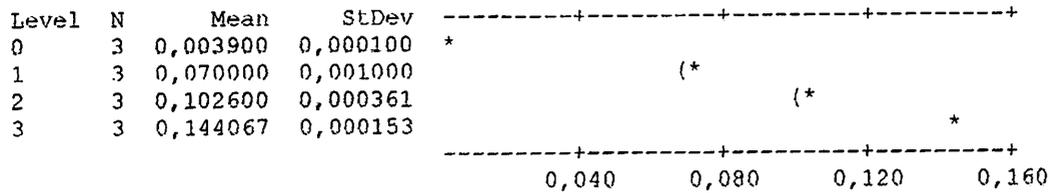
Pearson correlation of Konsentrasi akhir Pb and Variasi = 0,988
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Konsentrasi akhir Pb versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0315193	0,0105064	36125,25	0,000
Error	8	0,0000023	0,0000003		
Total	11	0,0315216			

S = 0,0005393 R-Sq = 99,99% R-Sq(adj) = 99,99%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

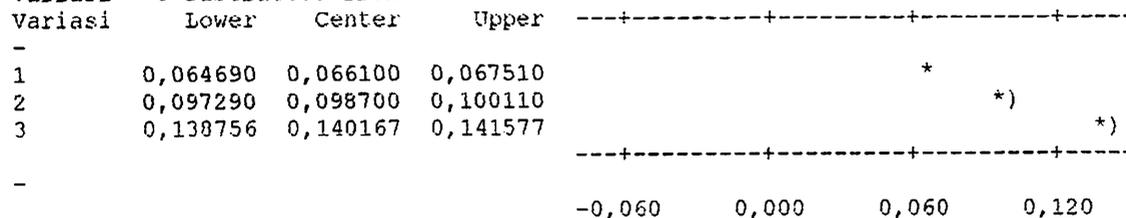


Pooled StDev = 0,000539

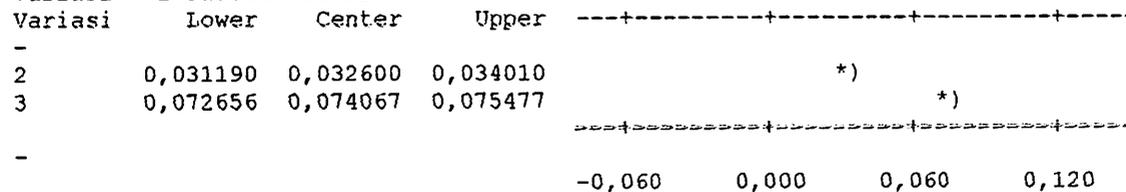
Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

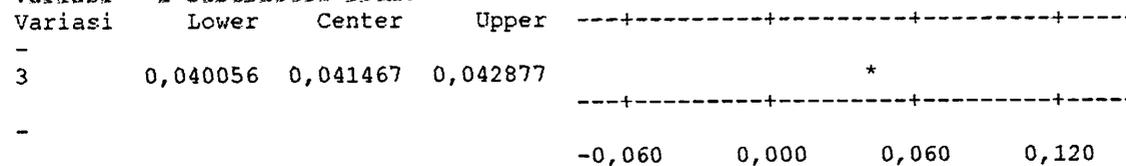
Variasi = 0 subtracted from:



Variasi = 1 subtracted from:



Variasi = 2 subtracted from:



Regression Analysis: Konsentrasi akhir Pb versus Lumpur; Lumpur2

The regression equation is
Konsentrasi akhir Pb = 0,00602 + 0,0638 Lumpur - 0,00616 Lumpur2

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,006018	0,003091	1,95	0,083
Lumpur	0,063785	0,004964	12,85	0,000
Lumpur2	-0,006158	0,001586	-3,88	0,004

S = 0,00549309 R-Sq = 99,1% R-Sq(adj) = 98,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0,031250	0,015625	517,83	0,000
Residual Error	9	0,000272	0,000030		
Lack of Fit	1	0,000269	0,000269	925,75	0,000
Pure Error	8	0,000002	0,000000		
Total	11	0,031522			

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,030795
Lumpur2	1	0,000455

KONSENTRASI AKHIR Cr

Descriptive Statistics: Konsentrasi akhirCr

Variable	Variasi	Total				Mean	SE Mean
		Count	N	N*	Percent		
Konsentrasi akhi	0	3	3	0	25	0,000247	0,0000333
	1	3	3	0	25	0,003967	0,0000333
	2	3	3	0	25	0,005233	0,0000333
	3	3	3	0	25	0,008933	0,0000333

Variable	Variasi	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
Konsentrasi akhi	0	0,0000577	0,000240	0,000240	0,000250	0,000250
	1	0,0000577	0,003900	0,003900	0,004000	0,004000
	2	0,0000577	0,005200	0,005200	0,005200	0,005300
	3	0,0000577	0,008900	0,008900	0,008900	0,009000

Variable	Variasi	Maximum	IQR
Konsentrasi akhi	0	0,000250	0,000100
	1	0,004000	0,000100
	2	0,005300	0,000100
	3	0,009000	0,000100

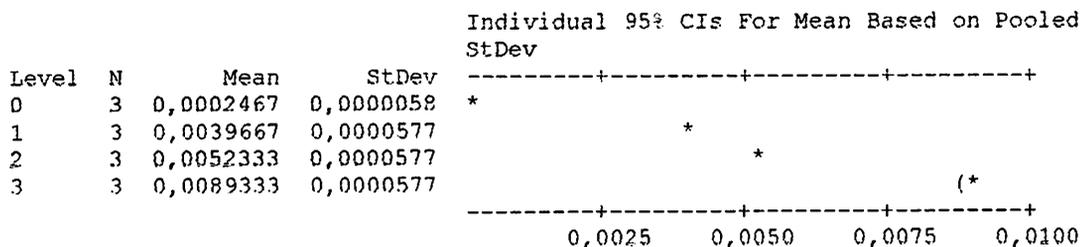
Correlations: Konsentrasi akhirCr; Variasi

Pearson correlation of Konsentrasi akhirCr and Variasi = 0,984
P-Value = 0,000

One-way ANOVA: Konsentrasi akhirCr versus Variasi

Source	DF	SS	MS	F	P
Variasi	3	0,0001156	0,0000385	15361,36	0,000
Error	8	0,0000000	0,0000000		
Total	11	0,0001156			

S = 0,00005008 R-Sq = 99,98% R-Sq(adj) = 99,98%



Pooled StDev = 0,0000501

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of Variasi

Individual confidence level = 98,74%

Variasi = 0 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
1	0,0035890	0,0037200	0,0038510
2	0,0048557	0,0049867	0,0051177
3	0,0085557	0,0086867	0,0088177

```

Variasi -----+-----+-----+-----+-----
1                                     (*
2                                     *)
3                                     (*
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0035  0,0000  0,0035  0,0070

```

Variasi = 1 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
2	0,0011357	0,0012667	0,0013977
3	0,0048357	0,0049667	0,0050977

```

Variasi -----+-----+-----+-----+-----
2                                     (*
3                                     *)
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0035  0,0000  0,0035  0,0070

```

Variasi = 2 subtracted from:

Variasi	Lower	Center	Upper
3	0,0035690	0,0037000	0,0038310

```

Variasi -----+-----+-----+-----+-----
3                                     (*
-----+-----+-----+-----+-----
-0,0035  0,0000  0,0035  0,0070

```

Regression Analysis: Konsentrasi akhirCr versus Lumpur; Lumpur2; Lumpur3

The regression equation is

$$\text{Konsentrasi akhirCr} = 0,000247 + 0,00658 \text{ Lumpur} - 0,00367 \text{ Lumpur2} + 0,000814 \text{ Lumpur3}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,00024667	0,00002892	8,53	0,000
Lumpur	0,0065756	0,0001109	59,27	0,000
Lumpur2	-0,00367000	0,00009806	-37,43	0,000
Lumpur3	0,00081444	0,00002155	37,79	0,000

S = 0,0000500833 R-Sq = 100,0% R-Sq(adj) = 100,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0,000115594	0,000038531	15361,36	0,000
Residual Error	8	0,000000020	0,000000003		
Total	11	0,000115614			

The number of distinct predictor combinations equals the number of parameters.

No degrees of freedom for lack of fit.

Cannot do pure error test.

Source	DF	Seq SS
Lumpur	1	0,000112012
Lumpur2	1	0,000000000
Lumpur3	1	0,000003582

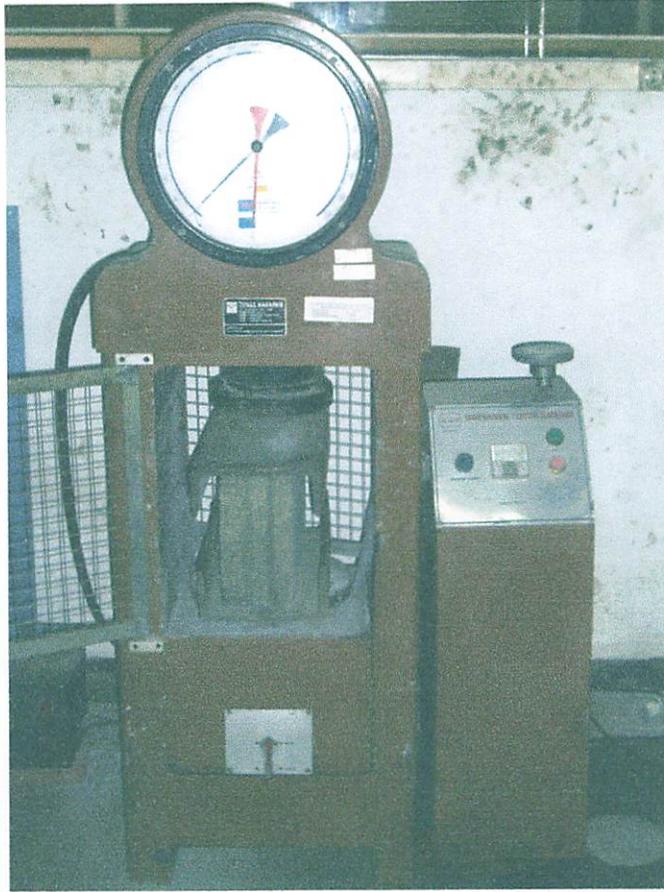
LAMPIRAN V
DOKUMENTASI PENELITIAN



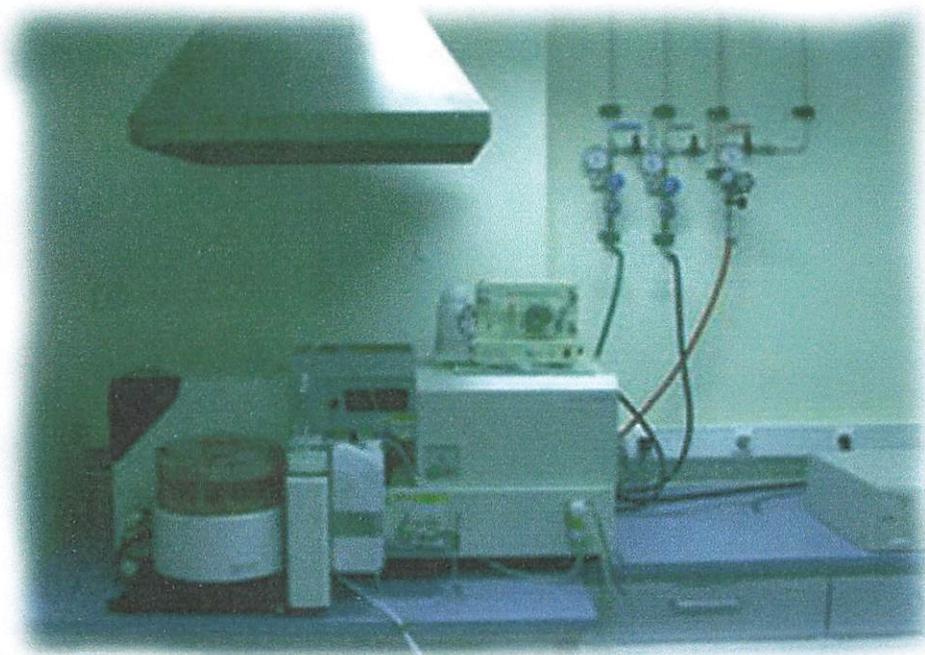
Filter Pres IPLC RS. Dr. Saiful Anwar Malang



Pengeringan Lumpur



Pengujian Kuat Tekan dengan menggunakan *Compression Testing Machine*.



Uji logam berat dengan **AAS** (*Atom Absorption Spectrofometri*)



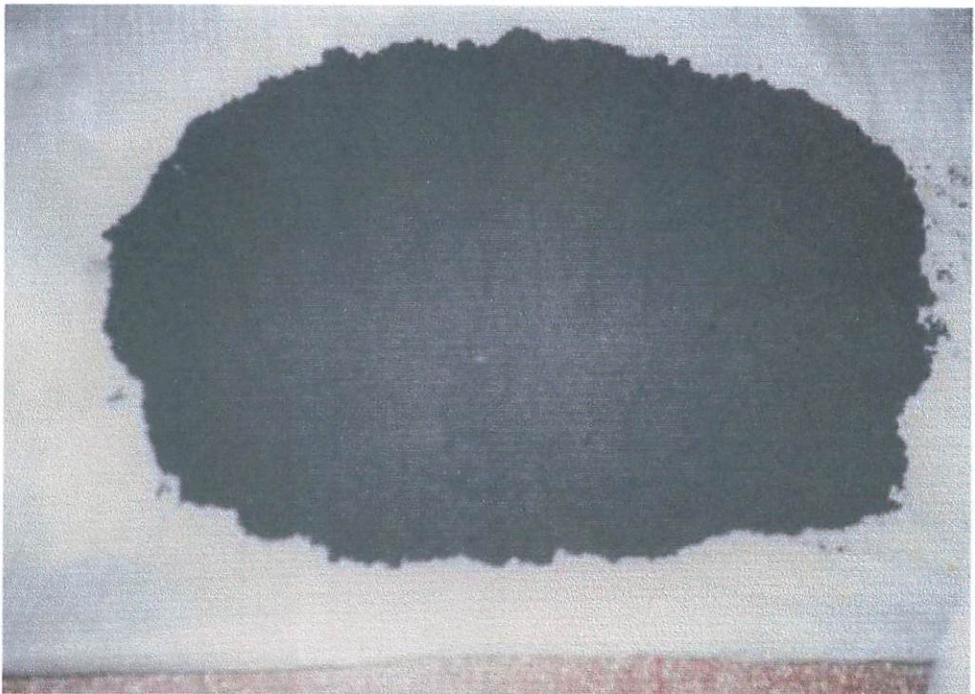
Compression Testing Machine
Pencil and Ink Drawing



Upright Piston and Valve
Pencil and Ink Drawing



Fly Ash PLTU Paiton



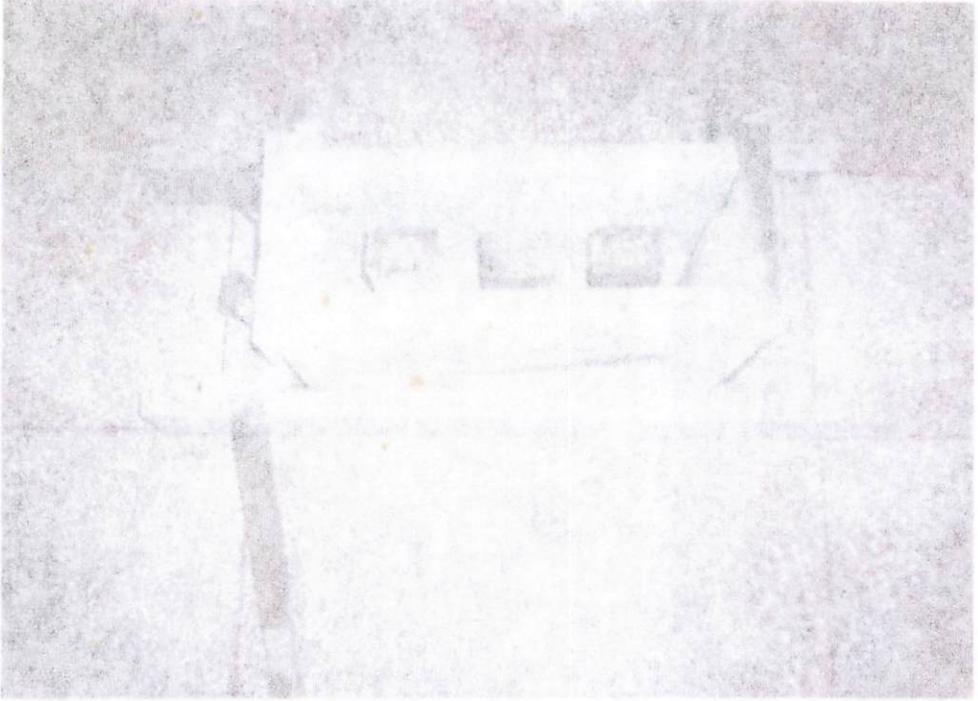
Abu Ampas Tebu PG Kebon Agung Malang



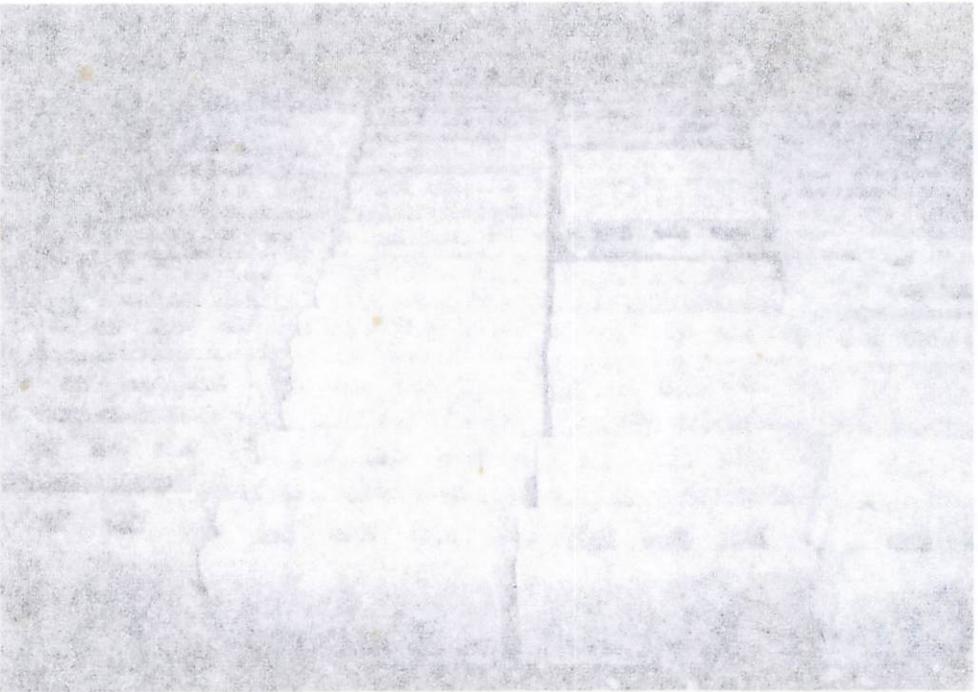
Cetakan Batako



Pengerinan Batako



Cetakan Balako



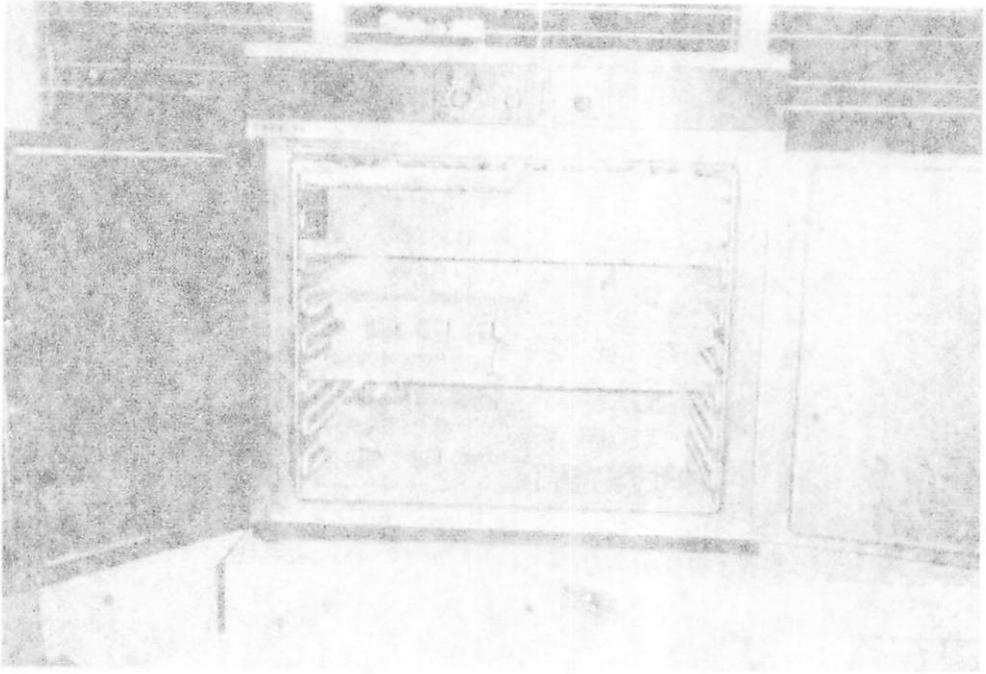
Pengangkatan Balako



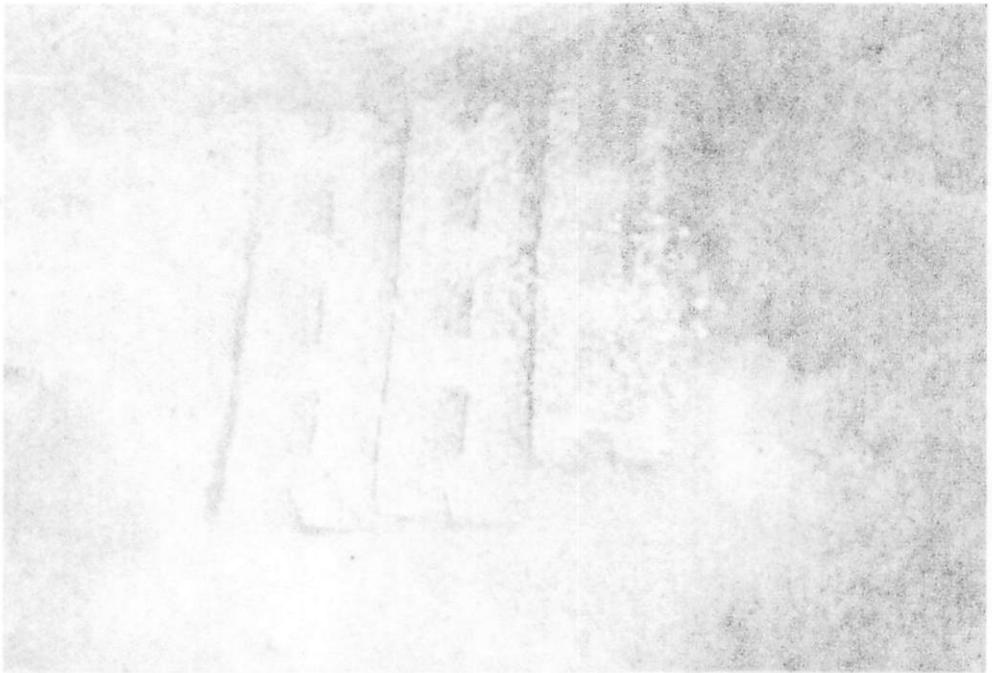
Pengovenan Benda Uji



Perendaman Benda Uji



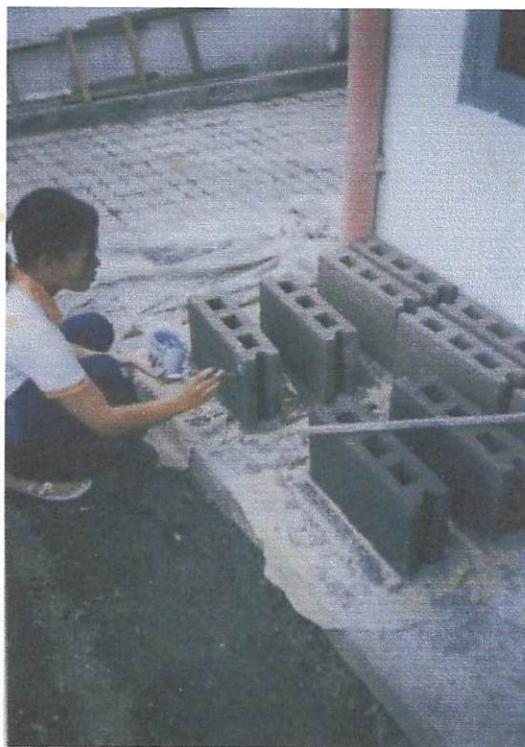
Pengovenan Benda Uji



Pendinginan Benda Uji



• Penimbangan Benda Uji



Pengkodean Benda Uji



• Penimbangan Benda Uji



• Pengkodean Benda Uji