

**PENGARUH PENGGUNAAN ENDAPAN LIMBAH BATUAN PADA
CAMPURAN BETON TERHADAP MODULUS ELASTISITAS**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

BAMBANG ARDIANSYAH

0110610020-61

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
MALANG
2007**

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada ALLAH SWT atas semua berkat, rahmat dan karuniaNya, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini disusun berdasarkan pengamatan dan penelitian yang dilakukan di laboratorium selama kurang lebih 2 bulan. Penelitian-penelitian terdahulu dan literatur yang ada sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan baik doa, moral, maupun materiil
2. Ibu Ir. Hj Ristinah S, MT selaku dosen pembimbing skripsi
3. Bapak Ari Wibowo, ST, MT selaku dosen pembimbing skripsi
4. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT selaku dosen penguji
5. Bapak Ir. As'ad Munawir, MT selaku dosen wali
6. Teman-teman di Sipil Brawijaya terutama angkatan 2001
7. Rekan-rekan dan pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu selama proses penelitian hingga terselesaikannya laporan skripsi ini

Penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu segala saran dan kritik sangat saya harapkan, agar tercapai hasil yang lebih baik. Harapan saya semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 10 Agustus 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Beton	4
2.1.1 Semen	5
2.1.1.1 Sifat Kimia dan Fisika Semen	5
2.1.2 Agregat	8
2.1.2.1 Agregat halus (fine aggregates)	8
2.1.2.2 Agregat kasar (coarse aggregates)	9
2.1.3 Air	9
2.2 Endapan Limbah Batuan	10
2.2.1 Umum	10
2.2.1.1 Pemanfaatan Limbah Batuan	10
2.2.2 Karakteristik Endapan Limbah Batuan	12
2.2.3 Pengujian semen dengan endapan limbah batuan	14
2.2.3.1 Reaksi Hidrasi	15
2.2.3.2 Panas Hidrasi	15
2.2.3.3 Waktu Ikat Semen	17
2.3 Modulus Elastisitas	20
2.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas Di laboratorium	23
2.4 Hipotesis Penelitian	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24

3.3 Analisis Bahan yang digunakan	24
3.3.1 Pasir	24
3.3.2 Batuan	25
3.3.3 Air	25
3.4 Langkah – Langkah Penelitian	26
3.5 Rancangan Penelitian	27
3.5.1 Tabel – Tabel Perhitungan	27
3.6 Variabel Penelitian	29
3.7 Teknik Pengolahan Dan Analisis Data	29
3.8 Analisa Data	30

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan yang Digunakan	31
4.1.1 Semen	31
4.1.2 Air	31
4.1.3 Agregat Halus	31
4.1.4 Agregat Kasar	34
4.2 Pengujian Beton Segar	37
4.3 Pengujian Beton Keras	37
4.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas	38
4.4 Pengujian Hipotesis	42
4.4.1 Penggunaan endapan limbah batuan akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton	43
4.4.2 Analisis Regresi	44
4.5 Pembahasan	44
4.5.1 Pengaruh variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap modulus elastisitas	44

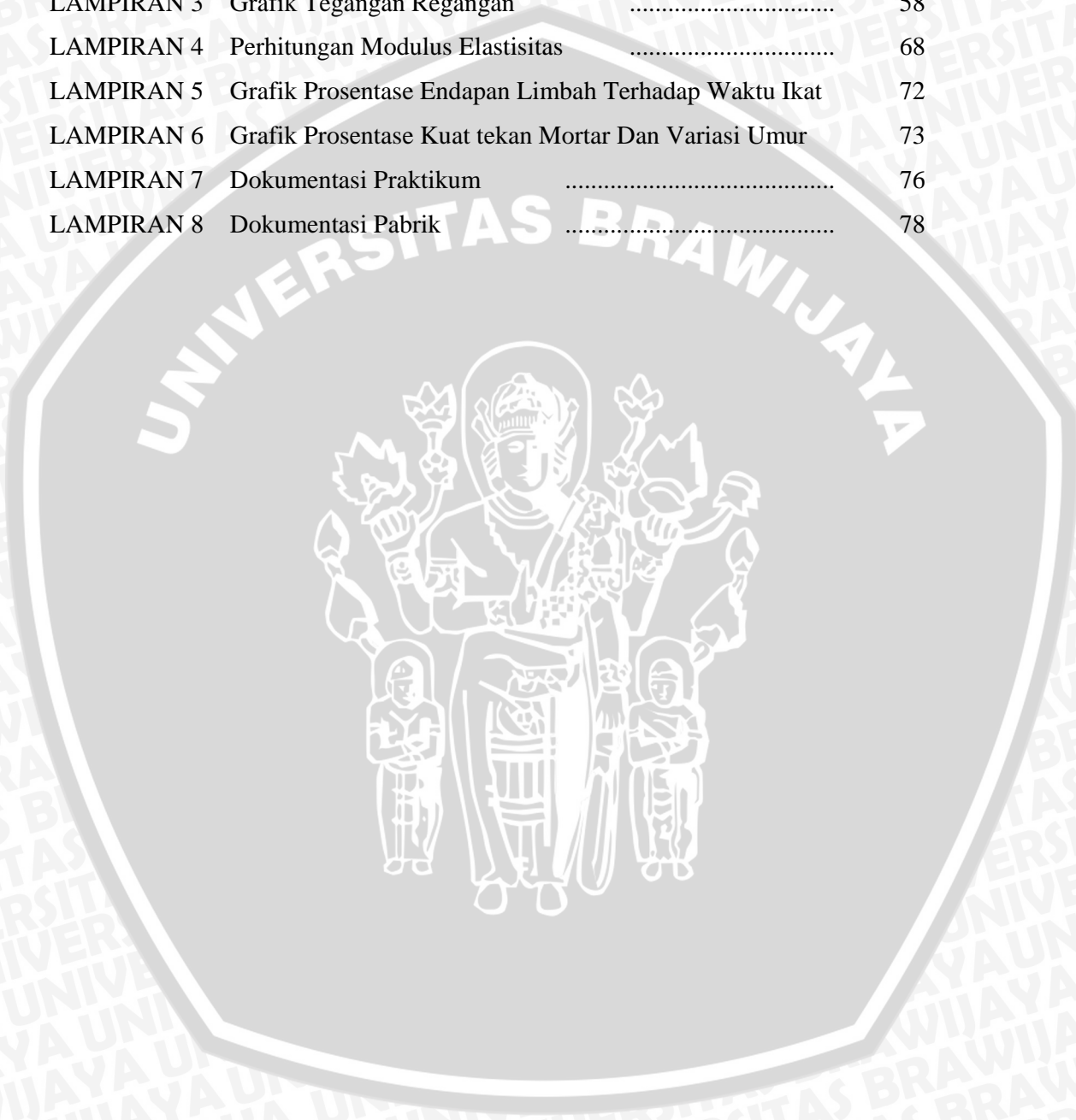
BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA	47
-----------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	Tabel Gaya Tekan Dan Deformasi	48
LAMPIRAN 2	Tabel Tegangan Dan Regangan	53
LAMPIRAN 3	Grafik Tegangan Regangan	58
LAMPIRAN 4	Perhitungan Modulus Elastisitas	68
LAMPIRAN 5	Grafik Prosentase Endapan Limbah Terhadap Waktu Ikat	72
LAMPIRAN 6	Grafik Prosentase Kuat tekan Mortar Dan Variasi Umur	73
LAMPIRAN 7	Dokumentasi Praktikum	76
LAMPIRAN 8	Dokumentasi Pabrik	78



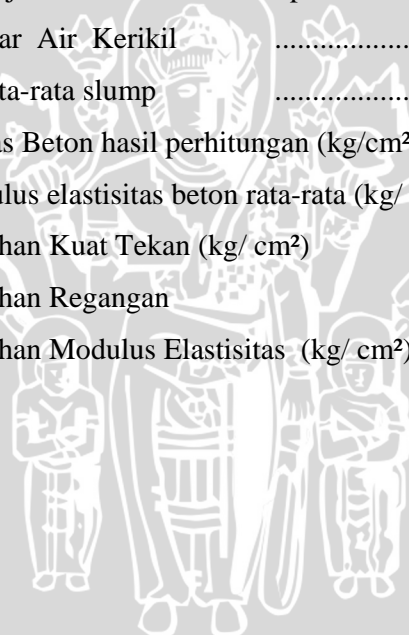
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam jenis batuan yang digunakan sebagai bahan baku	12
Gambar 2.1a	Perkembangan hidrasi dari senyawa	15
Gambar 2.1b	Panas yang diakibatkan hidrasi dari bermacam-macam semen	16
Gambar 2.2	Ilustrasi dari perubahan bentuk beton yang dibebani	20
Gambar 2.3	Kurva tegangan – regangan untuk beton dalam beton	21
Gambar 2.4	Grafik diagram regangan – tegangan beton	22
Gambar 3.1	Langkah-langkah penelitian	26
Gambar 4.1	Analisa gradasi agregat halus	32
Gambar 4.2	Analisa gradasi agregat kasar	35
Gambar 4.3	Hubungan tegangan regangan pada salah satu contoh benda uji hasil penelitian	39
Gambar 4.4	Grafik nilai penurunan kuat tekan beton rata-rata	42
Gambar 4.5	Grafik hubungan prosentase endapan terhadap regangan beton	42
Gambar 4.6	Grafik hubungan prosentase endapan terhadap Modulud Elastisitas	42
Gambar 4.7	Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan prosentase endapan limbah batuan	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Prosentase komposisi semen	6
Tabel 2.2	Komposisi kimia dan pengujian fisika semen	7
Tabel 2.3	Komposisi kimia endapan limbah batuan	13
Tabel 2.4	Panas hidrasi senyawa murni	16
Tabel 3.1	Rancangan Percobaan	27
Tabel 4.1	Hasil analisa gradasi agregat halus	31
Tabel 4.2	Hasil analisa berat jenis dan absorpsi pasir	33
Tabel 4.3	Hasil analisa kadar air pasir	33
Tabel 4.4	Hasil analisa gradasi agregat kasar	34
Tabel 4.5	Hasil analisa berat jenis dan absorpsi batu pecah biasa	36
Tabel 4.6	Hasil Analisa Kadar Air Kerikil	36
Tabel 4.7	Hasil pengujian rata-rata slump	37
Tabel 4.8	Modulus Elastisitas Beton hasil perhitungan (kg/cm ²)	40
Tabel 4.9	Rekapitulasi modulus elastisitas beton rata-rata (kg/ cm ²)	40
Tabel 4.10	Prosentase Perubahan Kuat Tekan (kg/ cm ²)	41
Tabel 4.11	Prosentase Perubahan Regangan	41
Tabel 4.12	Prosentase Perubahan Modulus Elastisitas (kg/ cm ²)	41



ABSTRAKSI

Bambang Ardiansyah, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, 2007, *Pengaruh Penggunaan Endapan Limbah Pada Campuran Beton Terhadap Modulus Elastisitas*, Skripsi, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
Pembimbing : Ir Ristinah S, MT. dan Ari Wibowo, ST, MT.

Semakin meningkatnya laju pembangunan fisik di Indonesia, khususnya di bidang konstruksi. Maka, terjadi peningkatan kebutuhan akan pemenuhan bahan baku yang sesuai dengan yang diperlukan. Hal ini menimbulkan kekhawatiran, karena semakin menipisnya persediaan bahan baku konstruksi yang ada dan sulit untuk memperolehnya sehingga berakibat mahalannya harga bahan baku tersebut. Penggunaan bahan baku dari limbah merupakan salah satu alternatif yang cukup potensial untuk diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan endapan limbah pabrik batu alam Junrejo pada campuran beton terhadap modulus elastisitas. Untuk maksud ini, penelitian yang akan dilakukan adalah pengujian pada masing-masing benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm untuk mendapatkan data berupa nilai modulus elastisitas beton pada setiap persentase limbah mulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen.

Penambahan endapan limbah pada variasi 0% berfungsi sebagai kontrol terhadap peningkatan atau penurunan modulus elastisitas. Sehingga, dapat diketahui bahwa terjadi *peningkatan* modulus elastisitas hanya terjadi pada penambahan endapan limbah batuan sebanyak 5%, yaitu sebesar 99%. Sedangkan pada penambahan endapan limbah batuan sebanyak 10% terjadi *penurunan* sebesar 13,26%, penambahan endapan limbah batuan sebanyak 15% terjadi *penurunan* sebesar 16%, dan penambahan endapan limbah batuan sebanyak 20% terjadi *penurunan* sebesar 13,66%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan beton sebagai bahan utama pembangunan sebuah konstruksi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya laju pertumbuhan penduduk di Indonesia. Oleh karenanya, diperlukan beton dengan kualitas yang sesuai dan ketersediaan yang memadai untuk memenuhi kebutuhan konstruksi di lapangan.

Untuk itu, jelas diperlukan bahan – bahan baku beton yang berkualitas baik dan ditopang dengan teknologi pembuatan yang baik. Namun, ketersediaan bahan baku beton semakin menipis seiring dengan terus meningkatnya permintaan pembangunan konstruksi. Berbagai macam bahan alternatif serta teknologi beton terus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Bahan alternatif yang digunakan harus memenuhi persyaratan struktural, disamping mudah didapat dan tidak berharga mahal. Penggunaan bahan baku dari endapan limbah batuan dapat dijadikan alternatif baru bahan baku beton. Walaupun demikian, tetap harus diadakan penelitian dan pengujian apakah bahan alternatif tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan untuk digunakan sebagai bahan baku beton.

Endapan limbah batuan pabrik batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang akan diuji sebagai bahan alternatif untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang diharapkan. Endapan limbah batuan ini berbentuk serbuk halus berwarna putih yang didapat dari air pembilasan hasil pemotongan dan penghalusan batuan marmer dan andesit. Penduduk sekitar menggunakan endapan limbah batuan ini sebagai campuran agregat beton karena setelah mengering limbah batuan ini memiliki daya ikat yang relatif kuat. Hal ini dapat diketahui dan dipelajari dari komposisi mineral batuan tersebut yang tersusun dari dolomit, kalsit sedikit kwarsa dan juga mika.

Pada penelitian ini akan dicoba pemakaian bahan tambahan endapan limbah batuan untuk dicampur dengan semen dan agregat beton pada suatu variasi prosentase tertentu. Penambahan limbah ini diharapkan akan mengurangi permeabilitas dan jumlah pemakaian semen dalam beton sehingga dapat mengurangi biaya produksi beton yang relatif mahal. Limbah batuan ini sudah tidak memiliki nilai ekonomi, oleh karena itu penelitian ini diharapkan benar – benar dapat membuktikan bahwa limbah ini dapat digunakan sebagai bahan alternatif pembuatan beton.

Disamping kuat tekan dan kuat tarik, sifat lain dari beton yang perlu dipertimbangkan sehubungan dengan fungsinya sebagai bahan konstruksi adalah sifat elastisitas terhadap pembebanan. Parameter yang digunakan untuk mengetahui elastisitas beton adalah dengan mengukur modulus elastisitas (Modulus Young) dan. Modulus elastisitas dipengaruhi oleh kekuatan, umur beton, sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis agregat, dan ukuran benda uji

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti ingin mengetahui pengaruh penggunaan endapan limbah batuan buangan pabrik pengrajin batu alam di Desa Junrejo Kota Batu tersebut terhadap modulus elastisitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas ,maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut :

- » Untuk mengetahui apakah variasi prosentase penambahan endapan limbah batuan berpengaruh pada modulus elastisitas
- » Bagaimanakah hubungan modulus elastisitas antara beton yang diberi penambahan endapan limbah batuan dengan beton normal.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat lebih tepat sasaran pada hasil tujuan yang ingin dicapai,maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengujian ini hanya akan dilakukan di laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.
2. Semen yang digunakan adalah semen gresik tipe I karena mudah didapatkan di pasaran. Untuk semen tidak dilakukan perlakuan dan penelitian secara khusus.
3. Endapan limbah batuan yang digunakan adalah berupa serbuk halus yang mengendap hasil pembilasan , pemotongan dan penghalusan batuan marmer dan andesit di Pabrik Marmer desa Junrejo kota Batu Malang.
4. Melakukan pembahasan dan penelitian awal mengenai komposisi kimia dan mineral dari endapan limbah batuan.
5. Melakukan uji mengenai waktu ikat awal dan ikat akhir terhadap semen.

6. Agregat kasar dan halus yang digunakan adalah kerikil dan pasir alam didapat dari wilayah di sekitar Malang. Tidak ada penelitian awal dan perlakuan khusus terhadap kerikil dan pasir alam ini.
7. Air yang digunakan untuk penelitian adalah air bersih PDAM Kodya Malang
8. Tidak ada perhitungan mengenai analisa ekonomi.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah variasi penambahan endapan limbah batuan pabrik keramik desa Junrejo Kota Batu Malang dapat berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton dibandingkan dengan beton normal biasa. Sehingga akhirnya akan didapat kurva hubungan antara kuat tekan hancur beton dengan modulus elastisitas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah untuk memberikan tambahan pengetahuan kepada peneliti, praktisi dan masyarakat di sekitar desa Junrejo Kota Batu Malang tentang pengaruh penambahan endapan limbah batuan pabrik keramik desa Junrejo Kota Batu Malang terhadap nilai modulus elastisitas beton yang dihasilkan, sehingga nantinya endapan limbah batuan ini layak dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan campuran semen portland, pasir, kerikil, dan air. Semen portland dan air setelah bertemu akan bereaksi, butir-butir semen bereaksi dengan air menjadi gel yang dalam beberapa hari menjadi keras dan saling merekat. Agregat yaitu pasir dan kerikil tidak mengalami proses kimia, melainkan hanya sebagai bahan pengisi saja yaitu sebagai bahan yang dilekatkan. Air, semen portland, kerikil, dan pasir akan menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) dan dapat dituang ke dalam cetakan untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras. Pasir dan kerikil merupakan agregat sebagai komponen yang dilekat, sementara pasta adalah komponen perekat. Jika agregat direkat menjadi satu maka dinamakan beton. Adukan semen portland dan air membentuk pasta. Pasta ini berfungsi untuk mengisi pori-pori di antara pasir dan kerikil dan berfungsi sebagai pengikat dalam proses pengerasan. Akibat ikatan ini antar agregat menjadi saling terikat kompak, kuat, dan padat. (Triono Budi Astanto, 2001)

Pengaruh Kualitas Bahan – Bahan Beton :

- 1) Semen : Kualitas dan kecepatan pengerasan
- 2) Agregat Halus (fine aggregates)
 - a) Gradasi, mempengaruhi kemudahan pengerjaan
 - b) Kadar air, mempengaruhi perbandingan air – semen
 - c) Lumpur, mempengaruhi kekuatan
 - d) Kebersihan, mempengaruhi kekuatan dan sifat – sifat awet beton
- 3) Agregat Kasar (coarse aggregates)
 - a) Gradasi, mempengaruhi kekuatan
 - b) Kadar air, mempengaruhi perbandingan air/semen
 - c) Kebersihan mempengaruhi kekuatan dan keawetan
- 4) Air : Kuantitasnya mempengaruhi hampir semua sifatnya, kualitas mempengaruhi pengerasan, kekuatan sifat – awet, dan lain – lain
- 5) Bahan Campuran (bila dipakai) : Modifikasi dari sifat – sifat beton. Hal ini masih tergantung pada jenis dan jumlah bahan campuran yang dipakai.

(L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)

2.1.1 Semen

Semen *portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat yaitu umumnya adalah gips. Semen *portland* merupakan bahan pengikat hidrolis artinya bahan pengikat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan menghasilkan produk yang tahan air. (Gideon Kusuma dkk : 1997)

Dalam PUBLI-1982, semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis bersama bahan tambahan (gips), sehingga bahan dasar dari semen adalah batu kapur. Semen mempunyai sifat adhesive dan cohesive yang digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*) setelah dicampur dengan bahan lain seperti pasir dan kerikil. (Triono B. Astanto, 2001:21)

2.1.1.1 Sifat Kimia dan Fisika Semen

Bahan baku pembentuk semen terdiri dari beberapa macam yaitu;

- Kapur

Berlebihan, menyebabkan perpecahan semen setelah timbul ikatan. Tinggi tetapi tak berlebihan memperlambat pengikatan dan menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan mengakibatkan semen yang lemah. Kurang sempurna pembakaran menyebabkan ikatan yang cepat.

- Silika + Alumina

Silika tinggi dan alumina rendah menghasilkan semen dengan ikatan lambat, berkekuatan tinggi dan meningkatkan ketahanan terhadap agresi kimia. Silika rendah dan alumina tinggi menghasilkan semen dengan ikatan cepat, berkekuatan tinggi.

- Besi Oksida

Memberi warna abu-abu pada semen, dan mempunyai sifat yang seperti alumina.

- Magnesium MgO (komposisi kecil)

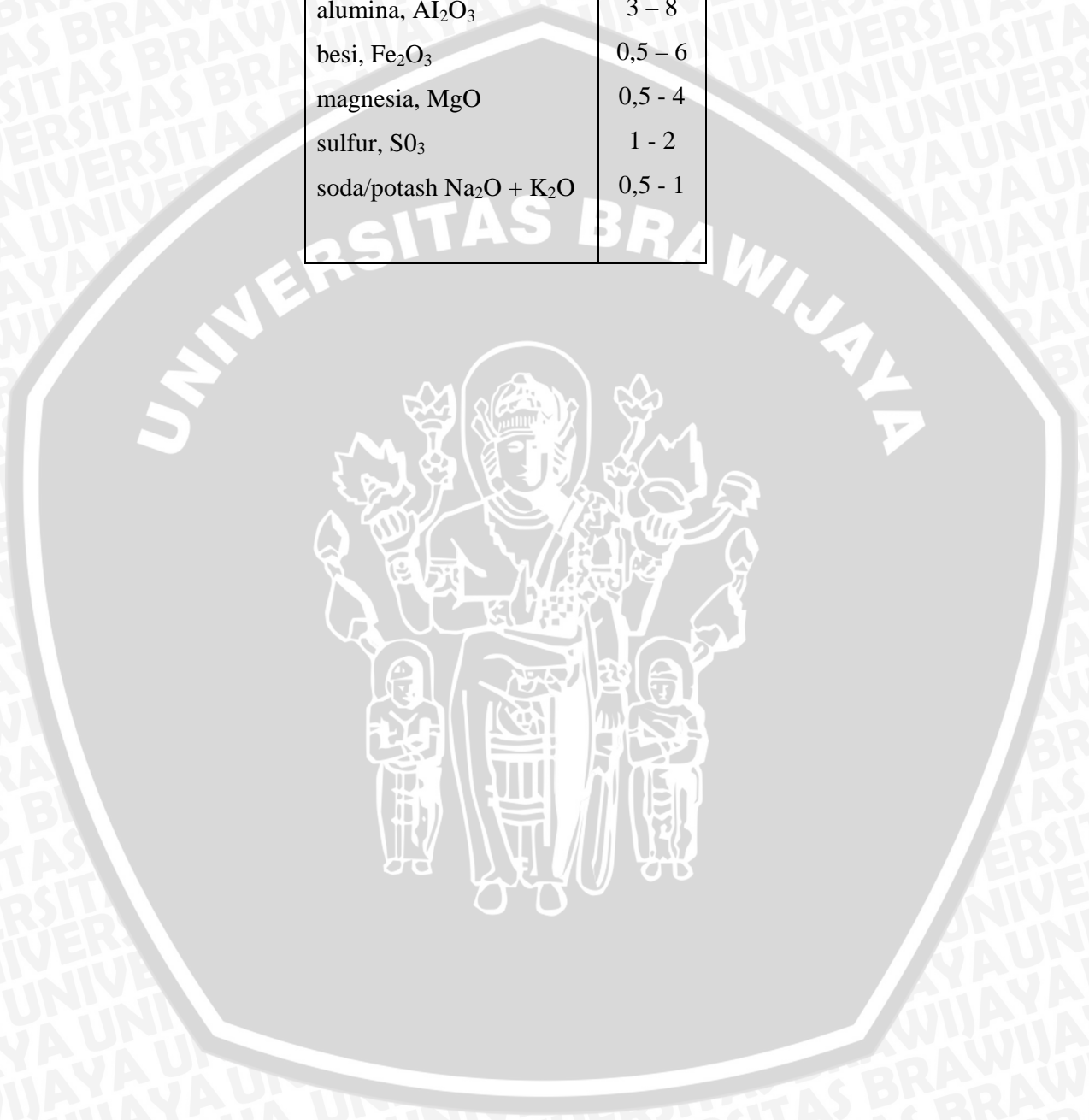
Dibatasi sampai 4 %, dan belerang (SO₃), dibatasi antara 2,5 dan 3 %. Jumlah yang berlebihan, kurang baik.

- Alkali Na₂O dan K₂O (komposisi kecil)

Dapat bereaksi dengan beberapa jenis agregat mengakibatkan perpecahan semen dan pengurangan kekuatan.

Tabel 2.1 Prosentase komposisi semen

Oksida	Persen
kapur, CaO	60 - 65
silika, SiO ₂	17 - 25
alumina, Al ₂ O ₃	3 - 8
besi, Fe ₂ O ₃	0,5 - 6
magnesia, MgO	0,5 - 4
sulfur, SO ₃	1 - 2
soda/potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1



Tabel 2.2 Komposisi kimia dan pengujian fisika semen

Spesifikasi Teknis				
Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji PCI
		15-2049-94	C 150-02	
		PC Jenis 1	PC Type 1	
Komposisi Kimia :				
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-		
Aluminium Dioksida	(Al ₂ O ₃),%	-		
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-		
Kalsium Oksida	(CaO),%	-		
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	0,22
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur Bebas	,%	-	-	0,59
Bagian tidak Larut	,%	≤ 3,00	≤ 0,60	0,19
Alkali	(Na ₂ O+0,658 K ₂ O),%	-	-	57,82
Tricalcium Silicate	(C ₃ S),%	-	-	57,82
Dicalcium Silicate	(C ₂ S),%	-	-	16,36
Tricalcium Silicate	(C ₃ A),%	-	-	8,16
Tetracalcium Aluminate Ferrit	(C ₄ AF),%	-	-	11,5
Pengujian Fisika :				
Kehalusan :				
- Dengan Alat Blaine	(m ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat				
- Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
- Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat autoclave :				
- Pemuai	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,060
- Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan :				
- 3 hari	(Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 122	230
- 7 hari	(Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
- 28 hari	(Kg/cm ²)	-	-	410
Pengikatan semu, (false set) :				
-Penetrasi Akhir	(%)	≥ 50	≥ 50	73,79

Sumber:<http://www.semengresik.com/indonesia/product/>

Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tinggi apabila mengeras. Kekuatan awal semen *Portland* semakin tinggi apabila banyak prosentase C_3S . Jika perawatan kelembaban terus berlangsung, kekuatan akhirnya akan lebih besar apabila prosentase C_2S semakin besar. C_3A mempunyai kontribusi terhadap kekuatan beberapa hari setelah pengecoran karena bahan ini yang lebih dahulu mengalami hidrasi. (Edward G. Nawy, 1990:9)

2.1.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang mengisi hampir 78% dari volume beton, maka pemilihan agregatpun harus diperhatikan. Ada dua jenis agregat, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). (*Triono Budi Astanto, 2001*)

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu – batuan, kerikil, pasir dan lain – lain) ialah : kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. (L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)

2.1.2.1 Agregat halus (*fine aggregates*) - pasir

Agregat halus merupakan material pengisi yang berupa pasir sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan- batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu.

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % , apabila lebih harus di cuci terlebih dahulu. Selain itu agregat halus tidak boleh mengandung organik-organik yang dapat merusak beton. Agregat halus apabila diayak harus lolos ayakan dengan diameter 4 mm.

Pasir merupakan komponen spesi yang paling berpengaruh dalam beratnya. Pada spesi biasanya terdapat sekitar 60 – 80 % volume agregat. Pasir harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa spesi dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat.

2.1.2.2 Agregat kasar (*coarse aggregates*) – kerikil/batu pecah

Yang dimaksud agregat kasar adalah agregat yang mempunyai besar butiran lebih dari 5 mm (tertahan saringan dengan diameter 5 mm) ukuran maksimum agregat kasar bisa sampai 200 mm, misalnya untuk pekerjaan beton yang sifatnya massal seperti bendungan beton. Pada konstruksi beton, ukuran maksimum agregat kasar sebaiknya dibatasi sampai 40 mm. (Indra Cahya, 1984 ; 17)

Agregat kasar untuk beton dapat berupa koral sebagai hasil disintegrasi batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan mesin pemecah batu. Untuk menentukan apakah agregat tersebut dapat dipakai sebagai bahan beton terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan yang meliputi uji gradasi, kadar air, berat jenis, absorpsi air, dan lain-lain. Untuk menjamin kebersihan agregat terhadap kandungan lumpur, maka disarankan untuk melakukan pencucian agregat terlebih dahulu.

2.1.3 Air

Ada beberapa persyaratan air sebagai pencampur konstruksi beton, sntsrns lain :

1. Tidak mengandung klorida (CL) $> 0,5$ gram/liter.
2. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.
3. Tidak mengandung lumpur > 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung zat organik, asam, dan garam – garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.

Biasanya jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan beton berkisar 25% dari jumlah berat semen. (Triono Budi Astanto, 2001)

Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan water cement ratio (w.c.r.). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai water cement ratio (w.c.r.) 0,40 – 0,60 tergantung mutu beton yang ingin dicapai.

Kenaikan faktor air semen (w.c.r) berpengaruh sebaliknya terhadap sifat – sifat beton, seperti permeabilitas (sifat kedap air), ketahanan terhadap gaya frost (pembekuan pada musim dingin) dan pengaruh cuaca, ketahanan terhadap abrasi, kekuatan tarik, rayapan, modulus rupture, dan penyusutan.

2.2 Endapan Limbah Batuan

2.2.1. Umum

Bahan ini di dapat dari limbah hasil proses produksi pabrik batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang. Batu – batuan alam yang *sebagian besar batu marmer* dan onix melewati proses pemotongan, penghalusan dan penyeleksian untuk selanjutnya akan diproses menjadi bahan mentah pembuatan tegel keramik dan onix.

Pada pemotongan awal batu alam ukuran sangat besar yang terdapat di alam dipotong sesuai ukuran rencana, pemotongan ini menghasilkan *pecahan* dan *endapan limbah batuan*, setelah itu pemotongan dilakukan sampai mencapai ukuran yang siap dijual, baru kemudian proses pemecahan dilakukan. Mesin pemecah dan penghalus batuan yang telah digunakan dibilas dengan air dan air bekas pembilasan inilah nantinya yang disebut dengan limbah cair. Limbah hasil residu dari proses produksi pabrik batu alam ini nantinya akan mengendap lalu mengering oleh udara dan panas dengan sendirinya. Endapan limbah batuan yang telah kering udara akan berbentuk serbuk halus seperti serbuk berwarna putih dengan kemerahan dan selanjutnya disebut sebagai *endapan limbah batuan*. Penggunaan limbah ini sebagai bahan tambahan pada beton diharapkan akan dapat mengurangi penggunaan semen pada beton sehingga menghasilkan beton yang lebih ekonomis dengan kekuatan yang tidak jauh berbeda.

2.2.1.1 Pemanfaatan Limbah Batuan

Terdiri dari tiga macam limbah;

1. Limbah batuan kasar.

Limbah batuan dalam hal ini merupakan sisa-sisa pembuangan yang ada di pabrik Junrejo yang memungkinkan dapat dimanfaatkan. Hal ini dilihat berdasarkan kualitas dari pabrik Junrejo tersebut yang sangat produktif dalam menghasilkan limbah batuan tersebut akan tetapi belum memiliki teknologi yang memadai untuk bisa mengetahui pemanfaatan limbah tersebut lebih lanjut. Salah satu jenis batuan tersebut memiliki karekteristik seperti bentuk pipih, serta memiliki tekstur kasar dengan permukaan licin akibat dari pengirisan batuan pada pabrik batuan alam tersebut dan juga memiliki warna gelap seperti hitam.

Dengan melihat karakteristik diatas, disamping bentuk permukaan yang pipih akibat pengirisan di pabrik tersebut maka jenis batuan dapat di kelompokkan pada jenis batuan dari klompok gabro yaitu batuan aphanitik yang disebut batuan basalt. Komposisi minerologi dan kimiawi dari basalt banyak kesamaannya dari gabro

terutama dalam komposisi kimia. Analisis kimia dari batuan basalt dari tholeitik dan high alkalin. (Dody Setia Graha, 1987)

Arif Budi S (2001), mengamati kuat tekan beton diperoleh nilai kuat tekan beton pada tiap-tiap variasi ukuran butiran agregat kasar dengan komposisi tertentu yang memiliki nilai optimum yaitu pada ukuran agregat kasar < 1.91 cm nilai kuat tekan beton maksimum pada komposisi 0 % BPB + 100 % LB dengan nilai kuat tekan beton rata-rata 201.093 kg/cm^2 . Pada ukuran butiran agrgat kasar < 2.54 cm nilai kuat tekan optimum yang diperoleh terdapat pada komposisi 50 % BPB + 50 % LB dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 223 Kg/cm^2 . sedangkan pada ukuran butiran agregat kasar < 3.81 cm nilai kuat tekan optimum yang diperoleh terdapat pada komposisi 100 % BPB + 0 % LB dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 205.133 Kg/cm^2 . Sehingga limbah batuan (LB) layak digunakan sebagai agregat alternatif pengganti agregat kasar pada campuran beton.

2. Limbah batuan halus.

Batuan halus yang dihasilkan oleh pabrik pengrajin batuan alam Junrejo hampir sama dengan batuan kasar tetapi lebih halus. Karakteristiknya lolos saringan batuan halus no 4,8 mm, tetapi di batuan halus ini belum ada yang mengamati.

3. Limbah cair.

Limbah cair yaitu limbah yang didapat dari pengerajin batuan alam Junrejo hampir sama dari batuan kasar dan halus, tapi limbah ini berbentuk cair lalu di buang dan dibiarkan dilahan buangan hingga mengalami pengendapan. Hal ini baru disebut endapan limbah batuan Junrejo kota Batu.

Ir. Priyo Pratomo, M.T (2001), meneliti tentang penggunaan limbah abu (marmer, sawit, semen) sebagai *bahan pengisi pada lataston*. Dari pengamatan hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa kombinasi bahan pengisi dari endapan limbah batuan dan abu terbang mendapatkan komposisi campuran Lataston yang lebih baik dengan rentang persyaratan yang memenuhi syarat lebih besar. Hal ini terutama dalam persyaratan rongga dalam campuran yang paling banyak menjadi kendala. Ditinjau dari gradasinya bahan pengisi abu terbang, abu kelapa sawit serta endapan limbah batuan dapat lolos saringan No.200, sehingga dapat dipakai sebagai bahan pengisi dengan berat jenis yang tidak berbeda jauh dengan pasir atau agregat halus. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengantian bahan pengisi bisa dilakukan dengan endapan limbah batuan, abu terbang maupun abu kelapa sawit dengan hasil campuran yang cukup memadai.

2.2.2. Karakteristik Endapan Limbah Batuan

Komposisi endapan limbah batuan tergantung dari jenis dan macam-macam batuan yang digunakan sebagai bahan baku utama. Bahan baku batu-batuan yang digunakan adalah tergolong batuan metamorf jika dilihat dari proses terbentuknya, komposisi mineral dan susunan mineralnya. Batuan marmer dan kwarsit ini berwarna putih keabu-abuan, bertekstur sedang, mempunyai struktur non foliasi yaitu batuan yang tersusun oleh mineral-mineral yang tidak menunjukkan penjajaran, memiliki komposisi mineral antara lain seperti dolomit, kalsit dan sedikit kwarsa, dan juga mempunyai sifat khas yang keras.

Batuan marmer dan kwarsit ini berwarna putih keabu-abuan, bertekstur sedang, mempunyai struktur non foliasi yaitu batuan yang tersusun oleh mineral-mineral yang tidak menunjukkan penjajaran, memiliki komposisi mineral antara lain seperti feldspar, dolomit, kalsit, kapurspar dengan berbagai macam tambahan dan juga sedikit kwarsa, dan juga mempunyai sifat khas yaitu masir kasar dan halus, retak dan berurat. Batuan ini juga memiliki kekuatan atas tekanan berkisar antara 1.300 kg/cm² – 2500 kg/cm² (Frick, Heinz, 1999).

Gambar 2.1 Macam-macam jenis batuan yang digunakan sebagai bahan baku



Karakteristik yang terdapat pada endapan limbah batuan antara lain :

- 1. Sifat kimiawi

Tabel 2.3 Komposisi kimia endapan limbah batuan

Komposisi	Jumlah
Ca	35 %
Si	25 %
Loss Of Ignition	40 %

Sumber: Hasil penelitian Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya

Dari tabel 2.1 ; 2.2 ; dan 2.3 diatas terdapat sebuah persamaan antara semen dan endapan limbah batuan yaitu : kandungan yang dominan adalah Ca dan Si.

2. Sifat fisik

Endapan limbah batuan ini umumnya memiliki berat jenis $\pm 2,692 \text{ gram/cm}^3$ (Pratomo, Priyo, 2001)

a). Susunan besar butir

Susunan besar butir atau gradasi endapan limbah batuan sangat bervariasi. Gradasi endapan limbah batuan dipengaruhi oleh tingkat kekerasan batuan metamorf yang digunakan. Selain itu metode pemotongan dan lamanya waktu penghalusan juga sangat mempengaruhi tingkat susunan butir gradasi.

b). Kehalusan

Ditinjau dari gradasinya bahan pengisi endapan limbah batuan dapat lolos saringan No.200, sehingga dapat dipakai sebagai bahan pengisi dengan berat jenis yang tidak berbeda jauh dengan pasir atau agregat halus.

Dapat dilihat bahwa terdapat persamaan kimia dan fisika antara endapan limbah batuan dan semen, selain itu hal lain yang harus menjadi bahan pertimbangan dalam menggunakan endapan limbah batuan yaitu, penelitian *initial setting time* dan *final setting time* (*waktu ikat awal dan akhir serta kuat tekan mortar yang dihasilkan*). Penelitian awal ini diperlukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan untuk melepas beton dari cetakan setelah dicampur endapan limbah batuan dan batas prosentase penambahan endapan limbah batuan.

2.2.3. Pengujian semen dengan endapan limbah batuan

Dari hasil penelitian saudara *Adies Anggrahito (2007)*, berdasarkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 10,56% dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum sebesar 85,149 menit. Sedangkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 12,22% dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum sebesar 182,84 menit. Berdasarkan hasil uji pendukung didapatkan waktu ikat akhir pasta tanpa penggunaan semen didapatkan antara 18 hingga 21 jam.

Dan berdasarkan penelitian saudara *M. Iswansyah (2007)*. Dari hasil analisa regresi untuk prosentase pemakaian endapan limbah batuan pada setiap umur pengujian terhadap kuat tekan hancurnya, didapatkan prosentase endapan limbah batuan optimum untuk umur pengujian 28 hari sebesar 10,599% dan untuk umur 42 hari sebesar

10,817%. Dengan nilai kuat tekan masing – masing sebesar $344,446 \text{ kg/cm}^2$ dan $356,209 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan kuat tekan mortar karakteristik secara nominal maksimum terjadi pada umur 56 hari dengan penambahan endapan limbah batuan 5%, yaitu sebesar $375,709 \text{ kg/cm}^2$, yang menunjukkan peningkatan sebesar 6,62% terhadap nilai kuat tekan mortar tanpa pemakaian endapan limbah batuan. Namun mortar yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak dapat mencapai kekuatan mortar yang disyaratkan dalam standart spesifikasi teknis semen gresik. Nilai kuat tekan mortar dengan prosentase endapan limbah batuan 0 % yang disyaratkan dalam standart spesifikasi teknis Semen Gresik (tabel 2.2) pada umur 28 hari, sebesar 410 kg/cm^2 , sedangkan mortar dalam penelitian dengan kadar endapan limbah batuan yang sama hanya mencapai $364,061 \text{ kg/cm}^2$.

Dari hasil tersebut didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan *endapan limbah batuan* dalam pasta semen berpengaruh secara nyata terhadap waktu ikat awal, waktu ikat akhir pasta, tetapi tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. Dari penelitian saudara *Adies Anggrahito* dan *M. Iswansyah* tersebut dapat menjadi acuan dalam penelitian penggunaan endapan limbah batuan ini pada campuran beton terhadap modulus elastisitas.

2.2.3.1. Reaksi Hidrasi

Semen jika terkena air akan bereaksi membentuk suatu bahan yang lengket seperti lem (bonding agent), akhirnya mengeras. Peristiwa ini disebut hidrasi. Sifat reaksi dari senyawa di atas adalah bersifat eksotermis. Sifat ini menandakan panas dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen. Jumlah panas yang dilepas oleh semen adalah panas hidrasi. (Paulus Nugraha, 19893).

Semen dan air dikombinasikan dalam proporsi yang tertentu. Untuk semen Portland, 1 bagian berat semen membutuhkan sekitar 0,25 bagian berat air untuk hidrasi. (Bahan dan Praktek Beton, L.J Murdock dan K. M Brook)

Karena hidrasi dimulai pada permukaan partikel semen, maka luas permukaan total menjadi faktor penentu hidrasi. Makin halus semen, maka makin besar pula luas permukaan total semen, sehingga pertumbuhan kekuatan makin cepat pula terjadi. Baik British Standard (BS) maupun ASTM mensyaratkan penentuan *spesific surface* pada semen (dalam m^2/kg).

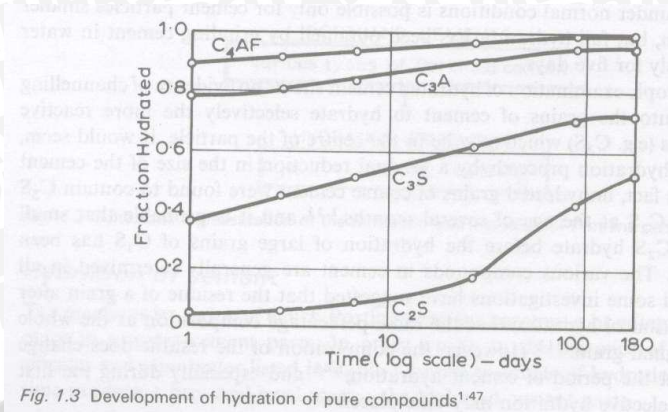


Fig. 1.3 Development of hydration of pure compounds^{1,47}

Gambar 2.1a Perkembangan hidrasi dari senyawa

2.2.3.2. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah jumlah panas (dalam Joule) per gram semen yang belum terhidrasi yang dikeluarkan sampai terjadi hidrasi yang komplit pada temperature tertentu. Hidrasi senyawa semen bersifat *eksothermie*. Kecepatan pertumbuhan panas hidrasi (temperature saat hidrasi terjadi) lebih penting daripada panas hidrasi total.

Untuk semen Portland biasa:

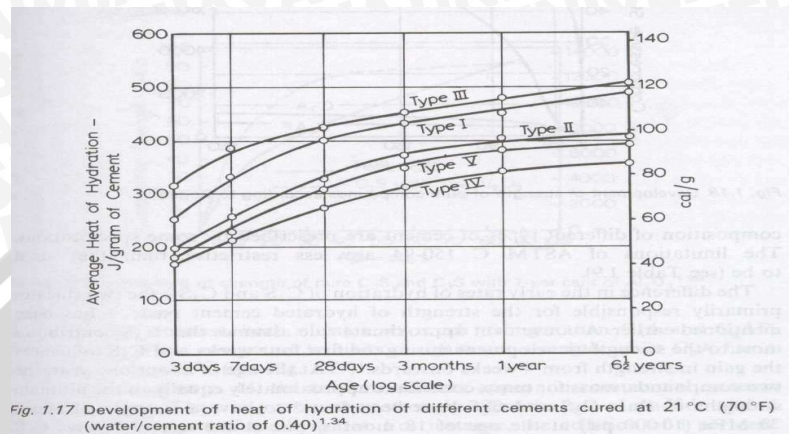
- ½ dari panas total dikeluarkan antara 1-3 hari
- ¾ dari panas total dikeluarkan dalam waktu 7 hari
- dan mencapai 90% dalam waktu 1 bulan

Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimiawi semen dan besarnya kira-kira sama dengan jumlah panas hidrasi dari masing-masing senyawa individual bila proporsinya dalam massa berhidrasi sendiri. Dengan mengurangi jumlah kandungan senyawa C₃A dan C₃S, panas hidrasi (dan laju kecepatannya) semen dapat dikurangi. Senyawa semen yang paling besar mengeluarkan panas adalah C₃A, kemudian C₃S, C₄AF, dan yang terendah adalah C₂S seperti terlihat pada tabel.

Tabel 2.4 Panas hidrasi senyawa murni

Senyawa	Panas Hidrasi	
	(Joule / gram)	(Cal / gram)
C ₃ S	502	120
C ₂ S	260	62
C ₃ A	867	207
C ₄ AF	419	100

“Tidak ada hubungan antara panas hidrasi dan sifat pengikatan (*cementing properties*) dari senyawa- senyawa individual semen. Kekuatan semen yang telah terhidrasi tidak dapat diramalkan atas dasar kekuatan masing- masing senyawanya.”
(Buku Diktat Teknologi Beton, Ari Wibowo,ST.,MT dan Ir.Edhi Wahyuni,MT)



Gambar 2.1b Panas yang diakibatkan hidrasi dari bermacam-macam semen

2.2.3.3. Waktu Ikat Semen

Semen Portland dalam keadaan kering mempunyai energi dan mulai aktif setelah dibubuhi air. Semen Portland yang telah ditambahkan air akan menjadi plastis sehingga dapat dikerjakan dengan mudah. Pengerasan pada semen tergantung pada reaksi kimia antara air dan semen. Dibutuhkan sebanyak kira-kira 20% air dari berat semen yang dipakai agar semen dapat mengeras. Reaksi antara semen dan air terdiri dari 2 periode :

- Periode Pengikatan → keadaan plastis, keadaan keras
- Periode Pengerasan → penambahan kekuatan setelah pengikatan itu selesai.

Pengujian waktu ikat bertujuan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasta dengan konsistensi yang normal. Disamping itu juga untuk menentukan waktu ikat itu sendiri.

Proses setting time adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah setting time massa dari pasta semen tidak kuat dan kekuatan desaknya menjadi kecil. Dengan berlalunya waktu dan bersamaan dengan proses hidrasi, pasta semen tersebut menjadi keras dan dengan sendirinya kekuatan desaknya menjadi bertambah. (Teknologi Beton, Indra Cahya)

Waktu pengikatan merupakan periode yang berlangsung antara permulaan semen menjadi kaku dan saat semen itu beralih kedalam keadaan keras atau padat. Pada periode ini semen menjadi keras tetapi belum cukup kuat. Setelah itu pengerasan berlangsung terus, mula-mula cepat kemudian berlangsung lambat dalam waktu yang lama. Pengikatan terus berlangsung dengan lambat, jika tidak demikian maka adukan beton akan sulit dikerjakan. (*Buku Diktat Teknologi Beton, Ari Wibowo, ST., MT dan Ir. Edhi Wahyuni, MT*)

Selama proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras seperti batu, semen mengalami dua tipe setting time (*Teknologi Beton, Indra Cahya*):

a. Initial Setting Time

Berlangsung saat semen mulai menjadi kaku setelah semen dicampur dengan air. Dimana pasta semen kehilangan plastisitasnya dan menjadi cukup koheren untuk menahan tekanan. Saat ini ditentukan dalam jam dan menit.

Standard initial setting time: 1-2 jam, bila initial setting time kurang dari 1 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

b. Final Setting Time

Setelah Initial Setting Time, pasta semen masih dalam keadaan keras dan makin menjadi kaku dan cukup kuat menahan tekanan yang besar.

Standard final setting time: 4-6 jam, bila final setting time kurang dari 4 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

Setting time dan pengerasan pasta semen, terutama akibat proses hidrasi dari keempat komponen yang khas semen, yaitu C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF .

Selain itu Tri Silikat adalah bahan semen yang baik, makin besar persentasenya, makin baik semen yang dihasilkan.

Sedangkan komponen aluminat sangat responsif sekali terhadap Initial Setting Time dari semen. Jadi Initial Setting Time dari semen tergantung pada proporsi aluminat. Setting time ini dapat diperlambat dengan memberikan 1-3% gips. Meskipun proses setting time dan pengerasan ini berlangsung secara terus menerus dan bersamaan, tetapi kedua proses ini berbeda

Untuk penelitian *initial setting time* dan *final setting time* dipergunakan alat Vicat. Hubungan *initial setting time* dan *final setting time* (pendekatan) adalah:

$$\text{final setting time (min.)} = 90 + 1.2 (\text{initial setting time})$$

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen yaitu:

- Umur semen

Selama semen disimpan untuk jangka waktu yang lama, semen akan menghisap air yang ada diudara sehingga terjadi reaksi prahidrasi. Sebagai akibatnya semen akan menunjukkan proses pengikatan yang lambat dan akhirnya semen akan dapat menurunkan kuat tekannya.

– Suhu

Kecepatan reaksi kimia pada umumnya tergantung pada suhu lingkungan dan suhu massa yang bereaksi. Untuk proses hidrasi yang baik suhunya sekitar 23⁰C.

– Jumlah air yang dibutuhkan

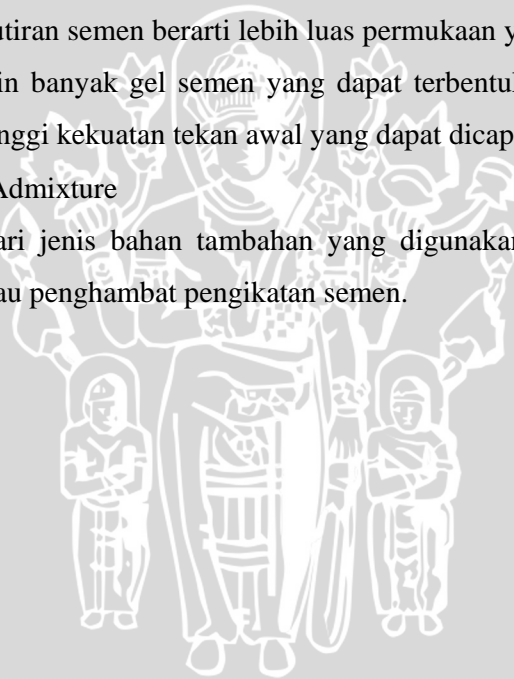
Agar proses hidrasi berlangsung sempurna memerlukan air sekitar 24% sampai 27% dari berat semen (jumlah air untuk konsistensi normal).

– Kehalusan Semen

Lebih halus butiran semen berarti lebih luas permukaan yang dapat terhidrasi sehingga makin banyak gel semen yang dapat terbentuk pada umur muda, berarti lebih tinggi kekuatan tekan awal yang dapat dicapai.

– Penambahan Admixture

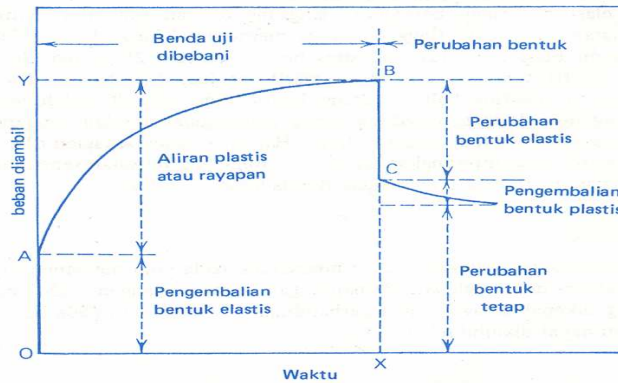
Tergantung dari jenis bahan tambahan yang digunakan, apakah termasuk pemercepat atau penghambat pengikatan semen.



2.3 Modulus Elastisitas

Tolok ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu.

(L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)



Gambar 2.2. Ilustrasi dari perubahan bentuk beton yang dibebani

Kemudian,

$$E = \frac{f}{e} = \frac{WL}{Ax}$$

di mana E adalah modulus elastisitas

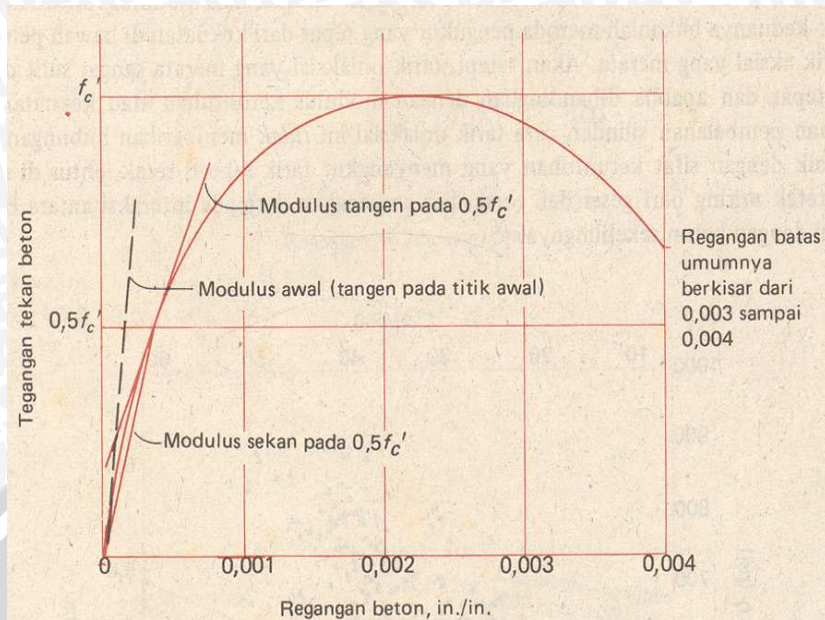
$f = \frac{W}{A}$ adalah tekanan yang diberikan, W adalah beban dan A adalah luasampang melintang

$e = \frac{x}{L}$ adalah perubahan bentuk per-satuan panjang atau regangan, x adalah perubahan bentuk di bawah beban W, dan L adalah panjang dari batang. A, x dan L diukur dengan satuan yang sama.

gambar 2.2 Ilustrasi dari perubahan bentuk beton yang dibebani

Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas.

Dengan menggunakan Gambar 2.3, yang menyajikan suatu kurva tegangan-regangan cirian untuk beton diperlihatkan modulus awal, modulus tangen (tangent modulus), dan modulus sekan (secant modulus). Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan f_c diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga $1000 f_c$ oleh Peraturan ACI; akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan (density) perlu diikuti. Sebagai suatu hasil dari analisa statistik atas data-data yang tersedia, maka : (Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar Hariandja, 1994)



Gambar 1.9.1 Kurva tegangan-regangan untuk beton dalam tekan.

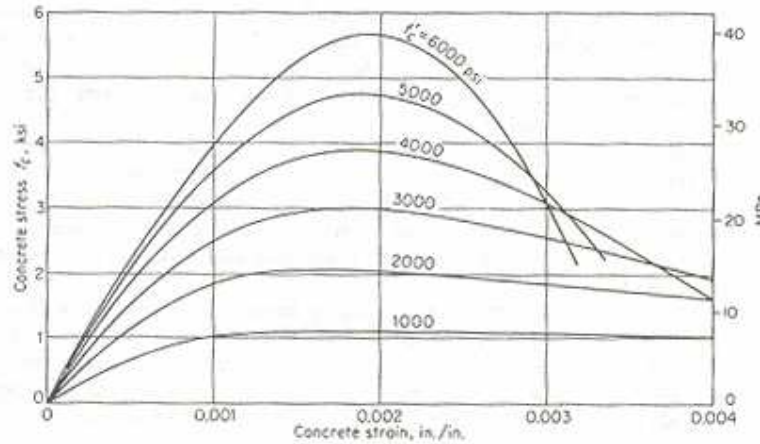
Gambar 2.3 Kurva tegangan — regangan untuk beton dalam beton

Modulus Elastisitas E_c (dalam satuan psi), yaitu kemiringan dari bagian awal grafik yang lurus dari diagram regangan-tegangan, akan menjadi lebih besar dengan bertambahnya kekuatan beton.

Besarnya modulus elastisitas tersebut bisa dihitung dengan tepat dan dapat dipertanggung jawabkan berdasarkan persamaan empiris berikut :

$$E_c = 33 \cdot w^{3/2} \cdot \sqrt{f'_c} \tag{2-1}$$

Dimana w merupakan berat satuan dari beton yang sudah mengeras dalam pcf dan f'_c merupakan kekuatan tekan silindernya dalam psi. Persamaan (2.1) diperoleh dengan melakukan percobaan pada struktur-struktur beton yang mempunyai harga w dari 90 sampai 155 psf. (George Winter, Arthur H. Nilson, 1993)



Gambar 1.4 Grafik diagram regangan-tegangan beton (1000 psi = 6,895 MPa). Concrete strain = regangan beton; Concrete stress = tegangan beton.

Gambar 2.4 Grafik diagram regangan – tegangan beton

Untuk beton normal, dengan $w = 145$ pcf, akan kita dapatkan

$$E_c = 57000 \cdot \sqrt{f'c}$$

(2-2)

Informasi mengenai sifat - sifat kekuatan beton seperti yang dibahas biasanya disusun berdasarkan percobaan-percobaan yang dilakukan setelah beton berumur 26 hari.

Tetapi,

semen terus akan mengalami hidrasi, dan dengan demikian beton juga akan terus mengeras, untuk jangka waktu yang lama setelah usia tersebut, dalam besaran rata-rata yang kian mengecil. Gambar 2.4 menunjukkan grafik khusus mengenai bertambahnya kekuatan beton dengan bertambahnya usia.

Dalam praktek yang dilakukan dewasa ini, biasanya untuk struktur-struktur beton bertulang dispesifikasikan dengan kekuatan silinder beton yang berusia 28 hari dengan batasan antara $f'c = 2500$ sampai 6000 psi (17,2 sampai 42 MPa) dengan harga-harga yang umum dipakai terletak antara nilai-nilai 3000 dan 4000. (George Winter, Arthur H. Nilson, 1993)

2.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas Di laboratorium

Modulus Elastisitas dapat dihitung dari diagram tegangan regangan. Dari beberapa cara untuk menentukan modulus elastisitas, maka pada penelitian ini digunakan cara yang direkomendasikan oleh ASTM C – 469 yaitu cara modulus Chord.

Persamaan Modulus Chord adalah :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005}$$

(2-3)

dengan :

E_c = Modulus Chord (Kg/Cm^2)

S_2 = Tegangan sebesar $0,4 F_c'$ (Kg/Cm^2)

S_1 = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar $0,00005$ (Kg/Cm^2)

ϵ_2 = Regangan longitudinal akibat tegangan S_2

2.4 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari tinjauan pustaka dan permasalahan yang diuraikan diatas, maka dapat diambil hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Diduga variasi campuran endapan limbah batuan memberikan pengaruh terhadap modulus elastisitas beton.
2. Ada perbedaan modulus elastisitas antara beton yang diberi tambahan endapan limbah batuan dengan beton normal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan bulan Juni 2007.

III.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini peralatan dan material yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Peralatan yang digunakan :

- ✓ Satu set ayakan dengan *motorised dynamic seive shaker*
- ✓ Gelas ukur
- ✓ Timbangan dengan ketelitian 0.1 gram
- ✓ Oven dengan temperatur 110 °C
- ✓ Cetakan silinder 15 -30 cm
- ✓ Vibrator
- ✓ Compressometer
- ✓ Alat tes slump (kerucut Abrams)
- ✓ Talam dan sendok bahan
- ✓ Mesin pengaduk campuran beton (molen)

b. Bahan yang digunakan :

- ✓ Endapan limbah batuan dari Pabrik Pengrajin Batu Alam Junrejo, Kota Batu
- ✓ Semen Gersik tipe I
- ✓ Air bersih dari PDAM Malang
- ✓ Agregat halus dan kasar

III.3 Analisis Bahan yang digunakan

III.3.1 Pasir

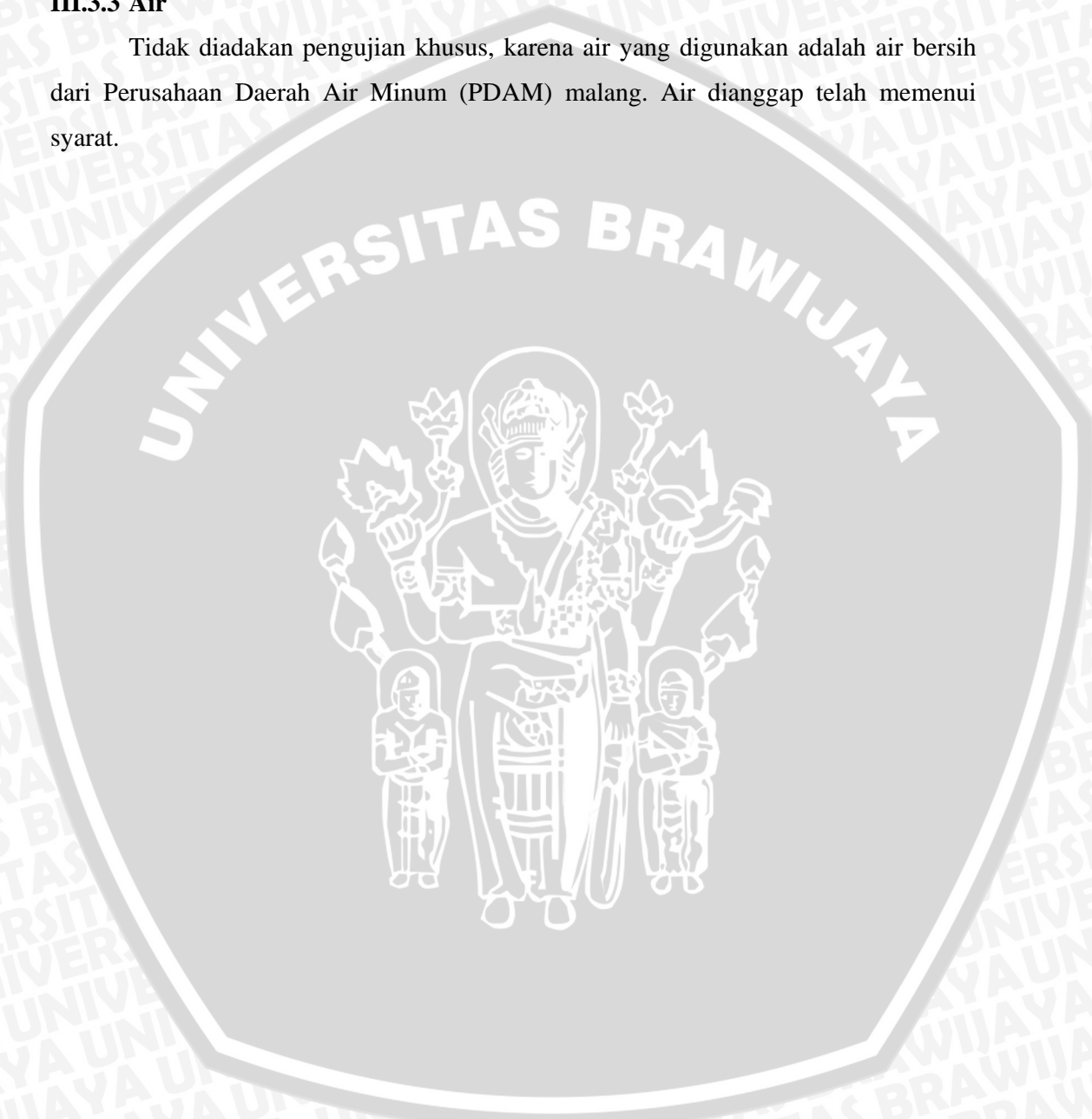
- Analisis gradasi pasir
- Analisis berat jenis

III.3.2 Batuan

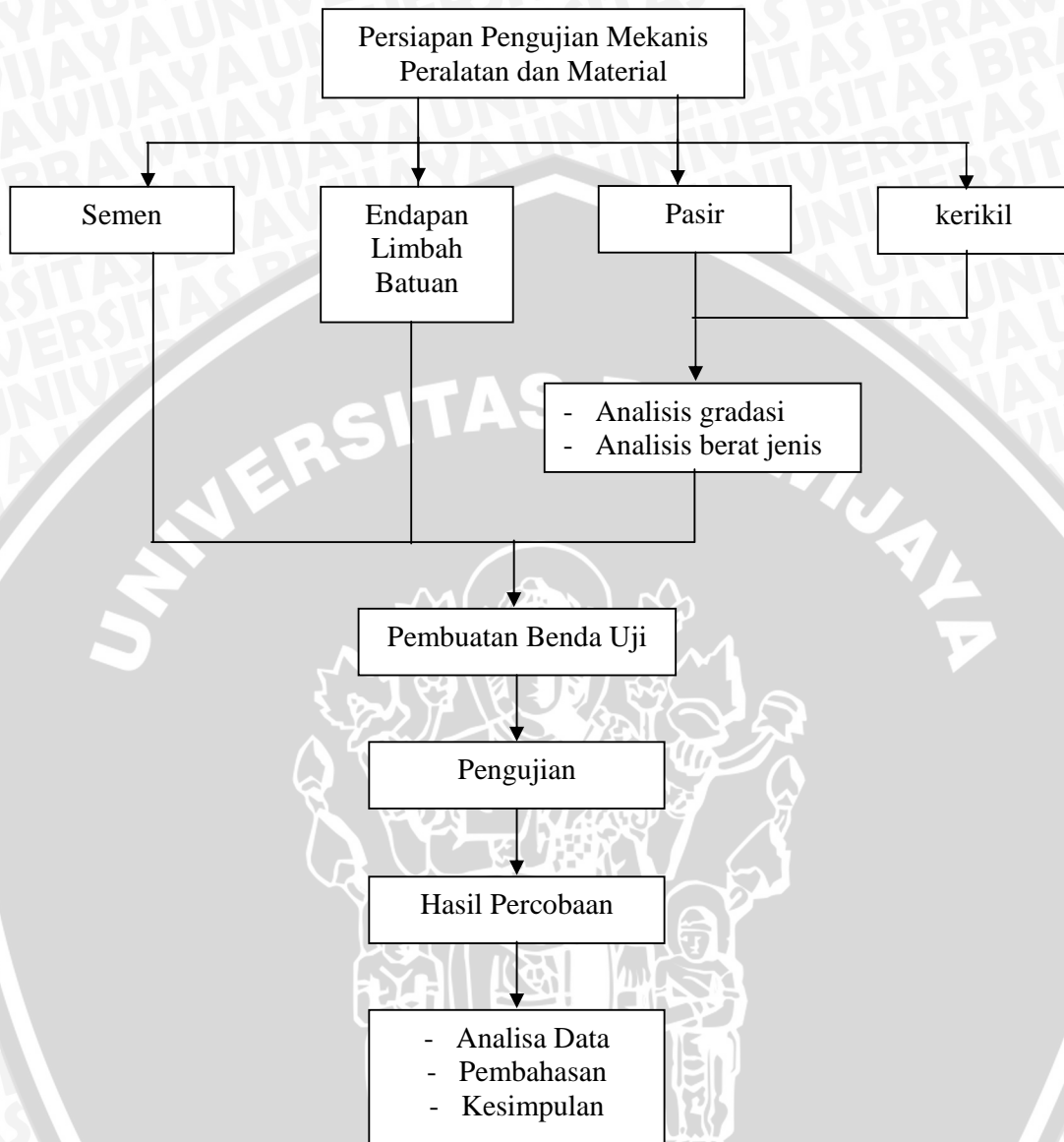
- Analisis gradasi batuan
- Analisis berat jenis

III.3.3 Air

Tidak diadakan pengujian khusus, karena air yang digunakan adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) malang. Air dianggap telah memenuhi syarat.



III.4 Langkah – Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Langkah-langkah penelitian.

III.5 Rancangan Penelitian

Dalam setiap perlakuan dibuat benda uji sebanyak 5 buah silinder beton untuk setiap komposisi campuran benda uji. Jadi secara keseluruhan jumlah benda uji yang di buat sebanyak 35 buah. Benda uji pada setiap perlakuan diuji pada umur 28 hari. Dengan komposisi 1 : 2 : 3. Penambahan variasi endapan limbah batuan berdasarkan uji pendahuluan saudara **M. Iswansyah**, dimana peningkatan kuat tekan terjadi pada variasi 5 % sampai 15 % dari berat semen yang digunakan.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

Variasi Endapan limbah batuan (% berat endapan limbah batuan)	Jumlah Benda Uji
0	5
5	5
10	5
15	5
20	5
jumlah	25

III.5.1 Tabel – Tabel Perhitungan

Tabel Gaya tekan Dan Deformasi

Kadar endapan limbah batuan =% ; Umur pengujian = 28 hari ;Kg/Cm²

P (Kg)	1	2	3	4	5
	Perpendekan (x 0,001 mm)				
P Ult					

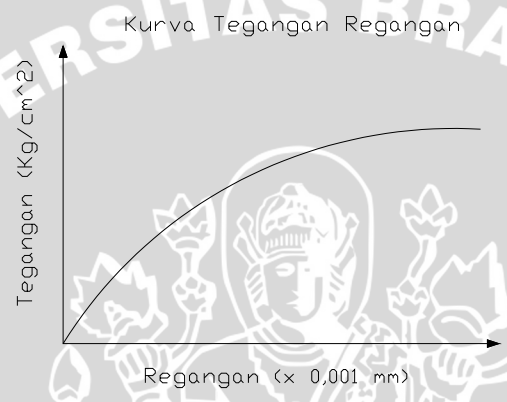
Perpendekan didapatkan dengan alat compressometer :



Tabel Tegangan Dan Regangan

Kadar endapan limbah batuan =% ; Umur pengujian = 28 hari ; Kg/Cm²

P (Kg)	1	2	3	4	5
	Regangan Longitudinal				
T Ult					



Modulus Elastisitas

Endapan Limbah	Koef Polinomial		Fc'	S2 (0,4 Fc')	X ₂	X ₁	S1 (Kg/Cm ²)	Ec (Kg/Cm ²)
	a1	a2						
0 %								
5%								
10%								
15%								
20%								

Dengan :

S₂ = Tegangan sebesar 40 Fc'

S₁ = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005

X₁ dan X₂ = Regangan

III.6 Variabel Penelitian

Variabel yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- Variabel bebas adalah endapan limbah batuan dengan variasi prosentase endapan limbah batuan pada komposisi campuran.
- Variabel tak bebas adalah modulus elastisitas.

III.7. Teknik Pengolahan Dan Analisis Data

A. Analisis Kurva Tegangan Regangan

Dari hasil pengujian tegangan regangan berupa hubungan gaya tekan (P) dan penurunan ΔL dapat ditentukan tegangan (F_c') dan regangan (ϵ).

$$F_c' = \frac{P}{A}$$

(3-1)

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \times 10^{-3}$$

(3-2)

dengan :

P = Gaya tekan

A = Luas penampang silinder (Cm²)

ΔL = Besar penurunan arah longitudinal (mm)

L = Tinggi efektif silinder beton (jarak antara 2 Compressometer)
= 200 mm

10^{-3} = Merupakan kalibrasi jarum pengukur 1

Kurva tegangan regangan dapat diperoleh dengan meregresi titik – titik pasangan teg reg ($F_c'; \epsilon$) kedalam sumbu Y dan sumbu X, karena banyaknya data maka untuk mempermudah pengolahannya dipakai alat bantu berupa software microsoft excel.

III.8 Analisa Data

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh endapan limbah batuan dengan kadar yang berbeda terhadap nilai modulus elastis pada tiap – tiap perlakuan digunakan analisis ragam 1 arah dan analisa regresi

Pernyataan Hipotesis dinyatakan dengan :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$$

Dengan perhitungan analisis ragam jika F hitung > F tabel berarti H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dengan adanya penambahan endapan limbah batuan pada kadar yang berbeda terhadap modulus elastisitas. Demikian pula sebaliknya, jika F hitung < F tabel berarti H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh dengan adanya penambahan endapan limbah batuan pada kadar yang berbeda terhadap modulus elastisitas.

Analisis regresi memberikan gambaran model matematika hubungan antara kadar variabel bebas dan nilai awal modulus elastisitas beton. Dalam analisis regresi ini masih perlu dilakukan pengujian selanjutnya apakah model tersebut dapat diandalkan dan tidak banyak menyimpang dari keadaan sebenarnya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah model tersebut dapat diandalkan atau tidak, yaitu :

uji koefisien determinasi (R^2), uji koefisien korelasi (R) dan uji sidik ragam regresi (uji F)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penggunaan beton sebagai bahan utama pembangunan sebuah konstruksi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya laju pertumbuhan penduduk di Indonesia. Oleh karenanya, diperlukan beton dengan kualitas yang sesuai dan ketersediaan yang memadai untuk memenuhi kebutuhan konstruksi di lapangan.

Untuk itu, jelas diperlukan bahan – bahan baku beton yang berkualitas baik dan ditopang dengan teknologi pembuatan yang baik. Namun, ketersediaan bahan baku beton semakin menipis seiring dengan terus meningkatnya permintaan pembangunan konstruksi. Berbagai macam bahan alternatif serta teknologi beton terus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Bahan alternatif yang digunakan harus memenuhi persyaratan struktural, disamping mudah didapat dan tidak berharga mahal. Penggunaan bahan baku dari endapan limbah batuan dapat dijadikan alternatif baru bahan baku beton. Walaupun demikian, tetap harus diadakan penelitian dan pengujian apakah bahan alternatif tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan untuk digunakan sebagai bahan baku beton.

Endapan limbah batuan pabrik batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang akan diuji sebagai bahan alternatif untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang diharapkan. Endapan limbah batuan ini berbentuk serbuk halus berwarna putih yang didapat dari air pembilasan hasil pemotongan dan penghalusan batuan marmer dan andesit. Penduduk sekitar menggunakan endapan limbah batuan ini sebagai campuran agregat beton karena setelah mengering limbah batuan ini memiliki daya ikat yang relatif kuat. Hal ini dapat diketahui dan dipelajari dari komposisi mineral batuan tersebut yang tersusun dari dolomit, kalsit sedikit kwarsa dan juga mika.

Pada penelitian ini akan dicoba pemakaian bahan tambahan endapan limbah batuan untuk dicampur dengan semen dan agregat beton pada suatu variasi prosentase tertentu. Penambahan limbah ini diharapkan akan mengurangi permeabilitas dan jumlah pemakaian semen dalam beton sehingga dapat mengurangi biaya produksi beton yang relatif mahal. Limbah batuan ini sudah tidak memiliki nilai ekonomi, oleh karena itu penelitian ini

diharapkan benar – benar dapat membuktikan bahwa limbah ini dapat digunakan sebagai bahan alternatif pembuatan beton.

Disamping kuat tekan dan kuat tarik, sifat lain dari beton yang perlu dipertimbangkan sehubungan dengan fungsinya sebagai bahan konstruksi adalah sifat elastisitas terhadap pembebanan. Parameter yang digunakan untuk mengetahui elastisitas beton adalah dengan mengukur modulus elastisitas (Modulus Young) dan. Modulus elastisitas dipengaruhi oleh kekuatan, umur beton, sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis agregat, dan ukuran benda uji

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti ingin mengetahui pengaruh penggunaan endapan limbah batuan buangan pabrik pengrajin batu alam di Desa Junrejo Kota Batu tersebut terhadap modulus elastisitas.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas ,maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti sebagai berikut :

- » Untuk mengetahui apakah variasi prosentase penambahan endapan limbah batuan berpengaruh pada modulus elastisitas
- » Bagaimanakah hubungan modulus elastisitas antara beton yang diberi penambahan endapan limbah batuan dengan beton normal.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat lebih tepat sasaran pada hasil tujuan yang ingin dicapai,maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengujian ini hanya akan dilakukan di laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya.
2. Semen yang digunakan adalah semen gresik tipe I karena mudah didapatkan di pasaran. Untuk semen tidak dilakukan perlakuan dan penelitian secara khusus.
3. Endapan limbah batuan yang digunakan adalah berupa serbuk halus yang mengendap hasil pembilasan , pemotongan dan penghalusan batuan marmer dan andesit di Pabrik Marmer desa Junrejo kota Batu Malang.

4. Melakukan pembahasan dan penelitian awal mengenai komposisi kimia dan mineral dari endapan limbah batuan.
5. Melakukan uji mengenai waktu ikat awal dan ikat akhir terhadap semen.
6. Agregat kasar dan halus yang digunakan adalah kerikil dan pasir alam didapat dari wilayah di sekitar Malang. Tidak ada penelitian awal dan perlakuan khusus terhadap kerikil dan pasir alam ini.
7. Air yang digunakan untuk penelitian adalah air bersih PDAM Kodya Malang
8. Tidak ada perhitungan mengenai analisa ekonomi.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah variasi penambahan endapan limbah batuan pabrik keramik desa Junrejo Kota Batu Malang dapat berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton dibandingkan dengan beton normal biasa. Sehingga akhirnya akan didapat kurva hubungan antara kuat tekan hancur beton dengan modulus elastisitas.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan adalah untuk memberikan tambahan pengetahuan kepada peneliti, praktisi dan masyarakat di sekitar desa Junrejo Kota Batu Malang tentang pengaruh penambahan endapan limbah batuan pabrik keramik desa Junrejo Kota Batu Malang terhadap nilai modulus elastisitas beton yang dihasilkan, sehingga nantinya endapan limbah batuan ini layak dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan campuran semen portland, pasir, kerikil, dan air. Semen portland dan air setelah bertemu akan bereaksi, butir-butir semen bereaksi dengan air menjadi gel yang dalam beberapa hari menjadi keras dan saling merekat. Agregat yaitu pasir dan kerikil tidak mengalami proses kimia, melainkan hanya sebagai bahan pengisi saja yaitu sebagai bahan yang dilekatkan. Air, semen portland, kerikil, dan pasir akan menghasilkan suatu campuran yang plastis (antara cair dan padat) dan dapat dituang ke dalam cetakan untuk membentuknya menjadi bentuk yang diinginkan setelah menjadi keras. Pasir dan kerikil merupakan agregat sebagai komponen yang dilekat, sementara pasta adalah komponen perekat. Jika agregat direkat menjadi satu maka dinamakan beton. Adukan semen portland dan air membentuk pasta. Pasta ini berfungsi untuk mengisi pori-pori di antara pasir dan kerikil dan berfungsi sebagai pengikat dalam proses pengerasan. Akibat ikatan ini antar agregat menjadi saling terikat kompak, kuat, dan padat. (Triono Budi Astanto, 2001)

Pengaruh Kualitas Bahan – Bahan Beton :

- 1) Semen : Kualitas dan kecepatan pengerasan
- 2) Agregat Halus (fine aggregates)
 - a) Gradasi, mempengaruhi kemudahan pengerjaan
 - b) Kadar air, mempengaruhi perbandingan air – semen
 - c) Lumpur, mempengaruhi kekuatan
 - d) Kebersihan, mempengaruhi kekuatan dan sifat – sifat awet beton
- 3) Agregat Kasar (coarse aggregates)
 - a) Gradasi, mempengaruhi kekuatan
 - b) Kadar air, mempengaruhi perbandingan air/semen
 - c) Kebersihan mempengaruhi kekuatan dan keawetan
- 4) Air : Kuantitasnya mempengaruhi hampir semua sifatnya, kualitas mempengaruhi pengerasan, kekuatan sifat – awet, dan lain – lain
- 5) Bahan Campuran (bila dipakai) : Modifikasi dari sifat – sifat beton. Hal ini masih tergantung pada jenis dan jumlah bahan campuran yang dipakai.

(L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)

2.1.1 Semen

Semen *portland* adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat yaitu umumnya adalah gips. Semen *portland* merupakan bahan pengikat hidrolis artinya bahan pengikat yang dapat mengeras bila bersenyawa dengan air dan menghasilkan produk yang tahan air. (Gideon Kusuma dkk : 1997)

Dalam PUBLI-1982, semen portland merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis bersama bahan tambahan (gips), sehingga bahan dasar dari semen adalah batu kapur. Semen mempunyai sifat adhesive dan cohesive yang digunakan sebagai bahan pengikat (bonding material) setelah dicampur dengan bahan lain seperti pasir dan kerikil. (Triono B. Astanto, 2001:21)

2.1.1.1 Sifat Kimia dan Fisika Semen

Bahan baku pembentuk semen terdiri dari beberapa macam yaitu;

- Kapur

Berlebihan, menyebabkan perpecahan semen setelah timbul ikatan. Tinggi tetapi tak berlebihan memperlambat pengikatan dan menghasilkan kekuatan awal yang tinggi. Kekurangan mengakibatkan semen yang lemah. Kurang sempurna pembakaran menyebabkan ikatan yang cepat.

- Silika + Alumina

Silika tinggi dan alumina rendah menghasilkan semen dengan ikatan lambat, berkekuatan tinggi dan meningkatkan ketahanan terhadap agresi kimia. Silika rendah dan alumina tinggi menghasilkan semen dengan ikatan cepat, berkekuatan tinggi.

- Besi Oksida

Memberi warna abu-abu pada semen, dan mempunyai sifat yang seperti alumina.

- Magnesium MgO (komposisi kecil)

Dibatasi sampai 4 %, dan belerang (SO₃), dibatasi antara 2,5 dan 3 %. Jumlah yang berlebihan, kurang baik.

- Alkali Na₂O dan K₂O (komposisi kecil)

Dapat bereaksi dengan beberapa jenis agregat mengakibatkan perpecahan semen dan pengurangan kekuatan.

Tabel 2.1 Prosentase komposisi semen

Oksida	Persen
kapur, CaO	60 - 65
silika, SiO ₂	17 - 25
alumina, Al ₂ O ₃	3 - 8
besi, Fe ₂ O ₃	0,5 - 6
magnesia, MgO	0,5 - 4
sulfur, SO ₃	1 - 2
soda/potash Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

Tabel 2.2 Komposisi kimia dan pengujian fisika semen

Spesifikasi Teknis				
Jenis Pengujian		SNI	ASTM	Hasil Uji PCI
		15-2049-94	C 150-02	
		PC Jenis 1	PC Type 1	
Komposisi Kimia :				
Silikon Dioksida	(SiO ₂),%	-		
Aluminium Dioksida	(Al ₂ O ₃),%	-		
Ferri Oksida	(Fe ₂ O ₃),%	-		
Kalsium Oksida	(CaO),%	-		
Magnesium Oksida	(MgO),%	≤ 6,00	≤ 6,00	0,97
Sulfur Trioksida	(SO ₃),%	≤ 3,50	≤ 3,50	0,22
Hilang Pijar	(LOI),%	≤ 5,00	≤ 3,00	1,35
Kapur Bebas	,%	-	-	0,59
Bagian tidak Larut	,%	≤ 3,00	≤ 0,60	0,19
Alkali	(Na ₂ O+0,658 K ₂ O),%	-	-	57,82
Tricalcium Silicate	(C ₃ S),%	-	-	57,82
Dicalcium Silicate	(C ₂ S),%	-	-	16,36
Tricalcium Silicate	(C ₃ A),%	-	-	8,16
Tetracalsium Aluminate Ferrit	(C ₄ AF),%	-	-	11,5
Pengujian Fisika :				
Kehalusan :				
- Dengan Alat Blaine	(m ² /Kg)	≥ 280	≥ 280	320
Waktu Pengikatan dengan alat Vicat				
- Awal	(menit)	≥ 45	≥ 45	148
- Akhir	(menit)	≤ 375	≤ 375	245
Kekekalan dengan alat autoclave :				
- Pemuai	(%)	≤ 0,80	≤ 0,80	0,060
- Penyusutan	(%)	-	-	-
Kuat Tekan :				
- 3 hari	(Kg/cm ²)	≥ 125	≥ 122	230
- 7 hari	(Kg/cm ²)	≥ 200	≥ 194	320
- 28 hari	(Kg/cm ²)	-	-	410
Pengikatan semu, (false set) :				
- Penetrasi Akhir	(%)	≥ 50	≥ 50	73,79

Sumber:<http://www.semengresik.com/indonesia/product/>

Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tinggi apabila mengeras. Kekuatan awal semen *Portland* semakin tinggi apabila banyak prosentase C_3S . Jika perawatan kelembaban terus berlangsung, kekuatan akhirnya akan lebih besar apabila prosentase C_2S semakin besar. C_3A mempunyai kontribusi terhadap kekuatan beberapa hari setelah pengecoran karena bahan ini yang lebih dahulu mengalami hidrasi. (Edward G. Nawy, 1990:9)

2.1.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang mengisi hampir 78% dari volume beton, maka pemilihan agregatpun harus diperhatikan. Ada dua jenis agregat, yaitu agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). (Triono Budi Astanto, 2001)

Sifat yang paling penting dari suatu agregat (batu – batuan, kerikil, pasir dan lain – lain) ialah : kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan terhadap proses pembekuan waktu musim dingin dan agresi kimia, serta ketahanan terhadap penyusutan. (L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)

2.1.2.1 Agregat halus (*fine aggregates*) - pasir

Agregat halus merupakan material pengisi yang berupa pasir sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan- batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu.

Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 % , apabila lebih harus di cuci terlebih dahulu. Selain itu agregat halus tidak boleh mengandung organik-organik yang dapat merusak beton. Agregat halus apabila diayak harus lolos ayakan dengan diameter 4 mm.

Pasir merupakan komponen spesi yang paling berpengaruh dalam beratnya. Pada spesi biasanya terdapat sekitar 60 – 80 % volume agregat. Pasir harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa spesi dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat.

2.1.2.2 Agregat kasar (*coarse aggregates*) – kerikil/batu pecah

Yang dimaksud agregat kasar adalah agregat yang mempunyai besar butiran lebih dari 5 mm (tertahan saringan dengan diameter 5 mm) ukuran maksimum agregat kasar bisa sampai 200 mm, misalnya untuk pekerjaan beton yang sifatnya massal seperti bendungan beton. Pada konstruksi beton, ukuran maksimum agregat kasar sebaiknya dibatasi sampai 40 mm. (Indra Cahya, 1984 ; 17)

Agregat kasar untuk beton dapat berupa koral sebagai hasil disintegrasi batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan mesin pemecah batu. Untuk menentukan apakah agregat tersebut dapat dipakai sebagai bahan beton terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan yang meliputi uji gradasi, kadar air, berat jenis, absorpsi air, dan lain-lain. Untuk menjamin kebersihan agregat terhadap kandungan lumpur, maka disarankan untuk melakukan pencucian agregat terlebih dahulu.

2.1.3 Air

Ada beberapa persyaratan air sebagai pencampur konstruksi beton, sntsr lain :

1. Tidak mengandung klorida (CL) $> 0,5$ gram/liter.
2. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gram/liter.
3. Tidak mengandung lumpur > 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung zat organik, asam, dan garam – garam yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.

Biasanya jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan beton berkisar 25% dari jumlah berat semen. (Triono Budi Astanto, 2001)

Nilai banding berat air dan semen untuk suatu adukan beton dinamakan water cement ratio (w.c.r.). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya dipakai nilai water cement ratio (w.c.r.) 0,40 – 0,60 tergantung mutu beton yang ingin dicapai.

Kenaikan faktor air semen (w.c.r) berpengaruh sebaliknya terhadap sifat – sifat beton, seperti permeabilitas (sifat kedap air), ketahanan terhadap gaya frost (pembekuan pada musim dingin) dan pengaruh cuaca, ketahanan terhadap abrasi, kekuatan tarik, rayapan, modulus rupture, dan penyusutan.

2.2 Endapan Limbah Batuan

2.2.1. Umum

Bahan ini di dapat dari limbah hasil proses produksi pabrik batu alam di desa Junrejo kota Batu Malang. Batu – batuan alam yang *sebagian besar batu marmer* dan onix melewati proses pemotongan, penghalusan dan penyeleksian untuk selanjutnya akan diproses menjadi bahan mentah pembuatan tegel keramik dan onix.

Pada pemotongan awal batu alam ukuran sangat besar yang terdapat di alam dipotong sesuai ukuran rencana, pemotongan ini menghasilkan *pecahan* dan *endapan limbah batuan*, setelah itu pemotongan dilakukan sampai mencapai ukuran yang siap dijual, baru kemudian proses pemolesan dilakukan. Mesin pemecah dan penghalus batuan yang telah digunakan dibilas dengan air dan air bekas pembilasan inilah nantinya yang disebut dengan limbah cair. Limbah hasil residu dari proses produksi pabrik batu alam ini nantinya akan mengendap lalu mengering oleh udara dan panas dengan sendirinya. Endapan limbah batuan yang telah kering udara akan berbentuk serbuk halus seperti serbuk berwarna putih dengan kemerahan dan selanjutnya disebut sebagai *endapan limbah batuan*. Penggunaan limbah ini sebagai bahan tambahan pada beton diharapkan akan dapat mengurangi penggunaan semen pada beton sehingga menghasilkan beton yang lebih ekonomis dengan kekuatan yang tidak jauh berbeda.

2.2.1.1 Pemanfaatan Limbah Batuan

Terdiri dari tiga macam limbah;

1. Limbah batuan kasar.

Limbah batuan dalam hal ini merupakan sisa-sisa pembuangan yang ada di pabrik Junrejo yang memungkinkan dapat dimanfaatkan. Hal ini dilihat berdasarkan kualitas dari pabrik Junrejo tersebut yang sangat produktif dalam menghasilkan limbah batuan tersebut akan tetapi belum memiliki teknologi yang memadai untuk bisa mengetahui pemanfaatan limbah tersebut lebih lanjut. Salah satu jenis batuan tersebut memiliki karekteristik seperti bentuk pipih, serta memiliki tekstur kasar dengan permukaan licin akibat dari pengirisan batuan pada pabrik batuan alam tersebut dan juga memiliki warna gelap seperti hitam.

Dengan melihat karakteristik diatas, disamping bentuk permukaan yang pipih akibat pengirisan di pabrik tersebut maka jenis batuan dapat di kelompokkan pada jenis batuan

dari klompok gabro yaitu batuan aphanitik yang disebut batuan basalt. Komposisi minerologi dan kimiawi dari basalt banyak kesamaannya dari gabro terutama dalam komposisi kimia. Analisis kimia dari batuan basalt dari tholeitik dan high alkalin. (Dody Setia Graha, 1987)

Arif Budi S (2001), mengamati kuat tekan beton diperoleh nilai kuat tekan beton pada tiap-tiap variasi ukuran butiran agregat kasar dengan komposisi tertentu yang memiliki nilai optimum yaitu pada ukuran agregat kasar < 1.91 cm nilai kuat tekan beton maksimum pada komposisi 0 % BPB + 100 % LB dengan nilai kuat tekan beton rata-rata 201.093 kg/cm². Pada ukuran butiran agrgat kasar < 2.54 cm nilai kuat tekan optimum yang diperoleh terdapat pada komposisi 50 % BPB + 50 % LB dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 223 Kg/cm². sedangkan pada ukuran butiran agregat kasar < 3.81 cm nilai kuat tekan optimum yang diperoleh terdapat pada komposisi 100 % BPB + 0 % LB dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 205.133 Kg/cm². Sehingga limbah batuan (LB) layak digunakan sebagai agregat alternatif pengganti agregat kasar pada campuran beton.

2. Limbah batuan halus.

Batuan halus yang dihasilkan oleh pabrik pengrajin batuan alam Junrejo hampir sama dengan batuan kasar tetapi lebih halus. Karakteristiknya lolos saringan batuan halus no 4,8 mm, tetapi di batuan halus ini belum ada yang mengamati.

3. Limbah cair.

Limbah cair yaitu limbah yang didapat dari pengerajin batuan alam Junrejo hampir sama dari batuan kasar dan halus, tapi limbah ini berbentuk cair lalu di buang dan dibiarkan dilahan buangan hingga mengalami pengendapan. Hal ini baru disebut endapan limbah batuan Junrejo kota Batu.

Ir. Priyo Pratomo, M.T (2001), meneliti tentang penggunaan limbah abu (marmer, sawit, semen) sebagai *bahan pengisi pada lataston*. Dari pengamatan hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa kombinasi bahan pengisi dari endapan limbah batuan dan abu terbang mendapatkan komposisi campuran Lataston yang lebih baik dengan rentang persyaratan yang memenuhi syarat lebih besar. Hal ini terutama dalam persyaratan rongga dalam campuran yang paling banyak menjadi kendala. Ditinjau dari gradasinya bahan pengisi abu

terbang, abu kelapa sawit serta endapan limbah batuan dapat lolos saringan No.200, sehingga dapat dipakai sebagai bahan pengisi dengan berat jenis yang tidak berbeda jauh dengan pasir atau agregat halus. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pengantian bahan pengisi bisa dilakukan dengan endapan limbah batuan, abu terbang maupun abu kelapa sawit dengan hasil campuran yang cukup memadai.

2.2.2. Karakteristik Endapan Limbah Batuan

Komposisi endapan limbah batuan tergantung dari jenis dan macam-macam batuan yang digunakan sebagai bahan baku utama. Bahan baku batu-batuan yang digunakan adalah tergolong batuan metamorf jika dilihat dari proses terbentuknya, komposisi mineral dan susunan mineralnya. Batuan marmer dan kwarsit ini berwarna putih keabu-abuan, bertekstur sedang, mempunyai struktur non foliasi yaitu batuan yang tersusun oleh mineral-mineral yang tidak menunjukkan penjajaran, memiliki komposisi mineral antara lain seperti dolomit, kalsit dan sedikit kwarsa, dan juga mempunyai sifat khas yang keras.

Batuan marmer dan kwarsit ini berwarna putih keabu-abuan, bertekstur sedang, mempunyai struktur non foliasi yaitu batuan yang tersusun oleh mineral-mineral yang tidak menunjukkan penjajaran, memiliki komposisi mineral antara lain seperti feldspar, dolomit, kalsit, kapurspar dengan berbagai macam tambahan dan juga sedikit kwarsa, dan juga mempunyai sifat khas yaitu masir kasar dan halus, retak dan berurat. Batuan ini juga memiliki kekuatan atas tekanan berkisar antara $1.300 \text{ kg/cm}^2 - 2500 \text{ kg/cm}^2$ (Frick, Heinz, 1999).

Gambar 2.1 Macam-macam jenis batuan yang digunakan sebagai bahan baku



Batu marmer

batu kwarsit

batu andesit

Karakteristik yang terdapat pada endapan limbah batuan antara lain :

1. Sifat kimiawi

Tabel 2.3 Komposisi kimia endapan limbah batuan

Komposisi	Jumlah
Ca	35 %
Si	25 %
Loss Of Ignition	40 %

Sumber: Hasil penelitian Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya

Dari tabel 2.1 ; 2.2 ; dan 2.3 diatas terdapat sebuah persamaan antara semen dan endapan limbah batuan yaitu : kandungan yang dominan adalah Ca dan Si.

2. Sifat fisik

Endapan limbah batuan ini umumnya memiliki berat jenis $\pm 2,692 \text{ gram/cm}^3$ (Pratomo, Priyo, 2001)

a). Susunan besar butir

Susunan besar butir atau gradasi endapan limbah batuan sangat bervariasi. Gradasi endapan limbah batuan dipengaruhi oleh tingkat kekerasan batuan metamorf yang digunakan. Selain itu metode pemotongan dan lamanya waktu penghalusan juga sangat mempengaruhi tingkat susunan butir gradasi.

b). Kehalusan

Ditinjau dari gradasinya bahan pengisi endapan limbah batuan dapat lolos saringan No.200, sehingga dapat dipakai sebagai bahan pengisi dengan berat jenis yang tidak berbeda jauh dengan pasir atau agregat halus.

Dapat dilihat bahwa terdapat persamaan kimia dan fisika antara endapan limbah batuan dan semen, selain itu hal lain yang harus menjadi bahan pertimbangan dalam menggunakan endapan limbah batuan yaitu, penelitian *initial setting time* dan *final setting time* (*waktu ikat awal dan akhir serta kuat tekan mortar yang dihasilkan*). Penelitian awal ini diperlukan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan untuk melepas beton dari cetakan setelah dicampur endapan limbah batuan dan batas prosentase penambahan endapan limbah batuan.

2.2.3. Pengujian semen dengan endapan limbah batuan

Dari hasil penelitian saudara *Adies Anggrahito* (2007), berdasarkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 10,56% dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum sebesar 85,149 menit. Sedangkan perhitungan yang diperoleh dari persamaan regresi, didapatkan prosentase endapan limbah batuan sebesar 12,22% dari berat semen menghasilkan waktu ikat akhir optimum sebesar 182,84 menit. Berdasarkan hasil uji pendukung didapatkan waktu ikat akhir pasta tanpa penggunaan semen didapatkan antara 18 hingga 21 jam.

Dan berdasarkan penelitian saudara *M. Iswansyah* (2007). Dari hasil analisa regresi untuk prosentase pemakaian endapan limbah batuan pada setiap umur pengujian terhadap kuat tekan hancurnya, didapatkan prosentase endapan limbah batuan optimum untuk umur pengujian 28 hari sebesar 10,599% dan untuk umur 42 hari sebesar 10,817%. Dengan nilai kuat tekan masing – masing sebesar 344,446 kg/cm² dan 356,209 kg/cm². Sedangkan kuat tekan mortar karakteristik secara nominal maksimum terjadi pada umur 56 hari dengan penambahan endapan limbah batuan 5%, yaitu sebesar 375,709 kg/cm², yang menunjukkan peningkatan sebesar 6,62% terhadap nilai kuat tekan mortar tanpa pemakaian endapan limbah batuan. Namun mortar yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak dapat mencapai kekuatan mortar yang disyaratkan dalam standart spesifikasi teknis semen gresik. Nilai kuat tekan mortar dengan prosentase endapan limbah batuan 0 % yang disyaratkan dalam standart spesifikasi teknis Semen Gresik (tabel 2.2) pada umur 28 hari, sebesar 410 kg/cm², sedangkan mortar dalam penelitian dengan kadar endapan limbah batuan yang sama hanya mencapai 364,061 kg/cm².

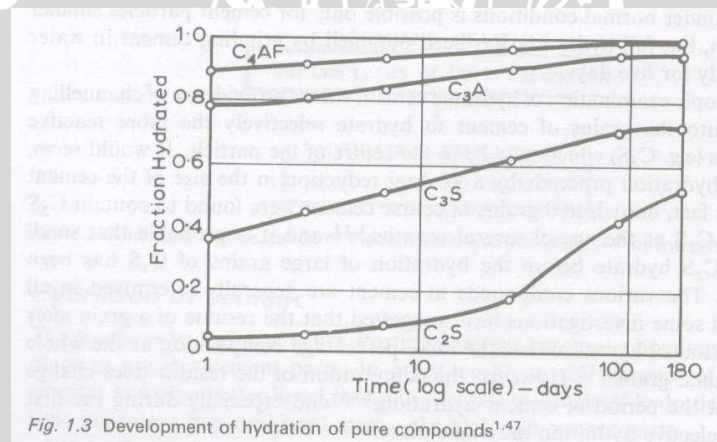
Dari hasil tersebut didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan *endapan limbah batuan* dalam pasta semen berpengaruh secara nyata terhadap waktu ikat awal, waktu ikat akhir pasta, tetapi tidak berpengaruh terhadap kuat tekan mortar. Dari penelitian saudara *Adies Anggrahito* dan *M. Iswansyah* tersebut dapat menjadi acuan dalam penelitian penggunaan endapan limbah batuan ini pada campuran beton terhadap modulus elastisitas.

2.2.3.1. Reaksi Hidrasi

Semen jika terkena air akan bereaksi membentuk suatu bahan yang lengket seperti lem (bonding agent), akhirnya mengeras. Peristiwa ini disebut hidrasi. Sifat reaksi dari senyawa di atas adalah bersifat eksotermis. Sifat ini menandakan panas dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen. Jumlah panas yang dilepas oleh semen adalah panas hidrasi. (Paulus Nugraha, 19893).

Semen dan air dikombinasikan dalam proporsi yang tertentu. Untuk semen Portland, 1 bagian berat semen membutuhkan sekitar 0,25 bagian berat air untuk hidrasi. (Bahan dan Praktek Beton, L.J Murdock dan K. M Brook)

Karena hidrasi dimulai pada permukaan partikel semen, maka luas permukaan total menjadi faktor penentu hidrasi. Makin halus semen, maka makin besar pula luas permukaan total semen, sehingga pertumbuhan kekuatan makin cepat pula terjadi. Baik British Standard (BS) maupun ASTM mensyaratkan penentuan *specific surface* pada semen (dalam m^2/kg).



Gambar 2.1a Perkembangan hidrasi dari senyawa

2.2.3.2. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah jumlah panas (dalam Joule) per gram semen yang belum terhidrasi yang dikeluarkan sampai terjadi hidrasi yang komplit pada temperature tertentu. Hidrasi senyawa semen bersifat *eksotermie*. Kecepatan pertumbuhan panas hidrasi (temperature saat hidrasi terjadi) lebih penting daripada panas hidrasi total.

Untuk semen Portland biasa:

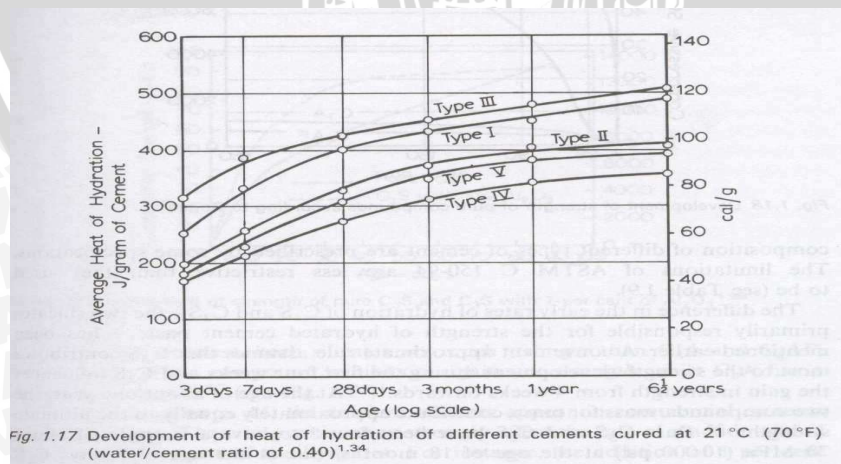
- $\frac{1}{2}$ dari panas total dikeluarkan antara 1-3 hari
- $\frac{3}{4}$ dari panas total dikeluarkan dalam waktu 7 hari
- dan mencapai 90% dalam waktu 1 bulan

Panas hidrasi tergantung dari komposisi kimiawi semen dan besarnya kira-kira sama dengan jumlah panas hidrasi dari masing-masing senyawa individual bila proporsinya dalam massa berhidrasi sendiri. Dengan mengurangi jumlah kandungan senyawa C_3A dan C_3S , panas hidrasi (dan laju kecepataannya) semen dapat dikurangi. Senyawa semen yang paling besar mengeluarkan panas adalah C_3A , kemudian C_3S , C_4AF , dan yang terendah adalah C_2S seperti terlihat pada tabel.

Tabel 2.4 Panas hidrasi senyawa murni

Senyawa	Panas Hidrasi	
	(Joule / gram)	(Cal / gram)
C_3S	502	120
C_2S	260	62
C_3A	867	207
C_4AF	419	100

“Tidak ada hubungan antara panas hidrasi dan sifat pengikatan (*cementing properties*) dari senyawa- senyawa individual semen. Kekuatan semen yang telah terhidrasi tidak dapat diramalkan atas dasar kekuatan masing- masing senyawanya.” (Buku Diktat Teknologi Beton, Ari Wibowo,ST.,MT dan Ir.Edhi Wahyuni,MT)



Gambar 2.1b Panas yang diakibatkan hidrasi dari bermacam-macam semen

2.2.3.3. Waktu Ikat Semen

Semen Portland dalam keadaan kering mempunyai energi dan mulai aktif setelah dibubuhi air. Semen Portland yang telah ditambahkan air akan menjadi plastis sehingga dapat dikerjakan dengan mudah. Pengerasan pada semen tergantung pada reaksi kimia antara air dan semen. Dibutuhkan sebanyak kira-kira 20% air dari berat semen yang dipakai agar semen dapat mengeras. Reaksi antara semen dan air terdiri dari 2 periode :

- Periode Pengikatan → keadaan plastis, keadaan keras
- Periode Pengerasan → penambahan kekuatan setelah pengikatan itu selesai.

Pengujian waktu ikat bertujuan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasta dengan konsistensi yang normal. Disamping itu juga untuk menentukan waktu ikat itu sendiri.

Proses setting time adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah setting time massa dari pasta semen tidak kuat dan kekuatan desaknya menjadi kecil. Dengan berlalunya waktu dan bersamaan dengan proses hidrasi, pasta semen tersebut menjadi keras dan dengan sendirinya kekuatan desaknya menjadi bertambah. (Teknologi Beton, Indra Cahya)

Waktu pengikatan merupakan periode yang berlangsung antara permulaan semen menjadi kaku dan saat semen itu beralih kedalam keadaan keras atau padat. Pada periode ini semen menjadi keras tetapi belum cukup kuat. Setelah itu pengerasan berlangsung terus, mula-mula cepat kemudian berlangsung lambat dalam waktu yang lama. Pengikatan terus berlangsung dengan lambat, jika tidak demikian maka adukan beton akan sulit dikerjakan. (Buku Diktat Teknologi Beton, Ari Wibowo, ST., MT dan Ir. Edhi Wahyuni, MT)

Selama proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras seperti batu, semen mengalami dua tipe setting time (Teknologi Beton, Indra Cahya):

a. Initial Setting Time

Berlangsung saat semen mulai menjadi kaku setelah semen dicampur dengan air. Dimana pasta semen kehilangan plastisitasnya dan menjadi cukup koheren untuk menahan tekanan. Saat ini ditentukan dalam jam dan menit.

Standard initial setting time: 1-2 jam, bila initial setting time kurang dari 1 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

b. Final Setting Time

Setelah Initial Setting Time, pasta semen masih dalam keadaan keras dan makin menjadi kaku dan cukup kuat menahan tekanan yang besar.

Standard final setting time: 4-6 jam, bila final setting time kurang dari 4 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

Setting time dan pengerasan pasta semen, terutama akibat proses hidrasi dari keempat komponen yang khas semen, yaitu C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF .

Selain itu Tri Silikat adalah bahan semen yang baik, makin besar persentasenya, makin baik semen yang dihasilkan.

Sedangkan komponen aluminat sangat responsif sekali terhadap Initial Setting Time dari semen. Jadi Initial Setting Time dari semen tergantung pada proporsi aluminat. Setting time ini dapat diperlambat dengan memberikan 1-3% gips. Meskipun proses setting time dan pengerasan ini berlangsung secara terus menerus dan bersamaan, tetapi kedua proses ini berbeda

Untuk penelitian *initial setting time* dan *final setting time* dipergunakan alat Vicat. Hubungan *initial setting time* dan *final setting time* (pendekatan) adalah:

$$\text{final setting time (min.)} = 90 + 1.2 (\text{initial setting time})$$

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi waktu pengikatan semen yaitu:

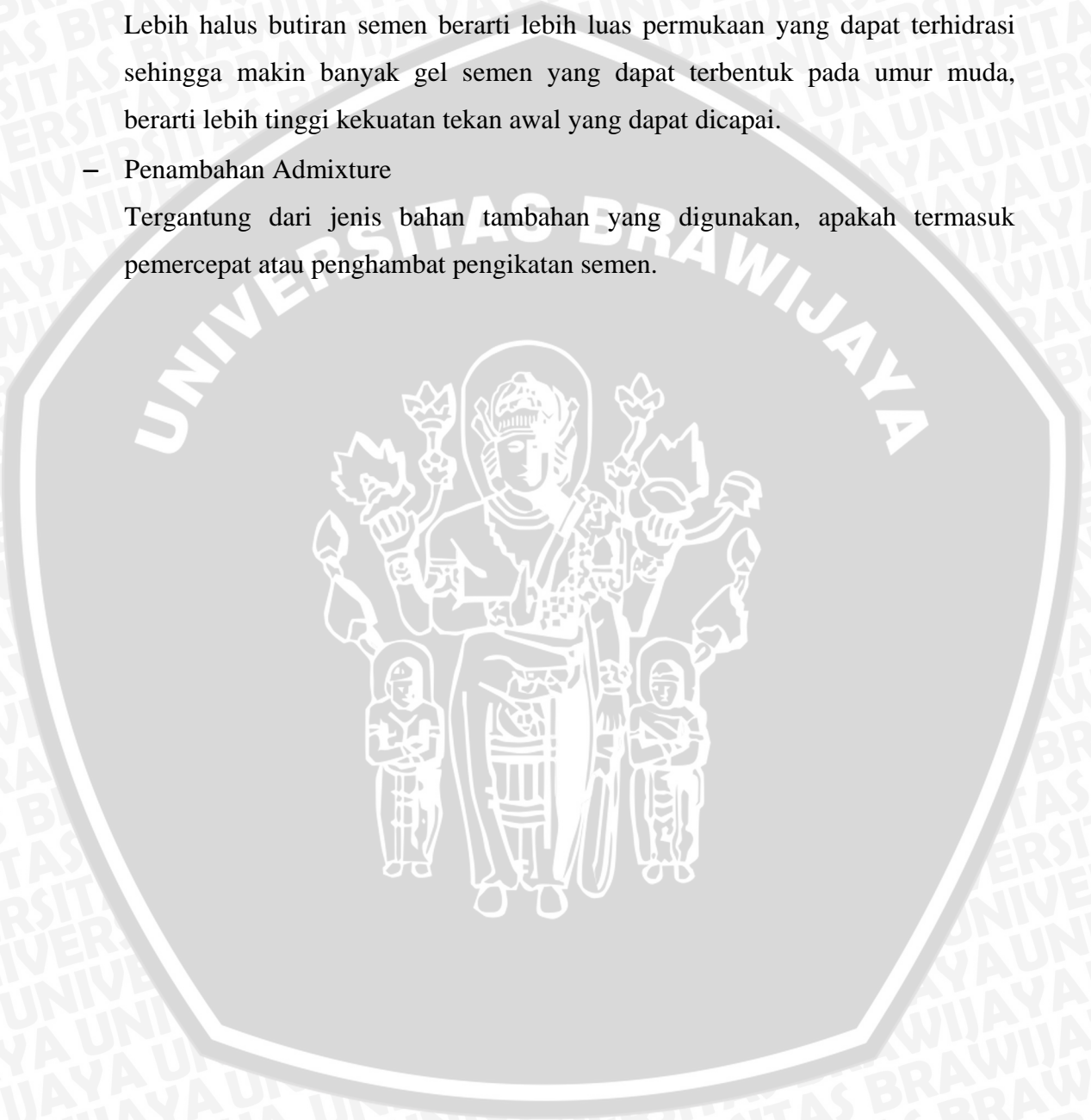
– Umur semen

Selama semen disimpan untuk jangka waktu yang lama, semen akan menghisap air yang ada diudara sehingga terjadi reaksi prahidrasi. Sebagai akibatnya semen akan menunjukkan proses pengikatan yang lambat dan akhirnya semen akan dapat menurunkan kuat tekannya.

– Suhu

Kecepatan reaksi kimia pada umumnya tergantung pada suhu lingkungan dan suhu massa yang bereaksi. Untuk proses hidrasi yang baik suhunya sekitar $23^{\circ}C$.

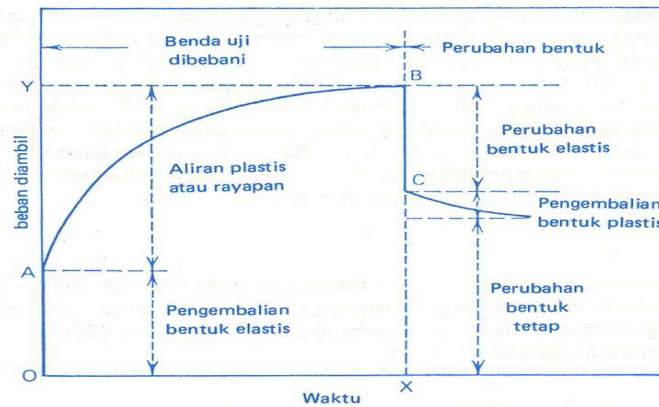
- Jumlah air yang dibutuhkan
Agar proses hidrasi berlangsung sempurna memerlukan air sekitar 24% sampai 27% dari berat semen (jumlah air untuk konsistensi normal).
- Kehalusan Semen
Lebih halus butiran semen berarti lebih luas permukaan yang dapat terhidrasi sehingga makin banyak gel semen yang dapat terbentuk pada umur muda, berarti lebih tinggi kekuatan tekan awal yang dapat dicapai.
- Penambahan Admixture
Tergantung dari jenis bahan tambahan yang digunakan, apakah termasuk pemercepat atau penghambat pengikatan semen.



2.3 Modulus Elastisitas

Tolok ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu.

(L.J. murdock, K.M. Brook, 1986)



Gambar 2.2. Ilustrasi dari perubahan bentuk beton yang dibebani

Kemudian,

$$E = \frac{f}{e} = \frac{WL}{Ax}$$

di mana E adalah modulus elastisitas

$f = \frac{W}{A}$ adalah tekanan yang diberikan, W adalah beban dan A adalah luas tampang melintang

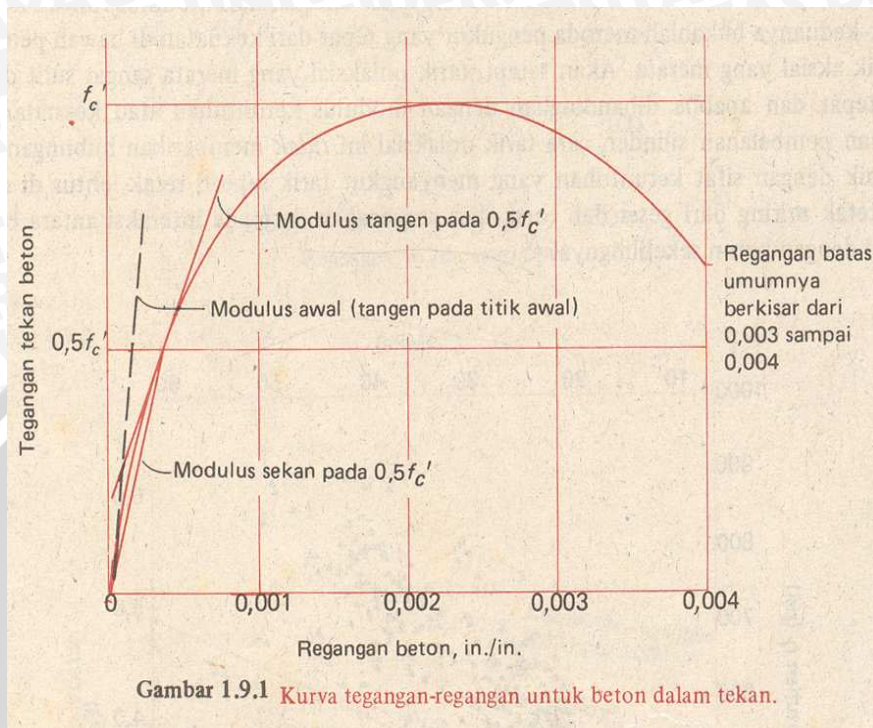
$e = \frac{x}{L}$ adalah perubahan bentuk per-satuan panjang atau regangan, x adalah perubahan bentuk di bawah beban W, dan L adalah panjang dari batang. A, x dan L diukur dengan satuan yang sama.

gambar 2.2 Ilustrasi dari perubahan bentuk beton yang dibebani

Berbeda dengan baja, maka modulus elastisitas beton adalah berubah-ubah menurut kekuatan. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Selanjutnya, karena beton memperlihatkan deformasi yang tetap (permanen) sekalipun dengan beban yang kecil, ada beberapa macam definisi untuk modulus elastisitas.

Dengan menggunakan Gambar 2.3, yang menyajikan suatu kurva tegangan-regangan cirian untuk beton diperlihatkan modulus awal, modulus tangen (tangent modulus), dan modulus sekan (secant modulus). Biasanya modulus sekan pada 25 sampai 50% dari kekuatan tekan f'_c diambil sebagai modulus elastisitas. Untuk selama bertahun-tahun modulus elastisitas didekati dengan harga $1000 f'_c$ oleh Peraturan ACI; akan tetapi dengan penggunaan dari beton ringan yang maju pesat, maka variabel kerapatan (density) perlu diikuti. Sebagai

suatu hasil dari analisa statistik atas data-data yang tersedia, maka : (Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Binsar Hariandja, 1994)



Gambar 1.9.1 Kurva tegangan-regangan untuk beton dalam tekan.

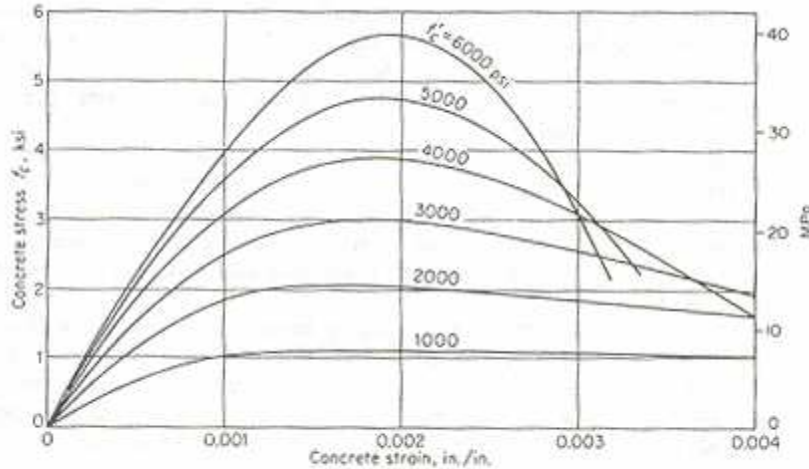
Gambar 2.3 Kurva tegangan – regangan untuk beton dalam beton

Modulus Elastisitas E_c (dalam satuan psi), yaitu kemiringan dari bagian awal grafik yang lurus dari diagram regangan-tegangan, akan menjadi lebih besar dengan bertambahnya kekuatan beton.

Besarnya modulus elastisitas tersebut bisa dihitung dengan tepat dan dapat dipertanggung jawabkan berdasarkan persamaan empiris berikut :

$$E_c = 33 \cdot w^{3/2} \cdot \sqrt{f'_c} \tag{2-1}$$

Dimana w merupakan berat satuan dari beton yang sudah mengeras dalam pcf dan f'_c merupakan kekuatan tekan silindernya dalam psi. Persamaan (2.1) diperoleh dengan melakukan percobaan pada struktur-struktur beton yang mempunyai harga w dari 90 sampai 155 psf. (George Winter, Arthur H. Nilson, 1993)



Gambar 1.4 Grafik diagram regangan-tegangan beton (1000 psi = 6,895 MPa). Concrete strain = regangan beton; Concrete stress = tegangan beton.

Gambar 2.4 Grafik diagram regangan – tegangan beton

Untuk beton normal, dengan $w = 145$ pcf, akan kita dapatkan

$$E_c = 57000 \cdot \sqrt{f'_c} \tag{2-2}$$

Informasi mengenai sifat - sifat kekuatan beton seperti yang dibahas biasanya disusun berdasarkan percobaan-percobaan yang dilakukan setelah beton berumur 26 hari. Tetapi, semen terus akan mengalami hidrasi, dan dengan demikian beton juga akan terus mengeras, untuk jangka waktu yang lama setelah usia tersebut, dalam besaran rata-rata yang kian mengecil. Gambar 2.4 menunjukkan grafik khusus mengenai bertambahnya kekuatan beton dengan bertambahnya usia.

Dalam praktek yang dilakukan dewasa ini, biasanya untuk struktur-struktur beton bertulang dispesifikasikan dengan kekuatan silinder beton yang berusia 28 hari dengan batasan antara $f'_c = 2500$ sampai 6000 psi ($17,2$ sampai 42 MPa) dengan harga-harga yang umum dipakai terletak antara nilai-nilai 3000 dan 4000 . (George Winter, Arthur H. Nilson, 1993)

2.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas Di laboratorium

Modulus Elastisitas dapat dihitung dari diagram tegangan regangan. Dari beberapa cara untuk menentukan modulus elastisitas, maka pada penelitian ini digunakan cara yang direkomendasikan oleh ASTM C – 469 yaitu cara modulus Chord.

Persamaan Modulus Chord adalah :

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (2-3)$$

dengan :

E_c = Modulus Chord (Kg/Cm^2)

S_2 = Tegangan sebesar $0,4 F_c'$ (Kg/Cm^2)

S_1 = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar $0,00005$ (Kg/Cm^2)

ε_2 = Regangan longitudinal akibat tegangan S_2

2.4 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari tinjauan pustaka dan permasalahan yang diuraikan diatas, maka dapat diambil hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Diduga variasi campuran endapan limbah batuan memberikan pengaruh terhadap modulus elastisitas beton.
2. Ada perbedaan modulus elastisitas antara beton yang diberi tambahan endapan limbah batuan dengan beton normal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan bulan Juni 2007.

III.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini peralatan dan material yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Peralatan yang digunakan :

- ✓ Satu set ayakan dengan *motorised dynamic seive shaker*
- ✓ Gelas ukur
- ✓ Timbangan dengan ketelitian 0.1 gram
- ✓ Oven dengan temperatur 110 °C
- ✓ Cetakan silinder 15 -30 cm
- ✓ Vibrator
- ✓ Compressometer
- ✓ Alat tes slump (kerucut Abrams)
- ✓ Talam dan sendok bahan
- ✓ Mesin pengaduk campuran beton (molen)

b. Bahan yang digunakan :

- ✓ Endapan limbah batuan dari Pabrik Pengrajin Batu Alam Junrejo, Kota Batu
- ✓ Semen Gersik tipe I
- ✓ Air bersih dari PDAM Malang
- ✓ Agregat halus dan kasar

III.3 Analisis Bahan yang digunakan

III.3.1 Pasir

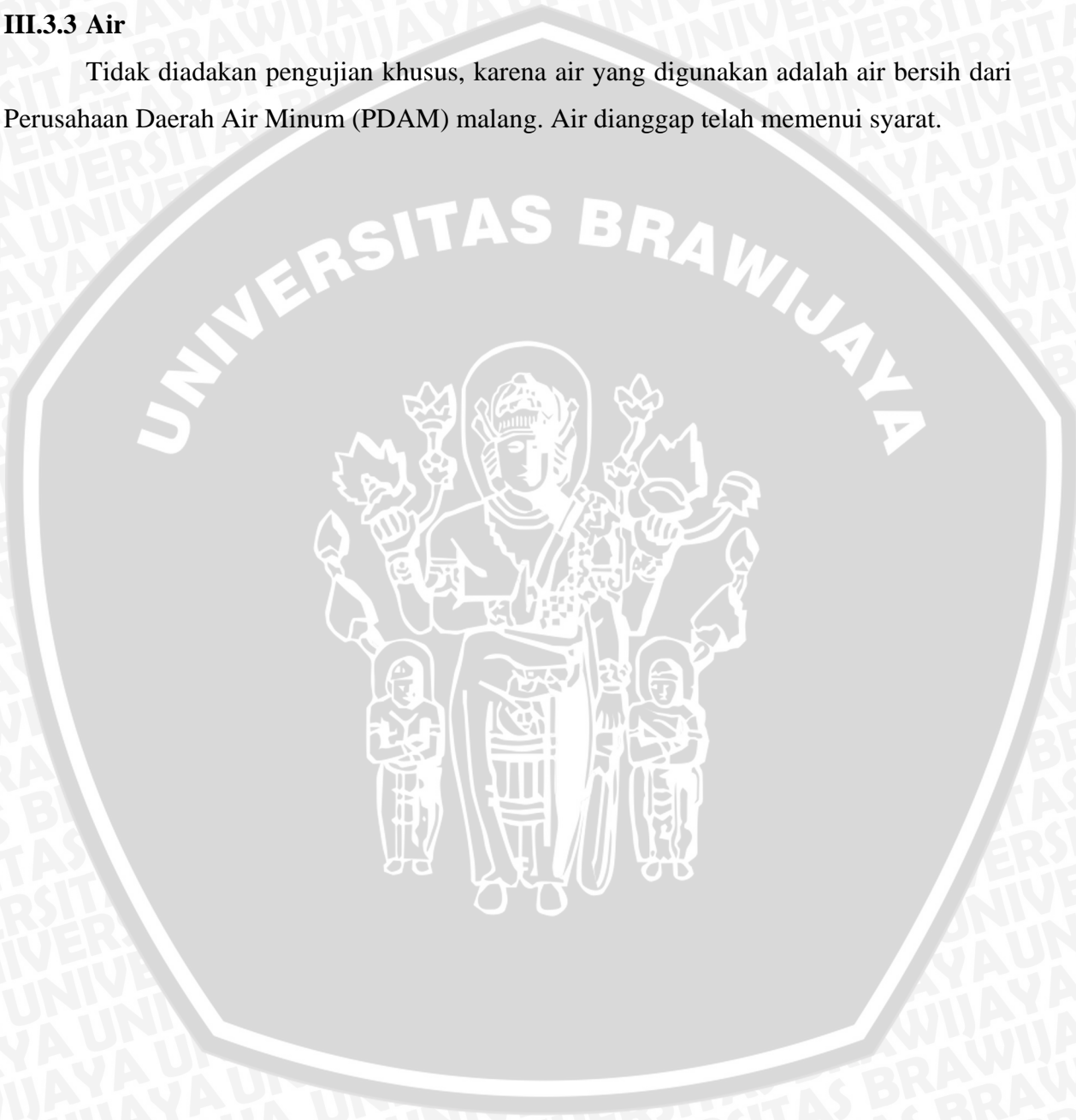
- Analisis gradasi pasir
- Analisis berat jenis

III.3.2 Batuan

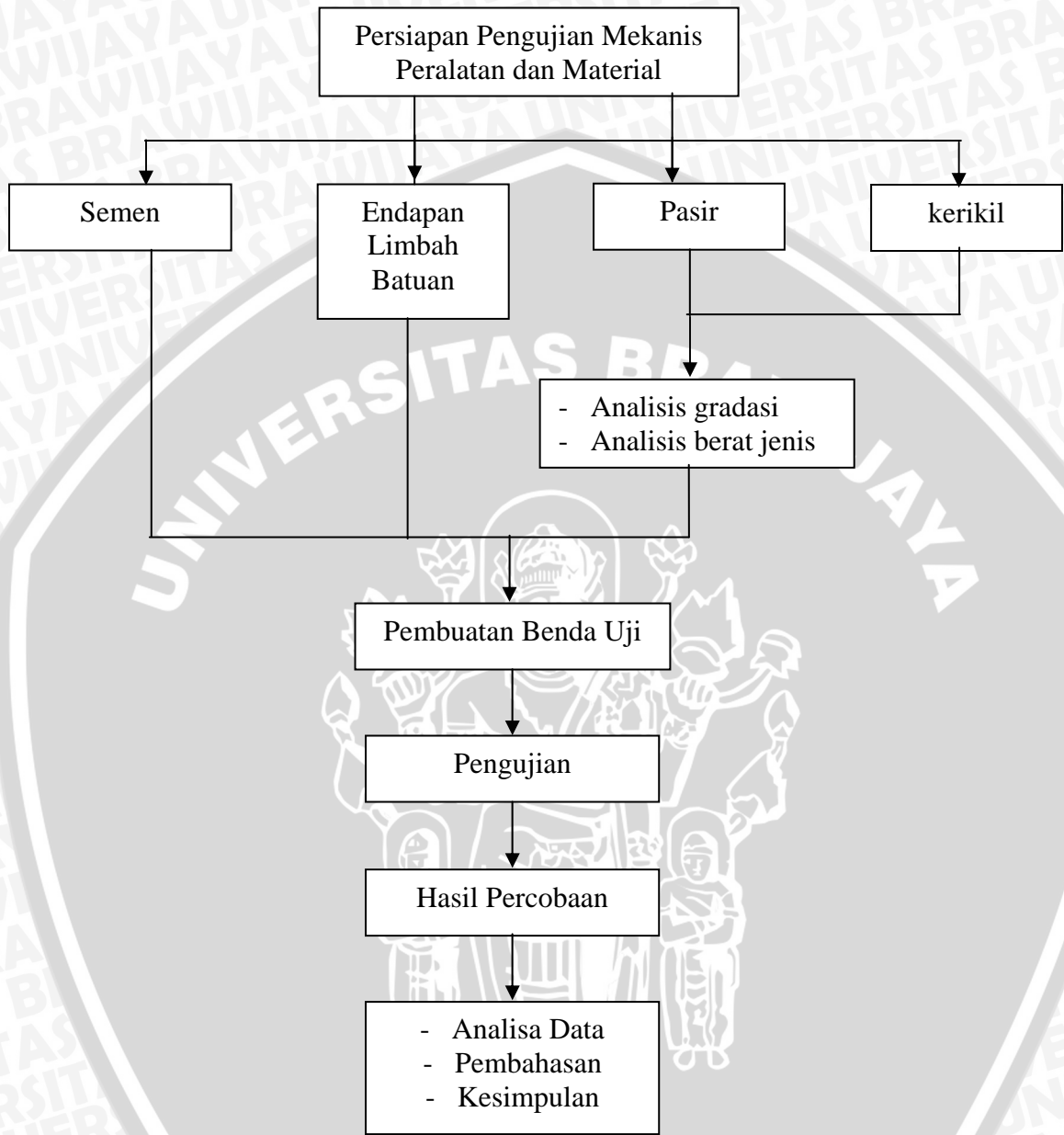
- Analisis gradasi batuan
- Analisis berat jenis

III.3.3 Air

Tidak diadakan pengujian khusus, karena air yang digunakan adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) malang. Air dianggap telah memenuhi syarat.



III.4 Langkah – Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Langkah-langkah penelitian.

III.5 Rancangan Penelitian

Dalam setiap perlakuan dibuat benda uji sebanyak 5 buah silinder beton untuk setiap komposisi campuran benda uji. Jadi secara keseluruhan jumlah benda uji yang di buat sebanyak 35 buah. Benda uji pada setiap perlakuan diuji pada umur 28 hari. Dengan komposisi 1 : 2 : 3. Penambahan variasi endapan limbah batuan berdasarkan uji pendahuluan saudara **M. Iswansyah**, dimana peningkatan kuat tekan terjadi pada variasi 5 % sampai 15 % dari berat semen yang digunakan.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

Variasi Endapan limbah batuan (% berat endapan limbah batuan)	Jumlah Benda Uji
0	5
5	5
10	5
15	5
20	5
jumlah	25

III.5.1 Tabel – Tabel Perhitungan

Tabel Gaya tekan Dan Deformasi

Kadar endapan limbah batuan =% ; Umur pengujian = 28 hari ;Kg/Cm²

P (Kg)	1	2	3	4	5
	Perpendekan (x 0,001 mm)				
P Ult					

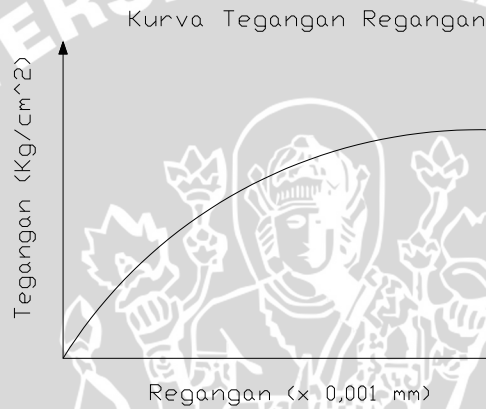
Perpendekan didapatkan dengan alat compressometer :



Tabel Tegangan Dan Regangan

Kadar endapan limbah batuan =% ; Umur pengujian = 28 hari ; Kg/Cm²

P (Kg)	1	2	3	4	5
	Regangan Longitudinal				
T Ult					



Modulus Elastisitas

Endapan Limbah	Koef Polinomial		Fc'	S2 (0,4 Fc')	X ₂	X ₁	S1 (Kg/Cm ²)	Ec (Kg/Cm ²)
	a1	a2						
0 %								
5%								
10%								
15%								
20%								

Dengan :

S₂ = Tegangan sebesar 40 Fc'

S₁ = Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005

X₁ dan X₂ = Regangan

III.6 Variabel Penelitian

Variabel yang akan diukur adalah sebagai berikut :

- Variabel bebas adalah endapan limbah batuan dengan variasi prosentase endapan limbah batuan pada komposisi campuran.
- Variabel tak bebas adalah modulus elastisitas.

III.7. Teknik Pengolahan Dan Analisis Data

A. Analisis Kurva Tegangan Regangan

Dari hasil pengujian tegangan regangan berupa hubungan gaya tekan (P) dan penurunan ΔL dapat ditentukan tegangan (F_c') dan regangan (ϵ).

$$F_c' = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \times 10^{-3} \quad (3-2)$$

dengan :

P = Gaya tekan

A = Luas penampang silinder (Cm²)

ΔL = Besar penurunan arah longitudinal (mm)

L = Tinggi efektif silinder beton (jarak antara 2 Compressometer)
= 200 mm

10^{-3} = Merupakan kalibrasi jarum pengukur 1

Kurva tegangan regangan dapat diperoleh dengan meregresi titik – titik pasangan teg reg ($F_c';\epsilon$) kedalam sumbu Y dan sumbu X, karena banyaknya data maka untuk mempermudah pengolahannya dipakai alat bantu berupa software microsoft excel.

III.8 Analisa Data

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh endapan limbah batuan dengan kadar yang berbeda terhadap nilai modulus elastis pada tiap – tiap perlakuan digunakan analisis ragam 1 arah dan analisa regresi

Pernyataan Hipotesis dinyatakan dengan :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$$

Dengan perhitungan analisis ragam jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ berarti H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh dengan adanya penambahan endapan limbah batuan pada kadar yang berbeda terhadap modulus elastisitas. Demikian pula sebaliknya, jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ berarti H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh dengan adanya penambahan endapan limbah batuan pada kadar yang berbeda terhadap modulus elastisitas.

Analisis regresi memberikan gambaran model matematika hubungan antara kadar variabel bebas dan nilai awal modulus elastisitas beton. Dalam analisis regresi ini masih perlu dilakukan pengujian selanjutnya apakah model tersebut dapat diandalkan dan tidak banyak menyimpang dari keadaan sebenarnya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah model tersebut dapat diandalkan atau tidak, yaitu :

uji koefisien determinasi (R^2), uji koefisien korelasi (R) dan uji sidik ragam regresi (uji F)

F_{hitung} yang didapatkan dari hasil analisis variansi dibandingkan dengan F_{tabel} pada derajat bebas dengan faktor kesalahan (α) dimana bila H_0 diterima dan H_1 ditolak jika $F_{hitung} < F_{tabel} (K-1, n-K, \alpha)$. H_0 ditolak dan H_1 diterima jika $F_{hitung} > F_{tabel} (K-1, n-K, \alpha)$.

Untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan nilai kuat tekan benda uji antara tiap kadar agregat kasar yang dipakai digunakan uji t. Pengujian terhadap hipotesis H_0 yang mengemukakan bahwa $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$ sebagai berikut :

• Untuk menguji H_0 dengan agregat kasar $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$

• H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \dots \neq \mu_n$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Bahan yang Digunakan

Pada bagian ini akan disajikan hasil penelitian yang mengacu pada beberapa standar dan peraturan. Standar dan peraturan tersebut misalnya, Standar Nasional Indonesia (SNI), Peraturan Beton Indonesia (PBI '71) dan *American Society for Testing Material (ASTM)*.

4.1.1 Semen

Dalam hal ini semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I produksi PT. Semen Gersik yang sudah umum digunakan sehingga tidak perlu diadakan penelitian.

4.1.2 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton adalah air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) kodya Malang, sehingga tidak perlu diadakan penelitian.

4.1.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir sungai alami dari wilayah Malang.

a. Pemeriksaan gradasi pasir

Tujuan: Untuk menentukan pembagian butiran

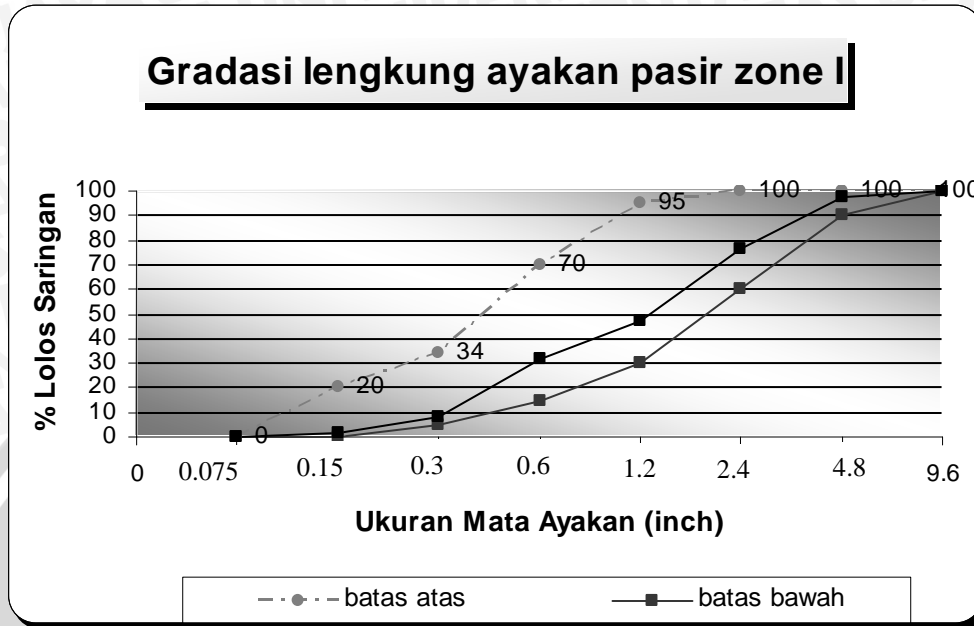
Data hasil pengujian :

Tabel 4.1 Hasil analisa gradasi agregat halus

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	0	0	0	100
2,5"	63.5	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1,5"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.5	0	0	0	100
4	4.76	20.2	2.082	2.070	97.918
8	2.38	210.5	21.694	23.776	76.224
16	1.19	286.6	29.537	53.313	46.687
30	0.59	145.5	14.995	68.309	31.691
50	0.297	234.8	24.199	92.507	7.493
100	0.149	57.1	5.885	98.392	1.608
200	0.075	15.6	1.608	100.000	0
Pan		3.3			
		970.3		438.36805	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

$$\text{Modulus kehalusan agregat halus} = \frac{438,368}{100} = 4,384$$



Gambar 4.1 Analisa gradasi agregat halus

Dari grafik, zona gradasi = zona 1

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus :

- ✓ Modulus Kehalusan pasir 4,384. berarti pasir lebih kasar dan gradasi pasir tidak masuk standar ASTM.
- ✓ Sisa diatas ayakan 4 mm = 2,07 ≥ 2% berat.
- ✓ Sisa diatas ayakan 4 mm = 53,13 ≥ 10% berat.
- ✓ Sisa diatas ayakan 0,25 mm = 92,19 berkisar antara (80 – 95)% berat.
 - ❖ Berarti pasir memenuhi standar PBI 1971
- ✓ Kadar lempung (berat butiran pasir lebih dari 0,063 mm)

$$= 1,602 + 3,3/973,6 = 1,605\% < 5\%, \text{ maka OK.}$$
- ✓ Agregat halus masuk ke dalam zona 1.

b. Pemeriksaan berat jenis dan absorpsi agregat halus

Tujuan : Untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Data hasil pengujian :

Tabel 4.2 Hasil analisa berat jenis dan absorpsi pasir

Nomor Contoh		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj (gram)	500
Berat benda uji kering oven	Bk (gram)	495,3
Berat picnometer berisi air (pada suhu kamar)	Ba (gram)	313,2
Berat picnometer + benda uji (ssd) + air (pada suhu kamar)	B (gram)	987

Nomor Contoh		A
Berat jenis curah (Bulk Specific Grafity)	$Bk / (Bj - Ba)$	2,651
Berat jenis permukaan jenuh (Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry)	$Bj / (Bj - Ba)$	2,677
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Grafity)	$Bk / (Bk - Ba)$	2,72
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	0,949 %

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

c. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Tujuan : Untuk mengetahui kadar air agregat halus.

Data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil analisa kadar air pasir

Nomor Contoh	1	
	A	B
1. Berat talam + contoh basah (gr)	97,5	77
2. Berat talam + contoh kering (gr)	97,4	76,3
3. Berat air = (1) - (2) (gr)	0,1	0,7
4. Berat talam (gr)	38,3	32
5. Berat contoh kering = (2) - (4) = (gr)	59,1	44,3
6. Kadar air = (3) / (5) (%)	0,17	1,58
7. Kadar air rata-rata (%)	0,875	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

Agregat halus berupa pasir alam, setelah dianalisis didapatkan hasil sebagai berikut,

Modulus halus : 4,369

Berat jenis SSD : 2,677

Absorpsi : 0,949 %

Kadar air : 0,875 %

4.1.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa Kerikil.

1. Kerikil

a. Pemeriksaan gradasi agregat

Tujuan : Untuk menentukan gradasi butiran Kerikil

Untuk menentukan modulus kehalusan Kerikil

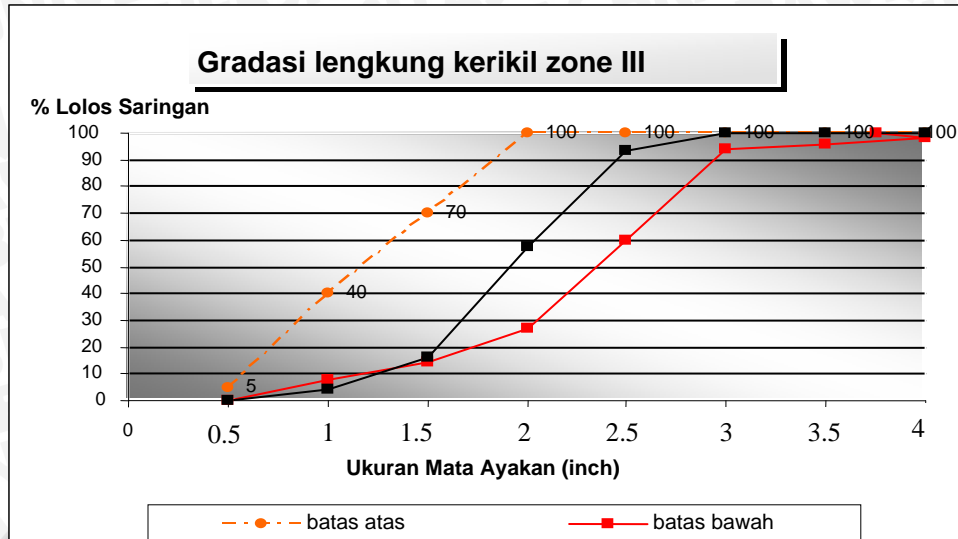
Data hasil pengujian :

Tabel 4.4 Hasil analisa gradasi agregat kasar

Lubang Saringan		Kerikil			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	0	0	0	100
2,5"	63.5	0	0	0	100
2"	50.8	0	0	0	100
1,5"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	659	6.899	6.6	93.101
3/4"	19.1	3602	37.709	44.608	55.392
1/2"	12.7	4125	43.185	87.793	12.207
3/8"	9.5	1166	12.207	100	0
4	4.76	0	0	100	0
8	2.38	0	0	100	0
16	1.19	0	0	100	0
30	0.59	0	0	100	0
50	0.297	0	0	100	0
100	0.149	0	0	100	0
200	0.075	0	0	100	0
Pan		29	0.29		
		9552		939.00159	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

$$\text{Modulus kehalusan agregat kasar} = \frac{939,0015}{100} = 9,390$$



Gambar 4.2 Analisa gradasi agregat kasar

Dari grafik, zona gradasi = zona 3

Hasil Pemeriksaan Agregat Halus :

- ✓ Modulus kehalusan kerikil = 9,390 berkisar antara 7,49 – 9,55 berarti kerikil memenuhi standar ASTM.
- ✓ Sisa pada ayakan 38,1 = 0%
- ✓ Sisa pada ayakan 19,1 = 42,65%
- ✓ Sisa pada ayakan 9,52 = 95,61%

Cek spesifikasi :

- Sisa ayakan 31,5 mm = 0% berat, maka OK.
- Sisa ayakan 4 mm = 100% > 98% berat, maka tidak OK.
- Selisih 2 ayakan berurutan antara 25,4 mm dan 19,1 mm.
 $= (42,65 + 6,6)/2 = 36,05\%$ berkisar antara (10 – 60)% berat.
- Selisih 2 ayakan berurutan antara 19,1 mm dan 12,7 mm.
 $= (83,94 + 42,65)/2 = 41,29\%$ berkisar antara (10 – 60)% berat.

❖ Berarti kerikil pada umumnya memenuhi PBI 1971

- ✓ Kadar lempung dalam agregat kasar
 $= (0+29)/9991 = 0,29\% < 1\%$, maka OK.
- ✓ Agregat kasar masuk ke dalam zona 3.

b. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat kasar

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat kasar.

Data Hasil Pengujian :

Tabel 4.5 Hasil analisa berat jenis dan absorpsi batu pacah biasa

Nomor Contoh		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj (gram)	5000
Berat benda uji kering oven	Bk (gram)	4888
Berat picnometer berisi air (pada suhu kamar)	Ba (gram)	3537

Nomor Contoh		A
Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk / (Bj - Ba)$	3,341
Berat jenis permukaan jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$Bj / (Bj - Ba)$	3,418
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$Bk / (Bk - Ba)$	3,618
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	2,2913 %

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

c. Pemeriksaan Kadar Air Agregat kasar

Tujuan : Menentukan prosentase kadar air yang dikandung oleh agregat

Data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Analisa Kadar Air Kerikil

Nomor Contoh	1	2
Nomor Talam	A	B
1. Berat talam + contoh basah (gr)	104	107,1
2. Berat talam + contoh kering (gr)	103,2	105,9
3. Berat air = (1) - (2) (gr)	0,8	1,2
4. Berat talam (gr)	14	13,4
5. Berat contoh kering = (2) - (4) = (gr)	89,2	92,5
6. Kadar air = (3) / (5) (%)	0,897	1,297
7. Kadar air rata-rata (%)	1,097	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

Agregat kasar berupa Kerikil, setelah dianalisis didapatkan hasil sebagai berikut :

Modulus halus : 9,288
 Berat jenis SSD : 3,418
 Absorpsi : 2,291 %
 Kadar air : 1,097 %

4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Pengujian slump menggunakan alat ukur kerucut abrams, yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan dan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan beton (workability).

Tabel 4.7 Hasil pengujian rata-rata slump

	Variasi Endapan limbah Batuan				
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
Slump	16	15	14	14	15

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

4.3 Pengujian Beton Keras

Untuk pengujian beton keras dibuat benda uji berupa silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah benda uji mencapai umur yang 28 hari, dilakukan uji kuat tekan dengan alat yang disebut “*Commpression Testing Mechine*”. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial di ujung silinder beton sampai benda uji mengalami kegagalan (hancur). Adapun hasil pengujian kuat tekan benda uji ditabelkan sebagai berikut :

Variasi Endapan	No. Benda	Berat	Kuat Tekan	Kuat Tekan
	Uji	(Kg)	(KN)	(Kg/Cm ²)
0%	1	12.5	400	230.816
	2	12.45	351.3	202.715
	3	12.3	398	229.662
	4	12.7	323.6	186.731
	5	12.5	321.4	185.461
5%	1	12.15	316	182.345
	2	12.3	374.5	216.102
	3	12	355.1	204.907
	4	12.05	281.5	162.437
	5	12.05	356.1	205.484
10%	1	12.35	338.3	195.213
	2	12.1	294.3	169.823
	3	12.1	322	185.807
	4	12.05	380	219.276
	5	12.35	400	230.816
15%	1	12.6	277.9	160.360
	2	12.6	317	182.922
	3	12.5	330.6	190.770
	4	12.7	341.6	197.117
	5	12.7	358.3	206.754
20%	1	12.6	334.5	193.020
	2	12.8	370.5	213.794
	3	12.6	338.7	195.444
	4	12.7	222.1	128.161
	5	12.6	345.2	199.195

4.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan sesuai dengan metode pengujian modulus elastisitas dengan *compression extensiometer* (SNI 03-4169-1996). Dari hasil uji tekan silinder beton diperoleh data kuat hancur beton dan deformasi arah longitudinal. Kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan dengan regangan arah longitudinal untuk tiap-tiap perlakuan dan masing masing perlakuan ada lima kali pengulangan. Dengan menggunakan analisis regresi polinomial akan didapatkan persamaan untuk tiap-tiap kurva hubungan tegangan dengan regangan longitudinal. Fungsi regresi polinomial yang digunakan tidak persis sama dengan yang digunakan pada ilmu statistik. Hal ini disebabkan karena adanya syarat batas yang mengharuskan fungsi regresi melewati titik 0(0.0) sehingga dipakai fungsi regresi yang mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_2 \cdot \varepsilon^3 + \dots + a_n \cdot \varepsilon^n$$

Dengan : $S \rightarrow$ tegangan beton (kg/cm^2)

$\varepsilon \rightarrow$ regangan

$a_1, a_2, a_3, a_n \rightarrow$ koefisien polinomial

Pada penelitian ini digunakan fungsi regresi polinomial derajat tiga, empat, dan lima, tergantung dari sebaran data sehingga bentuk persamaannya adalah sebagai berikut :

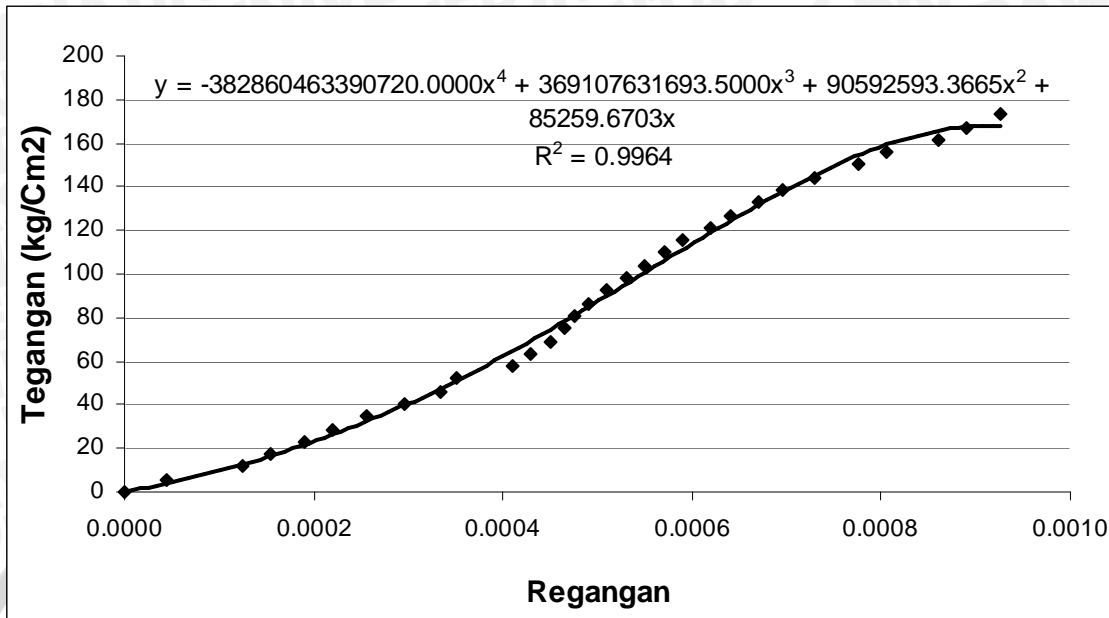
$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_2 \cdot \varepsilon^3$$

$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_2 \cdot \varepsilon^3 + a_2 \cdot \varepsilon^4$$

$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_2 \cdot \varepsilon^3 + a_2 \cdot \varepsilon^4 + a_2 \cdot \varepsilon^5$$

Tingkat ketepatan dari fungsi regresi tersebut diukur dengan besaran statistik koefisien determinasi.

Contoh kurva: Penambahan Endapan 0%, benda uji 1



Gambar 4.3 Hubungan tegangan regangan pada salah satu contoh benda uji hasil penelitian

Berdasarkan persamaan-persamaan regresi yang telah ada dan dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan modulus chord, maka dapat dihitung nilai modulus elastisitas sebagai berikut:

$$f'c = 230,816 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_2 = 0.4 \times 219,276 = 92,327 \text{ kg/cm}^2$$

Persamaan regresi polinomial tegangan-regangan longitudinal menjadi:

$$S = -382860463390720,0000 \cdot x^4 + 369107631693,5000 \cdot x^3 + 90592593,3665 \cdot x^2 + 85259,6703 \cdot x$$

$$\text{Untuk } S_2 = 92,327 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \epsilon_{12} = 0.000508$$

$$\text{Untuk } \epsilon_1 = 0.00005 \rightarrow S_1 = 4,5332 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas (chord)} &= \frac{92,327 - 4,5332}{0.000508 - 0.00005} \\ &= 18416,1094 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan modulus elastisitas beton dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.8 Modulus Elastisitas Beton hasil perhitungan (kg/cm²)

Endapan Batuan	Benda Uji	Persamaan Regresi σ/ϵ	Koef Polinomial					Fc' (Kg/Cm ²)	S ₂ = 0,4 Fc' (Kg/Cm ²)	ϵ_2	ϵ_1	S1 (Kg/Cm ²)	Ec (Kg/Cm ²)
			a1	a2	a3	a4	a5						
0%	1	$y = -4E+14x^4 + 4E+11x^3 + 9E+07x^2 + 85260x$	-4E+14	4E+11	9E+07	9.E+04		230.816	92.327	0.000508	0.00005	4.5355	191699.702
	2	$y = 5E+10x^3 - 3E+08x^2 + 467399x$	5.E+10	-3.E+08	5.E+05			202.715	81.086	0.000198	0.00005	22.626	395645.361
	3	$y = 8E+12x^4 - 3E+10x^3 - 360844x^2 + 173370x$	8.E+12	-3.E+10	-4.E+05	2.E+05		229.662	91.865	0.000556	0.00005	8.664	164483.575
	4	$y = -3E+13x^4 + 1E+11x^3 - 2E+08x^2 + 278730x$	-3.E+13	1.E+11	-2.E+08	3.E+05		186.731	74.692	0.000337	0.00005	13.449	213248.289
	5	$y = -1E+14x^4 - 2E+11x^3 + 3E+08x^2 + 193729x$	-1.E+14	-2.E+11	3.E+08	2.E+05		185.461	74.184	0.000285	0.00005	10.411	271779.294
5%	1	$y = 3E+18x^5 - 9E+15x^4 + 1E+13x^3 - 7E+09x^2 + 2E+06x$	3.E+18	-9.E+15	1.E+13	-7.E+09	2.E+06	182.345	72.938	0.000042	0.00005	83.695	1413916.043
	2	$y = -1E+21x^5 + 5E+17x^4 - 6E+13x^3 - 6E+08x^2 + 1E+06x$	-1.E+21	5.E+17	-6.E+13	-6.E+08	1.E+06	216.102	86.441	0.000120	0.00005	43.813	609431.687
	3	$y = -1E+13x^4 + 1E+11x^3 - 3E+08x^2 + 350545x$	-1.E+13	1.E+11	-3.E+08	4.E+05		204.907	81.963	0.000306	0.00005	16.790	254534.554
	4	$y = -3E+14x^4 + 9E+11x^3 - 1E+09x^2 + 520378x$	-3.E+14	9.E+11	-1.E+09	5.E+05		162.437	64.975	0.000175	0.00005	23.630	330850.733
	5	$y = -2E+14x^4 + 8E+11x^3 - 8E+08x^2 + 456190x$	-2.E+14	8.E+11	-8.E+08	5.E+05		205.484	82.194	0.000285	0.00005	20.908	261040.561
10%	1	$y = -2E+14x^4 + 6E+11x^3 - 6E+08x^2 + 426019x$	-2.E+14	6.E+11	-6.E+08	4.E+05		195.213	78.085	0.000252	0.00005	19.875	287946.950
	2	$y = 2E+14x^5 - 4E+12x^4 + 3E+10x^3 - 1E+08x^2 + 151226x$	2.E+14	-4.E+12	3.E+10	-1.E+08	2.E+05	169.823	67.929	0.000735	0.00005	7.315	88452.365
	3	$y = -1E+15x^4 + 3E+12x^3 - 2E+09x^2 + 693075x$	-1.E+15	3.E+12	-2.E+09	7.E+05		185.807	74.323	0.000172	0.00005	30.023	364402.396
	4	$y = -5E+11x^4 + 9E+09x^3 - 6E+07x^2 + 171029x$	-5.E+11	9.E+09	-6.E+07	2.E+05		219.276	87.710	0.000645	0.00005	8.403	133227.329
	5	$y = 3E+12x^4 + 3E+09x^3 - 8E+07x^2 + 227902x$	3.E+12	3.E+09	-8.E+07	2.E+05		230.816	92.327	0.000486	0.00005	11.195	186217.894

Detail perhitungan terlampir.

Tabel 4.9 Rekapitulasi modulus elastisitas beton rata-rata (Kg/ cm²)

Varisi Endapan Batuan	Modulus Elastisitas Beton Rata - Rata
0%	244431.094
5%	487053.480
10%	212018.871
15%	205332.853
20%	211053.261

Prosentase Perubahan Nilai Modulus Elastisitas	
Variase Endapan Batuan	Prosentase Perubahan Dari Penambahan Endapan 0%
0%	0
5%	99.2600
10%	-13.2603
15%	-15.9956
20%	-13.6553

Prosentase Perubahan Kuat Tekan, Regangan, dan Modulus Elastisitas dengan variasi 0% sebagai kontrol perubahan.

Tabel 4.10 Prosentase Perubahan Kuat Tekan (Kg/Cm²)

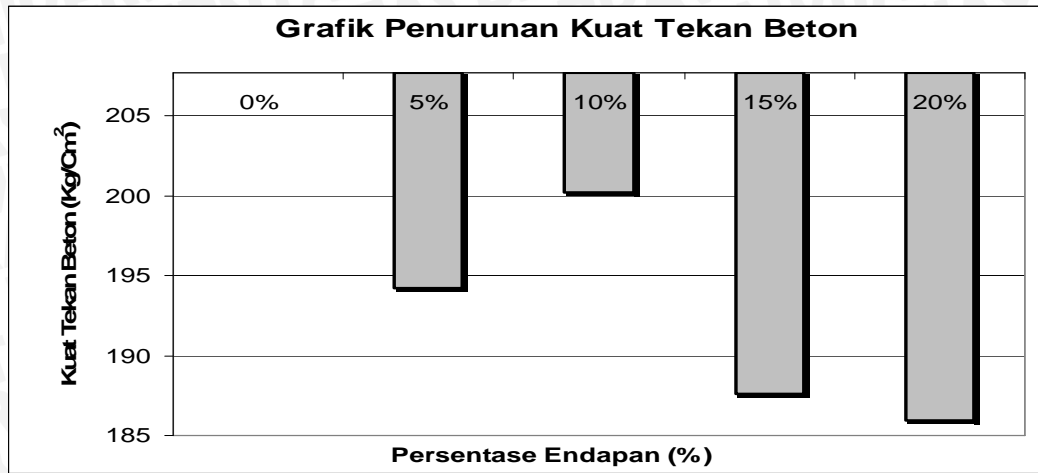
variasi Penambahan	Kuat tekan F'c (Kg/Cm ²)	Penurunan	Keterangan
0%	207.707	0	KONTROL
5%	194.255	-6.476%	TURUN
10%	200.187	-3.620%	TURUN
15%	187.585	-9.688%	TURUN
20%	185.923	-10.488%	TURUN

Tabel 4.11 Prosentase Perubahan Regangan

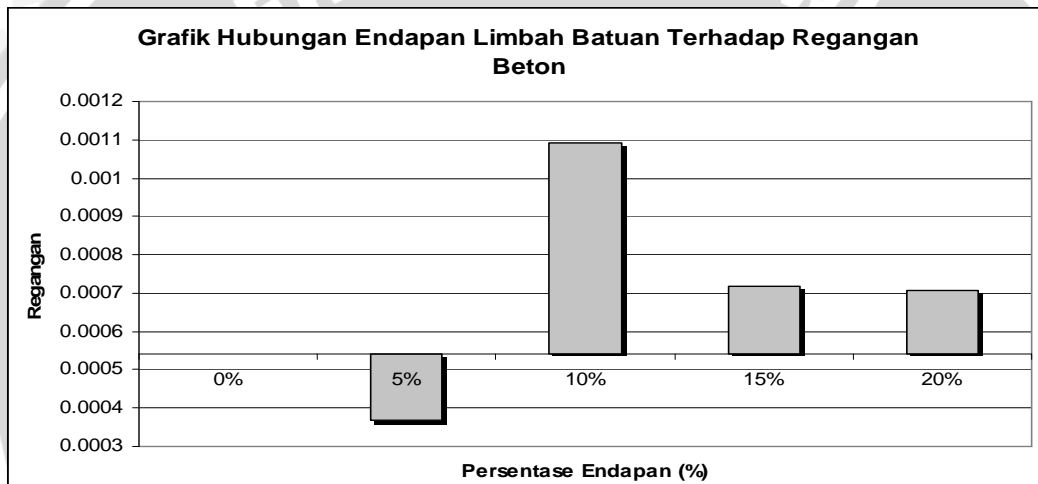
Variasi Endapan	Regangan	Perubahan Regangan	Keterangan
0%	0.000542	0%	KONTROL
5%	0.000367	-0.323%	TURUN
10%	0.001091	1.015%	NAIK
15%	0.000716	0.322%	NAIK
20%	0.000706	0.303%	NAIK

Tabel 4.12 Prosentase Perubahan Nilai Modulus Elastisitas (Kg/ cm²)

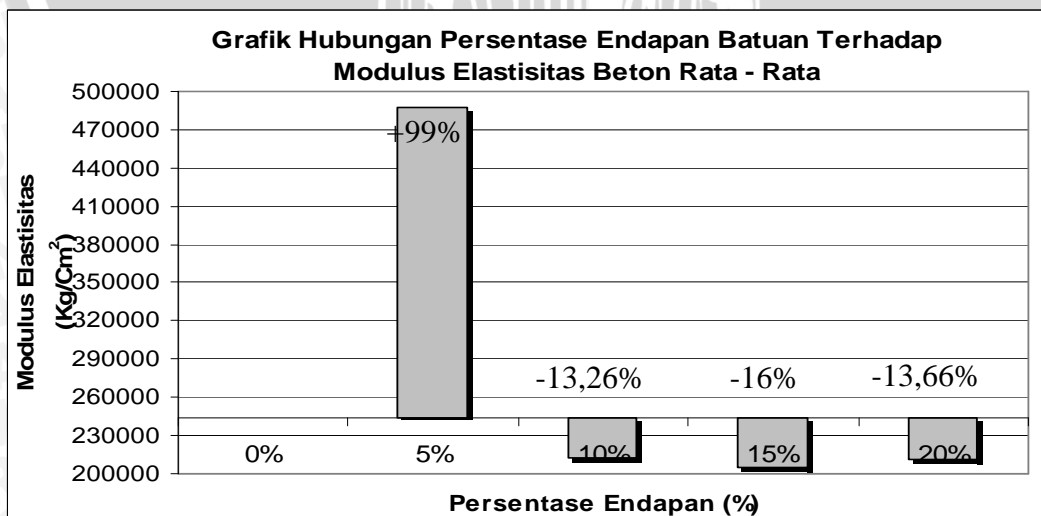
Variasi Endapan Batuan	Modulus Elastisitas Beton Rata - Rata	Prosentase Perubahan Modulus Elastisitas	Keterangan
0%	244431.094	0%	KONTROL
5%	487053.480	99.260%	NAIK
10%	212018.871	-13.260%	TURUN
15%	205332.853	-15.996%	TURUN
20%	211053.261	-13.655%	TURUN



Gambar 4.4 Grafik nilai penurunan kuat tekan beton rata-rata



Gambar 4.5 Grafik hubungan prosentase endapan terhadap regangan beton.



Gambar 4.6 Grafik hubungan prosentase endapan terhadap Modulus Elastisitas.

4.4 Pengujian Hipotesis

4.4.1 Pengaruh penggunaan endapan limbah batuan akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton.

Berdasarkan hipotesisi penelitian pada sub bab 2.4 pemakaian endapan limbah batu alam junrejo dengan variasi campuran akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas silinder beton, maka perlu diadakan uji hipotesis penelitian sebagai berikut.

Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan analisis varian 1 arah. Untuk mengetahui korelasi persamaan regresinya digunakan nilai determinasi R^2 yang mendekati 1, yaitu antara variasi komposisi agregat dengan kuat tekan beton. Hipotesis ini dapat dijelaskan dengan bantuan *microsoft excel* sebagai berikut :

1. Analisis Satu Arah :

Modulus Elastisitas Beton Hasil Perhitungan (Kg/Cm²)

0%	5%	10%	15%	20%
180381.854	355151.399	258605.789	79747.622	155947.372
289871.278	677691.769	44336.514	211850.162	204326.633
159052.812	202832.190	333011.795	342043.967	335736.521
194335.310	219821.591	103371.035	112517.301	99314.720
313675.569	216414.583	178751.474	160897.063	118543.034

Anova Single Factor
Summary

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Column 1	5	1222155.468	244431.0937	9015634567
Column 2	5	2435267.401	487053.4803	87471868983
Column 3	5	1060094.354	212018.8708	12722740497
Column 4	5	1026664.266	205332.8532	15609057721
Column 5	5	1055266.307	211053.2613	12760147046

Anova

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	293823954045.4260	4	73455988511.3564	2.66958	0.06213	2.86608
Within Groups	550317795254.3960	20	27515889762.7198			
Total	844141749299.8210	24				

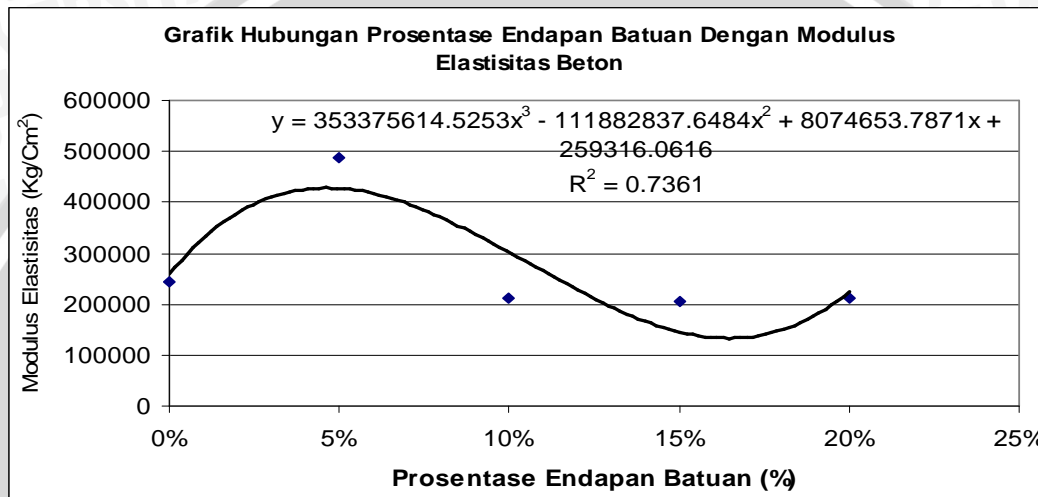
- Hipotesis :
 $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$
 $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$

Kesimpulan :

H_0 diterima karena $F_{hitung} = 2,669 < F_{tabel} = 2,866$ artinya variasi endapan limbah batuan tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

4.4.2 Analisis Regresi

Dengan bantuan Microsoft Excel dalam perhitungan analisis regresi satu arah dengan model persamaan regresi polinomial berderajat tiga, didapat hasil sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan prosentase endapan limbah batuan.

4.5 Pembahasan

4.5.1 Pengaruh variasi prosentase endapan limbah batuan terhadap modulus elastisitas

Berdasarkan uji statistik, analisa varian satu arah menyimpulkan penambahan endapan limbah batuan tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

Penambahan endapan limbah pada variasi 0% berfungsi sebagai kontrol terhadap peningkatan atau penurunan modulus elastisitas. Sehingga, dapat diketahui bahwa terjadi *peningkatan* modulus elastisitas hanya terjadi pada penambahan endapan limbah batuan sebanyak 5%, yaitu sebesar 99%. Sedangkan pada penambahan endapan limbah batuan sebanyak 10% terjadi *penurunan* sebesar 13,26%, penambahan endapan limbah batuan sebanyak 15% terjadi *penurunan* sebesar 16%, dan penambahan endapan limbah batuan sebanyak 20% terjadi *penurunan* sebesar 13,66%.

Penurunan modulus elastisitas maksimum mencapai 16% terhadap beton normal merupakan penurunan yang besar. Selain itu hasil ini sangat bertentangan dengan hasil dari beberapa penelitian terdahulu, yang cenderung meningkatkan nilai modulus elastisitas beton.

Modulus elastisitas didasarkan pada perbandingan tegangan dengan regangan (σ/ϵ). Peningkatan awal pada saat penambahan 5% disebabkan akibat penurunan kuat tekan beton (σ) yang diiringi penurunan regangan (ϵ) dari regangan awal pada saat penambahan endapan limbah 0% (Gb 4.4 dan Gb. 4.5). Sehingga modulus elastisitas dengan variasi endapan limbah 5% menjadi lebih besar dari modulus elastisitas dengan variasi endapan 0%.

Sedangkan penurunan modulus elastisitas pada variasi endapan limbah sebesar 10%, 15%, dan 20%. Diakibatkan oleh penurunan kuat tekan beton tetapi diiringi dengan peningkatan regangan dari regangan awal pada saat penambahan endapan limbah 0% (Gb 4.4 dan Gb. 4.5). Sehingga terjadi penurunan modulus elastisitas.

Karena peningkatan modulus elastisitas terjadi hanya pada penambahan endapan limbah batuan sebesar 5%. Disarankan untuk melakukan penelitian endapan limbah batuan Junrejo sebagai filler.

Dari hasil analisa regresi hubungan prosentase endapan limbah batuan terhadap modulus elastisitas, didapatkan nilai R^2 sebesar 0,736. Artinya sebanyak 73,6% nilai modulus elastisitas beton (variabel Y) dipengaruhi oleh variasi prosentase endapan batuan (variabel X), sedangkan sisanya sebanyak 26,4% nilai modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lainnya.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengaruh penggunaan endapan limbah batuan terhadap modulus elastisitas dapat ditabelkan sebagai berikut:

Variasi Endapan Batuan	Modulus Elastisitas Beton Rata - Rata	Prosentase Perubahan Modulus Elastisitas Terhadap Beton Normal	Keterangan
0%	244431.094	0%	KONTROL
5%	487053.480	99.260%	NAIK
10%	212018.871	-13.260%	TURUN
15%	205332.853	-15.996%	TURUN
20%	211053.261	-13.655%	TURUN

(Variasi endapan batuan 0% merupakan beton normal)

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa peningkatan modulus elastisitas beton hanya terjadi pada penggunaan endapan limbah batuan sebesar 5%, dibandingkan beton normal.

2. Pengujian hipotesis pada analisis varian satu arah :
 - Berdasarkan hasil uji F diperoleh kesimpulan bahwa variasi penambahan endapan limbah batuan tidak berpengaruh nyata terhadap modulus elastisitas beton walaupun terjadi peningkatan pada komposisi penambahan 5%.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan mengetahui hasilnya peneliti dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk pemakaian endapan limbah batuan pada campuran beton disarankan menggunakan prosentase penambahan sebesar 5% dari berat semen.
2. Kenaikan Modulus Elastisitas beton hanya pada penambahan endapan limbah batuan sebesar 5%, menunjukkan adanya kecenderungan kurang baik sebagai pengganti sebagian semen.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan endapan limbah batuan Junrejo sebagai filler.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahito, Adies, 2007, *Pengaruh Penambahan Endapan Limbah Batuan Terhadap Waktu Ikat Awal Dan Waktu Ikat Akhir dalam Pasta Semen*, Tugas Akhir. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Astanto. Triono. Budi, 2001, *konstruksi Beton Bertulang*, Yogyakarta : Kanisius
- Budi, Arief, 2007, *Uji Juat Tekan Campuran Beton dengan Limbah Batuan Pabrik Pengrajin Batu Alam Junrejo Kota Batu*, Tugas Akhir. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Buku Panduan Praktikum Teknologi Beton, 2003, Lab Bahan Konstruksi : Jurusan Sipil Universitas Brawijaya
- Dipohusodo, Istimawan. 1996, *Struktur Beton Bertulang*, Jakarta : PT.Gramedia
- <http://www.semengresik.com/indonesia/product/>
- Iswansyah, Moh, 2007, *Pengaruh Penggunaan Endapan Limbah Batuan Pengganti Sebagian Semen Dalam Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan*, Tugas Akhir. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang.
- Macgregor, James. G, 1997, *Reinforced Concrete (Mechanic And Design)*, New Jersey : Prentice Hall
- Murdock, L.J, K.M. Brook dan Stephanus Hendarko, 1986, *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi keempat. Jakarta : Erlangga.
- Nawi, Edward G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : PT. Eresco.
- Setia Graha, Dody, 1978. *Batuan dan Mineral*, Bandung : Penerbit NOVA.
- Wang, Chu. Kia. 1985, *Desain Beton Bertulang*, Jakarta : Erlangga
- Winter, George. Nilson, Arthur. H, 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Jakarta : PT.Pradnya Paramita (Persero – BUMN)

